

FÖLDTANI KUTATÁSI PROGRAM ZÁRÓJELENTÉSE

FELADATKÓD: (1.3.25.)

I/VI. KÖTET

1-2 FEJEZET

2016. SZEPTEMBER 20.

Szerzők:
Külön lapon felsorolva

SZERZŐK:

Ács Tamás	(2.5.10)
Andrássy Máriusz	(2.1.3.3.1)
Balogh Zoltán	(2.1.3), (2.1.4)
Barabás András	(1)
Barna Imre	(2.1.1.2), (2.1.2.4.3)
Bereczki László	(2.1.2.3)
Csillag Gábor	(2.1.2.4)
Dankó Gyula	(2.1.3.3.1), (2.1.3.4.1), (2.5.5), (2.5.6)
Farkas Márton Pál	(2.1.3.4.1)
Filipszki Péter	(2.2.2.3)
Geiger János	(2.1.2.3)
Gondár Károly	(2.5.1), (2.5.3), (2.5.7), (2.5.9.1.), (2.5.10)
Gondárné Sőregi Katalin	(2.5.1), (2.5.3), (2.5.7), (2.5.9.1), (2.5.10)
Grenerczy Gyula	(2.4.5), (2.4.6)
Gúthy Tibor	(2.2.2.1), (2.2.2.2)
Győri Erzsébet	(2.4.2), (2.4.8)
Halmai Ákos	(2.1.1)
Hámori Zoltán	(2.2.2.6), (2.2.2.7)
Kádi Zoltán	(2.2.1)
Koloszár László	(2.1.2.1-2)
Koroknai Balázs	(2.1.2.3)
Korpai Ferenc	(2.1.3.4.1), (2.5.6)
Kovács Attila Csaba	(2.2.2.1), (2.2.2.2), (2.2.2.4)
Kozma Zsolt	(2.5.10)
Könczöl Nándorné	(2.5.1)
Krupa Ágnes	(2.1.3.4)
Kudó István	(2.2.2.5),
Mahler András	(2.3)
Maros Gyula	(2.1.2.3),
Marótiné Kiszely Márta	(2.4.3)
Máthé Zoltán	(2.1.3.1.2)
Móczár Balázs	(2.3)
Mónus Péter	(2.4.4), (2.4.7), (2.4.9)
Nagy Róbert	(2.5.5)
Németh Viktor	(2.2.2.9), (2.2.2.10), (2.2.2.11)
Rátkai Orsolya	(2.1.3.4)
Rátky Éva	(2.5.6)
Said Dávid	(2.1.4)
Síkhegyi Ferenc	(2.1.2.1-2)
Sűrű Péter	(2.5.3), (2.5.9.1), (2.5.10)
Takács Ernő	(2.2.2.1), (2.2.2.2)
Talpas László	(2.5.6)
Tompai Zoltán	(2.3)
Wágenhoffer Andrea	(2.1.3)
Weiser László	(2.5.7)
Wórum Géza	(2.2.1), (2.2.2.6), (2.1.2.3)
Zachar Judit	(2.5.7), (2.5.9.1)

KÖZREMŰKÖDŐK

Bába Imre
Benő Dávid
Bercsényi Miklósné
Bíró Anna
Jánosi Zsolt
Kovács Gábor
Mázik Jenő
Tamás Péter
Veresné Miskolczi Rita
Visnovitz Ferenc
Wesztergom Viktor



Cím: 7633 Pécs, Esztergár Lajos u. 19.
Telefon: (72) 535-200 Fax: (72) 535-300

Cím: 1116 Budapest, Hengermalom utca 49-51.
Telefon: (1) 577-4680 Fax: (1) 577-4671

**PAKS II TELEPHELYENGEDELYÉNEK MEGSZERZÉSÉHEZ SZÜKSÉGES FÖLDTANI
KUTATÁS VÉGREHAJTÁSA**

MÁ/PA2-16-FT-14
Verzió száma: V1

FÖLDTANI KUTATÁSI PROGRAM ZÁRÓJELENTÉSE

(FELADATKÓD: 1.3.25.)

I/VI. kötet
1-2 fejezet

Szerkesztette:

Név: Dr. Konrád Gyula

Beosztás: Kutatásvezető

Aláírás: 

Ellenőrizte:

Név: Dr. Barabás András

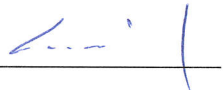
Beosztás: Projektvezető

Aláírás: 

Jóváhagyta:

Név: Csicsák József

Beosztás: Projektigazgató

Aláírás: 

Egyeztetve:

Név: _____

Tudományos Támogató Testület képviselője

Aláírás: _____

Dátum: _____

Pécs, 2016.09.20.

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés.....	1
1.1.	A zárójelentés célja és feladata	1
1.2.	Előzmények, hatósági engedélyek	1
1.3.	A kutatás során alkalmazandó jogszabályok.....	3
1.4.	Szerződéses feltételek, közreműködők, a kutatás végrehajtása	4
1.5	A zárójelentés felépítése.....	5
2	A kutatás ismertetése.....	7
2.1	Földtan.....	7
2.1.1	Adatrevízió, adatbázis aktualizálás	7
2.1.1.1	Dokumentum adatbázis	7
2.1.1.2	Betöltött adatok típusai és forrása	8
2.1.1.3	Összefoglalás.....	9
2.1.2	Földtani térképezés, térképszerkesztés, felszínfejlődési vizsgálatok.....	9
2.1.2.1	Előzetes földtani térkép összeállítása és terepi felvétel a telephely közvetlen, 400 km ² -es környezetében	11
2.1.2.2	A telephely tágabb, 3 600 km ² -es területének földtani reambulációja.....	15
2.1.2.3	Mélyföldtani térképezés	16
2.1.2.4	Geomorfológiai vizsgálatok a neotektonikai események kutatásához	28
2.1.3	Fúrásos kutatás	37
2.1.3.1	Földtani vizsgálatok	45
2.1.3.2	A fúrásos kutatás eredményeinek rövid összefoglalása	50
2.1.3.3	A mélyfúrás-geofizika feladatai, módszerei, eszközei, a projekten belül végzett feladatok és elért eredmények	65
2.1.3.4	Hidrogeológia.....	71
2.1.3.5	Közetmechanikai dokumentálás és az elvégzett mérések	78
2.1.4	Sekélyföldtani kutatások	86
2.1.4.1	Kutatófúrások.....	86
2.1.4.2	A kutatóárkok kivitelezése	90
2.1.4.3	A sekélyföldtani kutatás eredményei	91
2.2	Geofizika	92
2.2.1	3D szeizmikus mérés a telephely környezetében	92
2.2.1.1	Bemenő adatok.....	92
2.2.1.2	A 3D szeizmikus adatrendszer feldolgozása.....	93
2.2.2	A felszínközeli szerkezetek és földtani felépítés részletes meghatározása sekélygeofizikai módszerek segítségével.....	96
2.2.2.1	2D S-hullám sekélyreflexiós mérések.....	96
2.2.2.2	Nagyfelbontású 2D P-hullám reflexiós mérések.....	103
2.2.2.3	Nagy felbontású mágneses és magnetotellurikus kutatás	106
2.2.2.4	Crosshole mérések.....	115
2.2.2.5	Nagyfelbontású 2D szárazföldi geoelektromos szelvényezés.....	118
2.2.2.6	Pszeudo-3D vízi mérések	121
2.2.2.7	Duna medermonitorozás	125
2.2.2.8	Telephelyi EM (elektromágneses) és GPR (földradar) mérések.....	129
2.2.2.9	Telephelyi MUEL (multielektrodás geoelektromos) mérések	133
2.2.2.10	Telephelyi P-hullám refrakciós mérések.....	136
2.2.3	A geotechnikai fúrási pontokhoz kapcsolódó geofizikai mérések.....	140

2.3	Geotechnika, talajmechanika	146
2.3.1	Geotechnikai vizsgálatok célja, módszerek, célkitűzések.....	146
2.3.2	A területről rendelkezésre álló információk összegyűjtése, összefoglalása, interpretálása	147
2.3.2.1	Geodéziai, térinformatikai adatok	147
2.3.2.2	Archív geotechnikai adatok feldolgozása	147
2.3.3	Kiindulási adatok, szabványok, előírások a geotechnikai feltárásokhoz és vizsgálatokhoz.....	148
2.3.4	Telephelyen belüli geotechnikai fúrások és szondázások	149
2.3.4.1	Helyszíni geotechnikai feltárások célja.....	149
2.3.4.2	Helyszíni geotechnikai feltárások kiosztása, feltárási szelvények	149
2.3.4.3	Geotechnikai magfúrások.....	151
2.3.4.4	CPTu szondázások	154
2.3.4.5	Disszipáció mérések	156
2.3.4.6	Szeizmikus CPT szondázások (SCPT).....	159
2.3.4.7	SPT szondázások.....	160
2.3.4.8	Menard pressziométer (MPM) mérések	162
2.3.4.9	Önbefúró pressziométer (SBP) mérések	164
2.3.4.10	Geofizikai CPT szondázások (GCPT).....	165
2.3.4.11	Helyszíni vizsgálatok összefoglaló értékelése	167
2.3.5	Geotechnikai magfúrások leírása, mintázása, laboratóriumi vizsgálatok	167
2.3.5.1	Magminták leírása, dokumentálása	167
2.3.5.2	Magminták mintázása	168
2.3.5.3	Laboratóriumi vizsgálatok.....	169
2.3.6	Monitoring rendszer koncepcióterve.....	175
2.3.6.1	Monitoring rendszer fázisai.....	176
2.3.6.2	Intézkedési terv, riasztási szintek	177
2.3.6.3	Meglévő és új monitoring rendszer kapcsolata	178
2.4	Szeizmológia	179
2.4.1	A telephely geológiai, geofizikai, szeizmológiai kutatásainak áttekintése, a rendelkezésre álló elektronikus dokumentumtár kiegészítése, fejlesztése.....	179
2.4.2	A jelentős (karakterisztikus) magyarországi földrengések intenzitás eloszlásának és intenzitás csillapodásának vizsgálata	179
2.4.2.1	A vizsgált terület	180
2.4.2.2	Eredmények.....	180
2.4.3	A kecskeméti földrengés forrásterület részletes szeizmológiai vizsgálata.....	184
2.4.3.1	A vizsgált terület	185
2.4.3.2	Eredmények.....	185
2.4.4	A földrengés adatbázis (katalógus) összeállítása, homogenizálása, M_w magnitúdóra való áttérés.....	187
2.4.4.1	A vizsgált terület	187
2.4.4.2	Eredmények.....	188
2.4.5	Az MGGA, CEGRN, EUREF geodinamikai GPS adatok analízise a telephely és tágabb környezetében.....	192
2.4.5.1	A vizsgált terület	192
2.4.5.2	Eredmények.....	194
2.4.6	A telephely és tágabb környezete műholdradaros mozgás-és stabilitásvizsgálata. 198	
2.4.6.1	A kutatási terület	198
2.4.6.2	Eredmények.....	199

2.4.7	Szeizmotektonikai modell megalkotása a telephely földregés- veszélyeztetettségének számításához	202
2.4.7.1	M1 modell	202
2.4.7.2	SHARE modell.....	206
2.4.7.3	Módosított SHARE modell	210
2.4.8	A rezonanciafrekvencia meghatározása a telephelyen mikroszeizmikus zajmérések segítségével	214
2.4.8.1	Alkalmazott műszerek.....	214
2.4.8.2	Mérési helyszínek.....	214
2.4.8.3	Mérések kivitelezése	216
2.4.8.4	Adatfeldolgozás.....	217
2.4.8.5	Eredmények.....	217
2.4.9	Mikroszeizmikus monitorozás	220
2.5	Vízföldtan.....	231
2.5.1	Az archív vízföldtani adatok összegyűjtése, rendszerezése	231
2.5.1.1	Vízhasználatok értékelése	231
2.5.1.2	Hidrometeorológiai adatok.....	232
2.5.1.3	Hidrológiai adatok.....	233
2.5.2	Új észlelő kutak létesítése, engedélyeztetése, a létesítés műszaki ellenőrzése	235
2.5.2.1	A monitoring rendszer kialakítása.....	235
2.5.2.2	A kivitelezés technológiája	236
2.5.3	Vízföldtani reambuláció és kapcsolódó terepi mérések	242
2.5.4	Egykutas tesztek, kútvizsgálatok.....	244
2.5.5	Egymásrahatás-vizsgálatok telephelyi fúrásokban.....	245
2.5.5.1	Az egymásrahatás-vizsgálatok célja.....	246
2.5.5.2	Az alkalmazott módszerek ismertetése	246
2.5.5.3	Az alkalmazott eszközök bemutatása.....	246
2.5.5.4	A vizsgálatok helye és ideje	247
2.5.6	Nyomjelzések vizsgálatok	250
2.5.6.1	A nyomjelzések vizsgálatok célja	250
2.5.6.2	Az alkalmazott módszerek ismertetése	250
2.5.6.3	Az alkalmazott eszközök bemutatása.....	251
2.5.6.4	A vizsgálatok helye és ideje	251
2.5.7	Mederkapcsolati vizsgálatok	251
2.5.7.1	Vízszint észlelések	255
2.5.7.2	Vízmintavételek	255
2.5.8	Vízmintavételek, vízkémiai vizsgálatok	257
2.5.9	Monitoring rendszer üzemeltetése	262
2.5.9.1	Monitoring vizsgálatok a regionális vizsgálati területen.....	265
2.5.10	Talajvízháztartási vizsgálatok	270
3	A kutatási eredmények értékelése	274
3.1	Földtani felépítés	274
3.1.1	Háromdimenziós földtani-geofizikai modell	274
3.1.1.1	A terület földtani képződményeinek ismertetése	274
3.1.1.2	A 3D földtani-tektonikai modell elemei.....	343
3.1.1.3	Felszíni földtani térképek	352
3.1.1.4	Mélyföldtani térképek	400
3.1.1.5	A kutatási terület szerkezeti analízise	417
3.1.1.6	Fejldéstörténeti rekonstrukció és ősföldrajzi viszonyok	431
3.1.2	Geomorfológiai értékelés, jelenkori földtani és tektonikai folyamatok.....	457

3.1.2.1	Felszínalakulás, fejlődéstörténet	458
3.1.2.2	Morfotektonika.....	467
3.1.2.3	A Pa-21-I és -II jelű kutatóárok eredményei.....	476
3.1.2.4	Jelenkori földtani folyamatok.....	494
3.1.3	Az új eredmények beillesztése a Pannon-medence általános rétegtani és szerkezetfejlődési modelljébe	503
3.1.3.1	Bevezetés.....	503
3.1.3.2	A nagytektonikai egység áttekintő jellemzése	503
3.1.3.3	A Pannon-medence geofizikai jellemzése.....	506
3.1.3.4	A medence rétegtana és tektonikája	507
3.1.3.5	A medence neotektonikája	509
3.1.3.6	Illeszkedés jósága és levonható következtetések	512
3.1.4	A tervezett telephely földtani-geomorfológiai jellemzőinek bemutatása	512
3.2	Geotechnikai értékelés	516
3.2.1	Talajrétegek bemutatása, leírása	516
3.2.1.1	A telephelyi terület tömbszelvénye a karotázs mérésekre alapozva	516
3.2.1.2	Telephelyen feltárt jellemző geotechnikai rétegsor	522
3.2.1.3	Rétegszelvények.....	523
3.2.1.4	Feltárt talajrétegek összefoglaló geotechnikai értékelése	523
3.2.2	Különleges rétegek és képződmények	537
3.2.2.1	Szerves-szervesnyomos rétegek.....	538
3.2.2.2	Cementált, illetve homokkő rétegek.....	538
3.2.2.3	Térfogatváltozó talajok	539
3.2.2.4	Vetők illetve vetőzóna.....	540
3.2.3	Statisztikai elemzés és értékelés.....	540
3.2.3.1	„A” jelű réteg – Mesterséges feltöltés.....	540
3.2.3.2	„B” jelű réteg – Szervesnyomos-szerves, humuszos fedőréteg	542
3.2.3.3	„C” jelű réteg – Holocén szürke agyag	543
3.2.3.4	„D” jelű réteg – Futóhomok	545
3.2.3.5	„E” jelű réteg – Öntéshomok	548
3.2.3.6	„F” jelű réteg – Kavicssterasz.....	551
3.2.3.7	Pannon „G” réteg	554
3.2.3.8	Pannon „H” réteg	557
3.2.3.9	Pannon „I” réteg.....	559
3.2.3.10	Pannon „J” réteg.....	561
3.2.3.11	Pannon „K” réteg	562
3.2.3.12	Pannon „L” réteg.....	564
3.2.3.13	Pannon „M” réteg.....	565
3.2.3.14	Pannon „N” réteg	566
3.2.3.15	Pannon „O” réteg	567
3.2.4	A földrengés-veszélyeztetettség meghatározásához szükséges geotechnikai talajparaméterek	569
3.2.4.1	Vizsgált minták	569
3.2.4.2	Ciklikus szilárdság/teherbírás görbék	570
3.2.4.3	Leromlási görbék (G/G _{max})	571
3.2.4.4	Maximális nyírási modulus (G _{max}).....	574
3.2.4.5	Csillapítási tényező és csillapítási görbék.....	574
3.2.5	A telephely geotechnikai jellemzőinek bemutatása	576
3.2.5.1	Feltárt talajrétegek főbb geotechnikai paraméterei	576
3.3	Vízföldtani értékelés	577

3.3.1	Vízföldtani monitoring eredmények értékelése	577
3.3.1.1	A vízszintészlelések eredményei.....	577
3.3.1.2	A vízminőségvizsgálatok eredményei.....	582
3.3.2	Regionális vízföldtani vizsgálatok eredményeinek összefoglalása.....	586
3.3.2.1	Bevezetés.....	586
3.3.2.2	A regionális vízföldtani kutatások és modellezés koncepciója	588
3.3.2.3	A felszín alatti vizek utánpótlási viszonyai a regionális vízföldtani vizsgálati területen	589
3.3.2.4	A felszín alatti vizek és a felszíni vizek kapcsolata	593
3.3.2.5	A felszín alatti vizek használatára vonatkozó adatok.....	595
3.3.2.6	Az áramlási rendszert felépítő rétegek legfontosabb jellemzői	597
3.3.2.7	Vetőzónák az áramlási rendszerben	599
3.3.2.8	Túlnyomásos zónák kimutatása az áramlási térben	600
3.3.2.9	A regionális felszín alatti áramlási rendszer ismertetése	604
3.3.2.10	Az áramlási tér nyomás viszonyaiban bekövetkező változások.....	616
3.3.2.11	A felszín alatti víz vízszint és nyomásállapotában várható változások a következő évtizedekben.....	623
3.3.2.12	A mélyfúrásokban végzett hidrodinamikai vizsgálatok eredményei	627
3.3.2.13	Egyszerű hidrodinamikai vizsgálatok	628
3.3.2.14	Pakkeres hidrodinamikai vizsgálatok.....	629
3.3.2.15	Vízminőségi vizsgálatok értékelése	632
3.3.3	Telephelyi vízföldtani vizsgálatok eredményeinek összefoglalása.....	640
3.3.3.1	Kisminta vizsgálatok	641
3.3.3.2	Egykutas hidrogeológiai vizsgálatok	643
3.3.3.3	Geofizikai karotázsmérések	646
3.3.3.4	Egymásrahatás-vizsgálatok	647
3.3.3.5	Nyomjelzéses vizsgálatok	651
3.3.4	A telephely vízföldtani jellemzőinek bemutatása	655
3.3.4.1	A talaj- és rétegvíztároló képződmények vízvezető képessége	656
3.3.4.2	Talajvízszintek alakulása.....	659
3.3.4.3	A rétegvizek hidraulikus potenciálja.....	666
3.3.4.4	A felszín alatti vízrendszer kapcsolata az atmoszférával	671
3.3.4.5	A telephely transzportjellemei	675
3.4	A telephely tektonikai és földrengés-veszélyeztetettségének meghatározása.....	694
3.4.1	Neotektonikai analízis eredményei	694
3.4.1.1	A kutatási terület neotektonikus vetőképe és kinematikai elemzése.....	694
3.4.1.2	Negyedidőszaki vetőaktivitás a tervezett telephely környezetében	699
3.4.1.3	Egyéb neotektonikai észlelések és azok kapcsolata a 3D földtani modellel.....	708
3.4.2	Geodinamikai modell	714
3.4.2.1	A geodinamikai modell felépítése és elemei.....	715
3.4.2.2	A geodinamikai modell legfontosabb eredményei.....	727
3.4.3	Földrengés forrásmodellek	738
3.4.3.1	M1 modell	738
3.4.3.2	SHARE modell.....	740
3.4.3.3	Módosított SHARE modell	742
3.4.3.4	Maximális magnitúdó és annak bizonytalansága	743
3.4.4	Valószínűségi földrengés-veszély elemzés	744
3.4.5	Tervezési alapba tartozó földrengés jellemzői, maximális talajgyorsulás, választépek, időtartam, felszíni veszélyeztetettségi görbe.....	750
3.4.6	A talajfolyósodás globális és lokális előfordulásának vizsgálata.....	755

3.5	Az értelmezést támogató informatikai rendszer.....	758
4.	Összefoglalás.....	760
	Irodalomjegyzék.....	762

Ábrák jegyzéke

1. ábra Az FKP jelentéseinek hierarchikus rendszere	6
2. ábra A tervezett telephelyen kívül mélyült 19 db sekély mélységű fúrás térképi elhelyezkedése.....	11
3. ábra A 400 km ² nagyságú, szűkebb terület felosztása felelősök szerint	13
4. ábra A mélyföldtani térképezéshez felhasznált szeizmikus mélyfúrás adatrendszerek helyszínrajza.....	18
5. ábra A kutatási terület képződményeinek időrétegtani diagramja	20
6. ábra Az XSi-13 jelű mintaszelvény értelmezett változata	22
7. ábra A térképezett képződmények valódi mélységének és a szeizmikus értelmezésből származtatott szeizmikus TWT idők kapcsolata a mélységkonverzióhoz használt fúrásokban	24
8. ábra A geomorfológiai–morfotektonikai felvétel során dokumentált észlelési pontok térképe	30
9. ábra A geomorfológiai–morfotektonikai felvétel során történt mintázások	31
10. ábra Árkolás és lumineszcens korhatározásra történő mintavétel a dunaegyházi homokbányában	32
11. ábra A paleogeomorfológiai vizsgálatba bevont fúrások és feltárások elhelyezkedése, valamint a felvett szelvények lefutása.....	36
12. ábra A PAET jelű fúrások elhelyezkedése a 30 km sugarú kutatási terület térképén	40
13. ábra A PAET jelű mélyfúrások helyzete a 10 km sugarú kutatási terület térképén.....	41
14. ábra A tervezett telephely és 130 m-es fúrások elhelyezkedése	41
5. táblázat A Földtani Kutatási Programban tervezett telephelyen kívüli 19 db sekélyfúrás lemélyítésének indoklása (forrás: FKP)	45
15. ábra A PAET-26 jelű fúrás legfontosabb adatai.....	51
16. ábra A PAET-27 jelű fúrás legfontosabb adatai.....	52
17. ábra A PAET-29 jelű fúrás legfontosabb adatai.....	53
18. ábra A PAET-29P fúrás legfontosabb adatai	54
19. ábra A PAET-30 jelű fúrás legfontosabb adatai.....	55
20. ábra A PAET-34 jelű fúrás legfontosabb adatai.....	56
21. ábra A PAET-34P jelű fúrás legfontosabb adatai	57
22. ábra A PAET-35 jelű fúrás legfontosabb adatai.....	58
23. ábra A hidraulikai vizsgálatok eszközrendszerének felszín alatti elemei	76
24. ábra A Pa-21 szelvény mentén mélyült fúráspontok és a kutatóárok térbeli elhelyezkedése.....	87
25. ábra A Pa-22 szelvény mentén mélyült kutatófúrások térbeli elhelyezkedése	88
26. ábra A kutatóárok mélyítésének és dokumentálásának módszerei a PA-21-II árok példáján	91
27. ábra A Paks 3D megvalósult terepi mérési hálózata	93
28. ábra A Paks 3D szeizmikus adattömb összegzés utáni migrált adatrendszerének 3D „chair-cut” perspektívikus nézete Ny felől	95
29. ábra A Paks 3D szeizmikus adattömbből számított koherencia adatrendszer 450 ms-nál való metszete	95
30. ábra A Ref-9-es szelvény axonometrikus képe a légifotó, az elektromágneses eredmény és a feltöltés térképeken (fentről lefelé haladva) délről nézve	101
31. ábra Az MFGI és Geomega által mért Pa-21-S szelvények és a Pa-21-P szelvény helyszínrajza nagyfelbontású domborzati modellen ábrázolva.....	102
32. ábra A Geomega Kft. által készített refrakciós és tomografikus kiértékelés	103

33. ábra Mágneses felmérés nyomvonala	108
34. ábra Magnetotellurikus mélyszondázási pontok	109
35. ábra Mágneses totáltér anomália	111
36. ábra A P2MT8 mélyszondázási pont Invariáns módus 1D inverziós eredménye.....	112
37. ábra 2D inverziós feldolgozás eredménye a P1 szelvény mentén.....	113
38. ábra 2D inverziós feldolgozás eredménye a P2 szelvény mentén.....	114
39. ábra A CH-1 és a CH-2 fúrások térbeli helyzete (~0,1-szeres magassági torzítás)	116
40. ábra A CH-1 és a CH-2-es fúrásokban crosshole mérésrel meghatározott P- és S-hullám sebességek és az akusztikus P-hullám sebességek.....	117
41. ábra A crosshole mérésrel a CH-1 és a CH-2-es fúrásokban.....	118
42. ábra Az egyes mérési blokkok és a lemért nyomvonalak elhelyezkedése	123
43. ábra Mintaszelvény a 2-es blokk felmérése során leképezett paleo-meder üledéksorának deformációjával	124
44. ábra Az egyes mérési napokon lemért vízi szeizmikus mérések nyomvonala.....	127
45. ábra A 2015. június 9-i első mérési ütem mederfenék morfológia eredménytérképe.....	129
46. ábra A radarszelvényezés egyesített nyomvonalterképe	132
47. ábra A megvalósult multielektrodás geoelektromos mérések nyomvonala	135
48. ábra A megvalósult refrakciós szeizmikus nyomvonalak	137
49. ábra A Ref-12-es jelű vonal erőmű északi blokkjához közel készült felvételei.....	139
50. ábra A Ref-15 jelű vonal felvételei	139
51. ábra Egy példaszelvényre (REF_12 vonal) vonatkozó refrakciós kiértékelés magasság és sebesség szelvényei	140
52. ábra: Feltérési szelvények és pontok a bővítési területen és annak környezetében	150
53. ábra A Pannon medence 30 km-es kéregvastagsággal definiált határa és a vizsgálatban felhasznált földrengések epicentrumai	180
54. ábra Különböző fészekmélységekre (4, 8, 12 és 16 km) és ML 4, 5, 6 magnitúdójú földrengésekre számított átlagos csillapítási görbék.....	182
55. ábra A 4-esnél nagyobb, illetve az 5-ösnél nagyobb magnitúdójú Pannon-medencei adatokra illesztett intenzitás-csökkenési egyenletek összehasonlítása más területek csillapodási egyenleteivel.....	183
56. ábra A 4-esnél nagyobb, illetve az 5-ösnél nagyobb magnitúdójú Pannon-medencei adatokra illesztett intenzitás-csökkenési egyenletek összehasonlítása más területek csillapodási egyenleteivel.....	184
57. ábra Kecskemét 40 km-es környezetében kipattant rengéseket kék körök jelzik 456 és 2014 között. Pakstól Kecskemét 70 km-re fekszik	185
58. ábra Kecskemét 40 km sugarú környezetében észlelt földrengések magnitúdó szerinti eloszlása	186
59. ábra Kecskemét 40 km sugarú környezetében észlelt földrengések fészekmélység szerinti eloszlása	187
60. ábra A „GR-PSHA” földrengés katalógus forrásai és összetétele	190
61. ábra A földrengések magnitúdó szerinti gyakorisága a katalógus különböző időszakában	191
62. ábra A GPS geodinamikai vizsgálat kutatási területe	193
63. ábra A 61 darab OGPSH pontok és GPS hálózat elhelyezkedése.....	194
64. ábra Közép-Európa jelenkori kéregmozgás-sebességtérképe a geodinamikai GPS hálózatok mérései alapján	195
65. ábra Relatív blokkmozgások a főbb nagyszerkezeti egységek Közép-magyarországi zóna mentén	196
66. ábra Az észak-déli kontrakció/extenzió sematikus vizsgálati ábrája	197
67. ábra A kelet-nyugati kontrakció/extenzió sematikus vizsgálati ábrája	198

68. ábra Kutatási terület a műholdradar-interferometriával végzett stabilitás- és mozgásvizsgálatokra	199
69. ábra A műholdak, szenzorok, repülési irányok, frekvenciák időbeli intervalluma és geometriája	200
70. ábra A vízszintes irányú tektonikai vizsgálat módszere kétirányú ASMI észlelésekből diffúz deformációra	201
71. ábra Az M1 forrásmodell 20 forrászónája.....	203
72. ábra Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség az M1 modell forrászónáiban.....	203
73. ábra Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség az M1 modell forrászónáiban rögzített b mellett.....	206
74. ábra A SHARE forrásmodell forrászónái.....	207
75. ábra Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség a SHARE modell forrászónáiban....	207
76. ábra A SHARE-mod-HF forrásmodell forrászónái.....	211
77. ábra Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség a SHARE-mod modell forrászónáiban	211
78. ábra A mikroszeizmikus háttérzaj mérések helyszínei	215
79. ábra Mikroszeizmikus háttérzaj mérés a H01 pontban	216
80. ábra A H/V arányok irányfüggése 0–32 Hz között	218
81. ábra A H/V arányok irányfüggése 0–5 Hz között	219
82. ábra Az MVM Paks II. Zrt mikroszeizmikus hálózat állomásai	221
83. ábra A PKB5 mikroszeizmikus mérőállomás Pusztahencse közelében.....	222
84. ábra A mikroszeizmikus monitoring rendszer adatátviteli topológiája.....	222
85. ábra A HUN-Reng virtuális hálózathoz felhasznált állomások	223
86. ábra Távoli földrengés szeizmogramja a PKB1 (fent) és PKB5 (lent) állomásokon.....	225
87. ábra A vízföldtani reambuláció észlelési pontjai	243
88. ábra Egymásrahatás vizsgálatok – 1-2. teszt.....	247
89. ábra Egymásrahatás vizsgálatok – 3-4. teszt.....	248
90. ábra Egymásrahatás vizsgálatok – 5-6. teszt.....	248
91. ábra Egymásrahatás vizsgálatok – 7-8. teszt.....	249
92. ábra Egymásrahatás vizsgálatok – 9-10. teszt.....	249
93. ábra PMK1 mederkapcsolati telep elhelyezkedése	252
94. ábra PMK2 mederkapcsolati telep elhelyezkedése	253
95. ábra A mederkapcsolati vizsgálatok ütemezése	256
96. ábra Vízhozam monitoring mérési helyszínek	268
97. ábra Vízmintavételi monitoring helyszínek	270
98. ábra Vízháztartási vizsgálatok helyszínei	271
99. ábra A kialakított figyelőkutak műszaki rajza.....	272
100. ábra Sok apró gránátból álló sávok csillámpalában, valamint kékes árnyalatú elnyúlt földpátkristályok.....	275
PAET-26/533,15 m (ládaperem 2 cm)	275
101. ábra Világos megjelenésű, óriás gránátos csillámpala. PAET-34/1849,55 m	275
102. ábra A plagioklász- és muszkovitsávok izoklinális redőkbe rendeződése	275
103. ábra Gránátzárványt magába foglaló relikv kyanit a staurolitos csillámpalában.....	276
104. ábra Meredeken palás, finomszemcsés csillámpala	277
105. ábra A közethatárok dőléseloszlásának sztereogramja a PAET-26 (balra) és PAET-34 (jobbra) fúrásban.	278
106. ábra A D1/1 irányítottság azokon a helyeken, ahol D1/2 metszi azt. PAET-26 fúrás. .	278
107. ábra Az izoklinális redőszárnyak, illetve a paláság sztereogramja a PAET-26 (balra) és a PAET-34 (jobbra) fúrásban.	279

108. ábra Az izoklinális redőződés szárnyainak, illetve a palásság orientált adatainak mélység szerinti eloszlása.....	280
109. ábra A D1/3 felülbélyegző deformáció sztereogramja a PAET-26 fúrásban.....	280
110. ábra A nyírásos palásság orientált adatainak sztereogramja	281
111. ábra Nyílt törések sztereogramja a PAET-26 (balra) és a PAET-34(jobbra) fúrásban..	281
112. ábra Zárt törések sztereogramja a PAET-26 (balra) és a PAET-34(jobbra) fúrásban ...	282
113. ábra Vetők sztereogramja a PAET-26 (balra) és a PAET-34(jobbra) fúrásban.....	282
114. ábra PAET-26 fúrásban töredezett szakaszok a tektonikai dokumentáció alapján.....	283
115. ábra Törészónák a PAET-34 fúrásban és vetőkőzetet tartalmazó törések sztereogramja	284
116. ábra A PAET-34 jelű fúrás 2. törészóna korának meghatározása illitből, K/Ar módszerrel. lila: G-37517 és G-37332 mintákból szeparált muszkovit K/Ar kora.....	287
117. ábra A PAET-30-as fúrás fontosabb kőzettani és rétegtani beosztása, valamint üledékföldtani és szerkezetelemzési összefoglalása	288
118. ábra Keresztrétegzett finomszemcsés homokkő és konglomerátum.....	289
PAET-30 fúrás, 586,84–587,73 m között (szkennelt magfotó).	289
119. ábra Nagyméretű csuszamlásos redőt és több parazita redőt formáló breccsa és gumó klaszrok dőlésiránya és térbeli elrendeződése a középső-triász sziliciklasztos és karbonátos összlet felső szakaszán, tadpole diagramrészleten	290
120. ábra Gumós-flázeres szerkezetű dolomit.....	290
121. ábra Lemezes dolomit, plasztoklasztos üledékszerkezettel.....	291
122. ábra Az alsó és középső-triász formációk rétegdőlés adatainak sztereogramja és pólussűrűségi diagramja	291
123. ábra A alsó- és középső-triász képződmények orientált töréses képződményeinek sztereografikus ábrázolása.....	292
124. ábra A teljes triász szelvényen áthúzódó nyílt törések irányeloszlása a mélység szerint	293
125. ábra Bioturbált mészmárga.....	294
126. ábra Hidraulikusan breccsásodott sötétszürke márga.....	294
127. ábra Jól rétegzett, lemezes szerkezetű, színes mészmárga.....	294
128. ábra A PAET-27 fúrásban harántolt alsó-középső-jura pelágikus, finom sziliciklasztos összlet rétegdőlés és üledékes jelenségei orientált sztereografikus eloszlásai.....	295
129. ábra Az alsó-középső-jura pelágikus, finom sziliciklasztos összlet fontosabb kőzettani és rétegtani beosztása, valamint üledékföldtani és szerkezetelemzési összefoglalása	296
130. ábra Az alsó és középső-jura képződmények orientált töréses képződményeinek sztereografikus ábrázolása.....	297
131. ábra A töréses elemek mélységgel történő változása	299
132. ábra Dolomitmárvány (balra) éles kontaktusa a vörös, hólyagüreges bazaltból és a vörös és fehér üledékből álló kevert kőzettel	300
133. ábra Bazalt teleptelerek dőlésadatainak sztereografikus ábrázolása	300
134. ábra Karbonátterek térbeli iránya és dőlésszöge (szürke körök) az alsó-kréta peperites bazaltban.....	301
135. ábra Gyulakeszi Formáció: Durva alaphegységi törmelékot tartalmazó, hullámosan, flázeresen rétegzett összesült ártufa	302
136. ábra Szászvári Formáció: Mezozoos mészkő és meszes aleurolitkavics a folyóvízi konglomerátumban.....	303
137. ábra Szászvári Formáció: Kavicsos közepes szemű homokkő eróziós határral települ a finomhomokkő-betelepüléssel aleurolitban	303
138. ábra Szászvári Formáció: Lapos mocsári csiga közeli képe a mag alsó oldalán	304
139. ábra Szászvári Formáció: Vízkiszökés nyomai homokkő-betelepüléssel aleurolitban...	305

140. ábra Különböző szerkezeti elemek a PAET-35 fúrásból, a Szászvári Formációból.....	305
141. ábra A PAET-27 fúrás magszkennelt és mélyfúrás-geofizika alapján orientált objektumainak sztereografikus ábrázolása.....	306
142. ábra Mecseki Andezit Formáció: A PAET-29 fúrás jellegzetes vulkanittípusai	308
143. ábra Közethatárok (balra) és belső irányítottság (jobbra) sztereogramja a vulkanitban	309
144. ábra Az egymás utáni kitörésgenerációk síkszerű vékony kitöltéseket is hátrahagytak az idősebb vulkáni kőzetekben	309
145. ábra Orientált nyílt (balra) és zárt (jobbra) törések sztereogramja a vulkanitban	310
146. ábra Orientált karbonát kitöltőanyagú zárt törések sztereogramja a vulkanitban	310
147. ábra Budafai Formáció: Polimikt konglomerátum.....	311
148. ábra . Lajtai Formáció: Biogén mészkő a PAET-34 fúrásban, 691,15 m-ben	312
149. ábra Lajtai Formáció: Planostegina giganteiformis (Papp) óriás Foraminifera lithothamniumos homokkőben.....	313
150. ábra Tinnyei Formáció: Autigén breccsás, ferderétegzett mészmárga	314
151. ábra Pannóniai formációk kronosztratigráfiai helyzete a Dunántúl egy szakaszán	315
152. ábra Pannóniai formációk települési helyzete és az egykori domborzat kapcsolata	317
153. ábra Durvahomokkő mátrixú konglomerátum lekerekített kavicsai a Békési Konglomerátum Formációban.....	317
(PAET-30_0516,53-0516,63_IMG_4247.JPG)	317
154. ábra Agyagfoltos, bioturbált agyagos aleurit az Endródi Márga Formációban	318
155. ábra Pirites Mollusca lenyomatok és kőbelek	319
PAET-27_405,30_P125-0044	319
156. ábra Kagylóhéj-töredék és –lenyomat a szürke agyagmárgában	319
PAET-30_0501,03_IMG_4230.JPG	319
157. ábra Keresztlemez homokbetelepülés agyagos aleuritban.....	320
PAET-30_0474,35-0474,4_IMG_4222.JPG.....	320
158. ábra Csíkos-sávós kőzetlisztes márga	321
159. ábra A selfperem progradációja a késő-miocén során szeizmikus korreláció alapján [198]	321
160. ábra Limnocardium kőből közép- durvaszemű homokban	322
161. ábra Kagylóhéj-töredék és –lenyomat a rétegzetlen, szürke agyagban.....	322
162. ábra 6 cm vastag lignitréteg márgás kőzetlisztben.....	323
PAET-26_202,8_P703-0041	323
163. ábra A finom- és aprószemcsés homokrétegekben lencsés és hullámos rétegzés, kereszt- és síklemezesség.....	324
164. ábra Folyóvízi (Duna) teraszképződmény Fadd közelében (4212. feltárás).....	327
165. ábra Övzátonyíves térszíni forma a Sió ártéren.	328
166. ábra A Dunamenti síkság fúrásainak térbeli helyzete, a fúrásszám alatt a folyóvízi genetikájú képződmények vastagsága található	329
167. ábra A PAET-10, PAET-15 és PAET-20 fúrások folyóvízi üledékeinek litológiai tagolása (maganyag dokumentálás alapján) és a hozzájuk tartozó GR mélyfúrás geofizikai szelvényeik (Z koordináta szerint)	330
168. ábra A PAET-13 fúrás negyedidőszaki képződményeinek rétegsora	331
169. ábra A telephelyen belül mélyült fúrások folyóvízi genetikájú rétegsora.....	332
170. ábra Többgenerációs suvadásos térszín Varsád környékén	334
171. ábra Idős löszképződmények csúszása pannon felszínen (Alsópélpusztá, 4217 feltárás)	334
172. ábra Szélgödrökkel, hosszanti dűnékkel jellemzett futóhomok Kajdacs környékén	336
A koordinátaháló szomszédos rácpontjainak távolsága 1 km.	336
173. ábra A Paksi Löss Formáció litosztratigráfiai felosztása a DK-Dunántúlon [164].....	338

174. ábra Az Udvari–2A fúrás lösz-rétegsorának párhuzamosítása a Polaritás-idő és a Tengeri oxigénizotóp skálákkal [164]	339
175. ábra Szintesen rétegzett lejtőlösz a Fialat Löszsorozatban (Dunaföldvár 4316. feltárás)	340
176. ábra Az Udvari–2A fúrás rétegsora, mágneses polaritás zónái és párhuzamosítása a polaritás-idő skálával.....	342
177. ábra A kutatási terület képződményeinek időrétegtani diagramja	344
178. ábra A kutatási terület sematikus tektonosztratigráfiai szelvénye és a 3D földtani modellt felépítő geológiai horizontok (1-6) rétegtani helyzete	346
179. ábra Az XSi-13 jelű mintaszelvény értelmezett változata	347
180. ábra A negyedidőszaki fekü horizontot perspektivikus nézete dél felől. 5-szörös túlmagasítás, a z-koordináta ábrázolása lefelé pozitív	348
181. ábra A 3D földtani modell aljzati, miocén és alsó-pannon horizontjainak (1–4) perspektivikus nézete DDNy felől	350
A perspektivikus nézet miatt az ábra méretaránya változó, a modell kiterjedése 60x60km. A piros és a sárga poligonok a tervezett telephelyet, illetve Paks városát jelölik.....	350
182. ábra A kutatási területen azonosított vetők áttekintése	351
Piros vonalak: 3D numerikus vetőmodellel rendelkező vetők, fekete vonalak: egyéb, kisebb vetők. Halványlila poligon: tervezett telephely (középen).....	351
183. ábra A 3D földtani modell vetőfelületeinek perspektivikus nézete DDNy felől a pannon fekü (színezett horizont szintvonalakkal) és az Algyői Formáció tetejének (transzparens) horizontjaival.....	352
184. ábra Ártéri homoklebeny Tolna mellett	364
185. ábra A Kanacsi-árok völgyének hosszszelvénye a Mezőföldön	365
186. ábra A Delibök-völgy hosszszelvénye a Szekszárdi-dombságban	366
187. ábra Eróziósan, deráziósan átalakult yardangok, szélbarázdák a Mezőföldön	370
188. ábra Dunaegyháza – Bölcske szakasz (1566-1552 fkm) a Google Earth, az első (1783), a második (1858) és a harmadik katonai (1881) felmérés térképein	375
189. ábra A Solti síkság domborzati keresztaszelvénye (Pécsi 2002 alapján Mezősi G. 2011)	376
190. ábra A Bölcske – Paks szakasz (1552-1532 fkm) a Google Earth, az első (1783), a második (1858) és a harmadik katonai (1881) felmérés térképein	377
191. ábra A Paks – Gerjen szakasz (1532-1515 fkm) a Google Earth, az első (1783), a második (1858) és a harmadik katonai (1881) felmérés térképein	379
192. ábra A Gerjen – Sió torkolat szakasz (1515-1497 fkm) a Google Earth, az első (1783), a második (1858) és a harmadik katonai (1881) felmérés térképein	382
193. ábra Sió torkolat – Sükösd szakasz (1497–1493 fkm) a Google Earth, az első (1783), a második (1858) és a harmadik katonai (1881) felmérés térképein	383
194. ábra Paleotalaj-vékonycsiszolatok összehasonlítása a paksi és a mendei téglagyári minták, valamint a PAET-09 és PAET-12 fúrómagok között – fotódokumentáció részlet... 387	
195. ábra A paksi téglagyári alapszelvény litosztratigráfiai bemutatása a korábbi feltárások és fúrási helyek feltüntetésével [269]	388
196. ábra A paleogeomorfológiai vizsgálatba bevont fúrások és feltárások elhelyezkedése, valamint a felvett szelvények lefutása.....	389
197. ábra Paleogeomorfológiai helyzet a PAET-12 és PAET-09 fúrások közti keresztaszelvényen, a vizsgált rétegsorok elhelyezkedésével.....	392
198. ábra A vizsgált szelvények párhuzamosítása a tengerszintfeletti magasságok és a litosztratigráfiai egységek alapján, a geokronológiai adatok tükrében	393
199. ábra A kutatási terület és tágabb környezetének főbb aljzat-morfológiai elemei és vetőrendszerei.....	402

200. ábra A pre-kainozoos aljzat felépítése Paks környezetében Haas [123] kutatási eredmények szerint módosított térképe alapján.	404
201. ábra HAAS [123] aljzattérképe (balra) és a kutatási eredmények alapján módosított aljzattérkép (jobbra)	405
202. ábra Miocén vulkáni szerkezet szeizmikus képe a szerkezet centrális részétől ellentétes irányba dőlő reflexiókkal. Részlet a REG-2 szelvényből.	407
203. ábra Az „alsó-miocén” képződmények vastagságtérképe (m)	408
204. ábra Alsó-pannon vulkáni szerkezetek Kecel környékéről. Részlet a KU-93 szeizmikus szelvényből.	411
205. ábra A Tengelici Formáció elterjedése és mélységtérképe (fent), valamint vastagsága (lent)	414
206. ábra A negyedidőszaki képződmények talpa (fent) és vastagsága (lent)	415
207. ábra A legfelső futóhomok szint talpa.....	416
208. ábra Kapos-vonal” meghatározó vetőinek perspektivikus nézete DNy felől.....	419
209. ábra A Bonyhádi-medence komplex „virágszerkezetet” alkotó 3D vetőrendszereinek perspektivikus nézete DNy felől.	420
210. ábra A Kapos-vonaltól délkeletre eső terület 3D vetőrendszereinek perspektivikus nézete DNy felől.....	421
211. ábra Az erőmű alatt áthaladó Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna és csatlakozó vetőrendszereinek 3D perspektivikus nézete DNy felől	422
212. ábra A Paks 3D szeizmikus adataiból számított koherencia-tömb 420 ms időhorizontnál vett metszetének részlete az értelmezett vetőszegmensekkel.	423
213. ábra A Németkéri-magaslat peremvetőinek perspektivikus nézete DNy felől	424
214. ábra A kutatási terület szerkezetalakulásának áttekintése. A feszültségtér-irányok feltüntetése a jelenlegi koordináták szerint történt.	426
215. ábra (a) Miocén és legalsó pannon rétegek enyhe redőződése az XPAK-4 szelvényen és (b) a szeizmikus szelvényeken azonosított redő tengelyének (piros vonal) helyzete a középső-miocén tetejének térképrészletén	429
216. ábra Boltozatot formáló, invertált miocén összlet, amelyet a neotektonikus fázisban a Dunaszentgyörgy-Harta vetőzóna eltolódásos jelleggel deformál.	430
217. ábra Az alsó-miocén üledékképződési környezetek vázlata DNy felől, madártávlatból.....	432
218. ábra A középső-miocén alsó része üledékképződési környezetének vázlata.....	432
219. ábra A középső-miocén felső része üledékképződési környezetének vázlata.....	433
220. ábra A pannóniai emelet rétegtani korrelációs táblázata [198]	434
221. ábra Mélyfúrások szelvényeinek korrelálása	440
222. ábra A pannóniai kor során a különböző képződmények térbeli változásának szemléltetése három egymást követő feltöltődési fázisban.....	441
223. ábra Kvarter földtani szelvények nyomvonala Barna vonal: 1. szelvény; zöld vonal: 2. szelvény	442
224. ábra Elvi rétegoszlop. A kutatási terület képződményeinek fő negyedidőszaki kifejlődései	443
225. ábra Az 1.sz. és 2 sz földtani szelvények (Bonyhád–Dunaegyháza; Mezőszilas Jánoshalma).....	446
226. ábra Keresztrétegzett folyóvízi homok Paks környezetében a 4166 feltárásban	449
(mértékléc: 115 cm)	449
227. ábra Védett dombsági és völgyoldali lejtős területek fejlődése	452
228. ábra Suvadásokkal szabdaltnak, jellegzetes „két lépcsős” domborzat Szekszárd környékén	454
229. ábra Dombsági térszinek jellemző kifejlődései (elvi szelvény) A Dél-Mezőföld ÉNy–DK-i irányú hosszanti völgyeire merőleges metszetben jellemző földtani felépítés.	456

230. ábra A kora-középső-pleisztocén folyók feltételezhető nyomvonala.....	460
231. ábra Az Ős-Sárvíz (A) és a kenese-városhídvégi meder (B) területén mélyült fúrások rétegsorai	461
232. ábra A Tengelici Formáció és a fedő kvarter képződmények helyzetét mutató fúrási és feltárásszelvények a Mezőföldön.	462
233. ábra A Mezőföld löszösszletének helyzete.	463
234. ábra Völgyirányok megoszlása vízfolyás-rendűség szerint a kutatási terület dombsági részein, elsőrendűtől a hatodrendű vízfolyásokig [330].....	464
235. ábra Az egy éves időtartamú, kéthavonkénti medermonitorozás során tapasztalt mederváltozások az első, 2015. június 9-i felméréséhez viszonyítva.	466
236. ábra Ismeretlen – potenciálisan szerkezeti – genetikájú egyenes tereplépcsők	468
237. ábra Feltárásokban észlelt szeizmitek	468
238. ábra Szedres-Kajmádpusztá, szeizmitek	470
239. ábra A szedresi feltárás koradatai.....	470
240. ábra Deformált kvarter üledékek.....	471
241. ábra Sávszelvények a Mezőföldön.....	472
242. ábra A mezőföldi sávszelvények értelmezése.....	473
243. ábra Jellegzetes folyó-esésgörbék	474
244. ábra Süllyedő terület Dunaföldvár mellett domborzatmodellel	475
245. ábra A Pa-21-B fúrásban, 29 m környékén dokumentált, közel függőleges, jobbos eltolódás a Tengelici Formációban	476
246. ábra A Pa-21-E jelű fúrás 1,75 – 2,0 m közötti maganyaga és annak CT felvétele.....	476
247. ábra A Pa-21-II árokban észlelt szerkezeti elemek kapcsolódása a Dunaszentgyörgy – Harta törészónához.....	477
248. ábra A Pa-21-I. és -II. árokban feltárt kőzetösszlet szemcsemérete kőzetlisztől aprókavicsig terjed	478
249. ábra A Pa-21-I. és -II. árokban feltárt rétegzési típusok	478
250. ábra A Pa-21-II jelű árok K-i oldalának ötszörös magasztású földtani szelvénye	479
251. ábra Bioturbációs üledékszerkezetek a kutatóárokban.....	481
252. ábra Zavartalan rétegek között átbuktatott és kisebb aszimmetrikus redők a kutatóárokban.....	482
253. ábra Eolikus formák az árokban és környékén.....	483
254. ábra A kutatóárokban 0 – 55 m között követhető, 1,9 – 1,75 m talpmélységű réteg fényképe 11,7 és 28,7 méterből (fent), a zavart és a bioturbált rétegek kiemelésével (lent) .	485
255. ábra Az észlelt hasadékok sztereogramja.....	486
256. ábra Elmozdulási felszín és kiékelődő törés 41 és 42 m között, az árok K-i falában	487
257. ábra A szeizmotektonikus elemek jellemzői.....	488
258. ábra A szeizmotektonikus elemek jellemzői II.	489
259. ábra A 0,5 méternél észlelt szerkezet kiterített ábrázolása.....	490
260. ábra A 43,7 méternél, 3 méter talp felett észlelt szerkezet kiterített ábrázolásban	491
261. ábra En echelon jellegű szerkezettel kiékelődő hasadék az árok 37. méterében. Vetőként értelmezve 2,5 cm vízszintes elmozdulást jelöl	492
262. ábra Dk-spanyolországi késő-miocén földrengések hatására kialakult benyomulások telérek jellemzői [227] ábráján.....	493
263. ábra A tágabb kutatási terület földtani–geomorfológiai tájegységei.....	494
264. ábra A tágabb kutatási terület 5°-nál meredekebb lejtői ([215] 71 p.) alapján	496
265. ábra Csuszamlás maradványai a Tolnai-hegyháton és a Mezőföldön.....	496
266. ábra Vízmosság egy szántóföld területén a Mezőföldön, Alsószentiván mellett.....	497
267. ábra Felületi erózió löszfelszínen.....	497

268. ábra Erózióveszélyeztetettségi térkép a vízmosások összhossza alapján (m / km ² pixel)	498
269. ábra Széles lapos, feltöltött völgytalp a Tolnai-hegyhát eróziós völgyében, Tolnanémedi mellett.....	499
270. ábra Széles, lapos völgytalpú eróziós völgy a Mezőföldön, Előszállás mellett.....	499
271. ábra Szabadon mozgó futóhomokbucka a Kiskunság nyugati részén Nemesnádudvartól keletre.....	501
272. ábra Erdőtelepítéshez előkészített szabad futóhomok felszíne a Kiskunság nyugati részén Nemesnádudvartól keletre.....	501
273. ábra Lösskarsztos terület Sióagárd és Szedres-Kajmádpusztá között.....	502
274. ábra A Kárpát-medence és a környező hegységek névmutatója, valamint a 300 km sugarú elvi vizsgálati terüle.....	505
275. ábra A Kárpát-medence aljzatmélységei, a medencealakuláshoz kapcsolódó vetőrendszerek és vulkánosság [138].....	506
276. ábra A Pannon-medence általánosított rétegtani és tektonikai diagramja [138] után módosítva).....	508
277. ábra Balos oldalelmozduláshoz tartozó deformációs ellipszis és másodlagos vetők, valamint kanyargó oldalelmozdulásos vetőhöz tartozó másodlagos szerkezeti elemek [49]	509
278. ábra A Kárpát-medence és hegységi környezetének földrengései (Georisk adatbázisa alapján, Mónus et al. 2015) a terület új szerkezeti térképén ábrázolva.....	511
279. ábra Általános földtani rétegsor a tervezett telephelyen.....	514
280. ábra Telephelyen belüli fúrások és a szerkesztett szelvények nyomvonala.....	516
281. ábra Az A-A' keresztmetszvény.....	517
282. ábra A B-B' keresztmetszvény.....	518
283. ábra A tömbszelvény DK felől, pirossal kiemelve a vetőzóna északi határfelületének a felszínre vetített poligonja.....	520
284. ábra A tömbszelvény DK felől, a kvarter rétegek nélkül a vetőzóna északi határának feltüntetésével (kék felület).....	520
285. ábra A tömbszelvény DK felől, a kvarter és a homokos rétegek nélkül, a vetőzóna északi határának feltüntetésével (kék felület).....	521
286. ábra A tömbszelvény ÉK felől, a kvarter és a homokos rétegek nélkül, a vetőzóna északi határának feltüntetésével (kék felület).....	521
287. ábra ÉNy-DK irányú földtani szelvény DNy felő, a vetőzóna északi határfelületének feltüntetésével.....	522
288. ábra „A” jelű feltöltés alsó síkjának Balti feletti magassága.....	524
289. ábra „A” jelű feltöltés vastagsága.....	525
290. ábra „D” jelű finomhomok alsó síkjának Balti feletti magassága.....	527
291. ábra „D” jelű finomhomok vastagság.....	528
292. ábra „E” jelű öntéshomok alsó síkjának Balti feletti magassága.....	529
293. ábra „E” jelű öntéshomok vastagsága.....	530
294. ábra „F” jelű kavicsterasz alsó síkjának Balti feletti magassága.....	531
295. ábra „F” jelű kavicsterasz vastagsága.....	532
296. ábra A feltöltésből készült szemeloszlási vizsgálatok eredményei.....	541
297. ábra A futóhomokból készült összes szemeloszlási vizsgálat eredményei.....	545
298. ábra Az öntéshomokból készült szemeloszlási vizsgálatok eredményei.....	549
299. ábra A kavicsteraszról készült szemeloszlási vizsgálatok eredményei.....	552
300. ábra „G” rétegben készült vizsgálatok szemeloszlási görbéi.....	554
301. ábra „H” rétegben készült vizsgálatok szemeloszlási görbéi.....	557
302. ábra „I” rétegben készült vizsgálatok szemeloszlási görbéi.....	560
303. ábra „K” rétegben készült vizsgálatok szemeloszlási görbéi.....	563

304. ábra „M” rétegben készült vizsgálatok szemeloszlási görbéi	565
305. ábra „O” rétegben készült vizsgálatok szemeloszlási görbéi	568
306. ábra Futóhomok minta különböző tömörséghez tartozó ciklikus szilárdság görbéi	570
307. ábra Öntéshomok különböző tömörséghez tartozó ciklikus szilárdság görbéi	571
308. ábra A feltöltéshez rendelt leromlási görbék.....	571
309. ábra A futóhomokhoz rendelt leromlási görbék.....	572
310. ábra Az öntéshomokhoz rendelt leromlási görbék.....	572
311. ábra A kavicsteraszhoz rendelt leromlási görbék.....	573
312. ábra A pannon réteghez rendelt leromlási görbék.....	573
313. ábra Jelen talajvizsgálati jelentéskeretében mért és a homoktalajokra javasolt (Seed- Idriss 1970) csillapítási tényezők görbéi	575
314. ábra Jelen talajvizsgálati jelentés keretében mért csillapítási tényezők és a Paks 1 telephelyre meghatározott alsó, legjobb és felső becslés	575
315. ábra Az I-6 kútcsoport és a Duna vízszint idősora, 2016. I. félév	578
316. ábra A IV-2 kútcsoport és a Duna vízszint idősora, 2016. I. félév	579
317. ábra Az I-6-A és IV-2-A kutak fajlagos elektromos vezetőképesség és hőmérséklet idősorai, 2016. I. félév.....	580
318. ábra Rétegvízszintek időbeli alakulása egy É–D irányú szelvény mentén elhelyezkedő figyelőkutakban.....	580
319. ábra A 3. egyidejű vízszintmérési kampány talajvízszinttérképe, 2016. május 27.	581
320. ábra Az 5. vízszintmérési kampány talajvízszinttérképe, 2016. július 27-28.	582
321. ábra Az első vízkémiai monitoring kampány eredményei Piper-diagramon – 2016. első negyedév.....	586
322. ábra A regionális hidrogeológiai vizsgálat és a numerikus hidrodinamikai modellezés területe.....	587
323. ábra Az érintett felszín alatti víztestek Magyarország Vízyűjtő-gazdálkodási Terve szerint	588
324. ábra 1m vályog fedőtálaj, 9 m vályog altalaj típusszelvényre jellemző talajvízháztartási jelleggörbe.....	591
325. ábra 1 m homok fedőtálaj, 9 m homok altalaj típusszelvényre jellemző talajvízháztartási jelleggörbe.....	591
326. ábra 1 m vályog fedőtálaj, 4 m agyag és 5 m homok altalaj típusszelvényre jellemző talajvízháztartási jelleggörbe.....	591
327. ábra A modellben alkalmazott beszivárgás értékek területi eloszlása, mm/év értékben.	592
328. ábra A hidrodinamikai modellbe beépített termelések vertikális eloszlása a regionális modellterületen, nyugat-keleti irányú, 10x vertikális túlmagasítású szelvény.....	596
329. ábra Jelentős vízbázisok a Tervezett telephely környezetében.	597
330. ábra A numerikus regionális vízföldtani modellbe beépített vetők.....	600
331. ábra A tengelici K-37-es kút kiértékelt p(z)-profilja, melyen látható a pontokra illesztett egyenesek meredekségéből számolt vertikális nyomás gradiens érték	601
332. ábra A KisK-É-1-es szénhidrogén kutatófúrás kiértékelt p(z)-profilja, melyen a mért érték és a hidrosztatikus görbéhez képesti eltérés látható (Δp).....	602
333. ábra A PAET-30-as fúrás kiértékelt p(z)-profilja, melyen a mért érték és a hidrosztatikus görbéhez képesti eltérés látható (Δp)	602
334. ábra A PAET-34-es fúrás kiértékelt p(z)-profilja, melyen a mért érték és a hidrosztatikus görbéhez képesti eltérés látható (Δp)	603
335. ábra A Jánoshalma-Új-18 szénhidrogén kutatófúrás kiértékelt p(z)-profilja, melyen a mért érték és a hidrosztatikus görbéhez képesti eltérés látható (Δp)	603

336. ábra A túlnyomásos kutak a felső-miocén mélységtérképen, az értelmezett vetőpoligonok feltüntetésével.....	604
337. ábra A regionális hidrodinamikai modell rétegei	606
338. ábra A) A hidrodinamikai kalibráció során felhasznált vízszint adatok összesítése. B) A hőtranszport modell kalibráció során felhasznált hőmérséklet adatok összesítése.	606
339. ábra A legfelső, kvarter rétegre számított potenciálszintek (mBf).....	608
340. ábra Magas talajvízállású területek a regionális vízföldtani modellezés területén	609
341. ábra Áramlási rezsimiek a regionális vízföldtani modellezés területén	610
342. ábra A felső- pannóniai tetőre (3. réteg) számított potenciál értékek (mBf).....	611
343. ábra A pre-tercier aljzat tetőre (9. réteg) számított potenciál (mBf) értékek	612
344. ábra A tervezett telephely területét érintő, észak-déli irányú részletes potenciál-eloszlás (mBf) szelvény, 10x-es vertikális túlmagasítással	613
345. ábra A tervezett telephely területét érintő, nyugat-keleti irányú, részletes potenciál-eloszlás (mBf) szelvény, 10x-es vertikális túlmagasítással	614
346. ábra Hőárameloszlás a kutatási terület tágabb környezetében.	615
347. ábra A felszín alatti víz számított hőmérséklete (°C) a 9. réteg tetején (pre-tercier aljzat tető).....	616
348. ábra Néhány jellemző monitoring kút vízszintjének változása 1961 és 2015 között.....	617
349. ábra A talajvízszint változás hosszú-, és rövidtávú trendje.....	618
350. ábra Az 1961-2015 közötti vízszint adatokra illesztett lineáris trend meredekségének hisztogramja	619
351. ábra A 2000-2015 közötti vízszint adatokra illesztett lineáris trend meredekségének hisztogramja	619
352. ábra Az 1995-2015 közötti vízszint adatokra illesztett lineáris trend meredekségének hisztogramja	620
353. ábra A 2005-2015 közötti vízszint adatokra illesztett lineáris trend meredekségének hisztogramja	620
354. ábra A Duna vízállásainak trendje Dunaföldvárnál 1965 és 2015 között	622
355. ábra A Duna vízállásainak trendje Paksnál 1965 és 2015 között.....	622
356. ábra A Duna vízállásainak trendje Domborinál 1965 és 2015 között.....	622
357. ábra A vízigények becsült alakulása 2025-ig, és 2050-ig	624
358. ábra Modellezett talajvízszint süllyedés 10%-os beszivárgás csökkenés esetén (1. scenárió)	626
359. ábra Modellezett talajvízszint süllyedés 20%-os beszivárgás csökkenés esetén (2. scenárió)	627
360. ábra Az egyes mélyfúrások hidraulikai vizsgálataiból számolt K tényezők mélység szerint (nem pakkeres vizsgálatok)	629
361. ábra PAET fúrásokból vett vízminták Piper- diagramja	636
362. ábra PAET-34 vízmintavételi szakaszok és víztípusok.....	637
363. ábra Paks mintegy 30 km-es körzetéből vett vízminták Piper diagramja	638
364. ábra A rétegvizek kémiai összetételének kördiagramja a Kiskunhalas-kalocsa-Paks-Györköny szelvény mentén	639
365. ábra A $\delta^2\text{H}$ és $\delta^{18}\text{O}$ adatok összefüggése	640
366. ábra A negyedidőszaki üledékek laboratóriumi mérésekkel meghatározott jellemző szivárgási tényező értékei.....	642
367. ábra A különböző mélységekre szűrözött kutak hidraulikus vezetőképesség eloszlása (m/s)	643
368. ábra Az „A” és „B” jelű kutak hidraulikus vezetőképesség eloszlástérképe	644
369. ábra A „C” és „D” jelű kutak hidraulikus vezetőképesség eloszlástérképe	645

370. ábra A geofizikai szelvények alapján meghatározott szivárgási tényezők statisztikai jellemzői a telephelyi fúrásokban.....	646
371. ábra Geofizikai szelvényekből számított porozitáseloszlások dobozdiagramja.	646
372. ábra Az I-6 kútcsoportnál végzett nyomjelzéses vizsgálat kiértékelése	651
373. ábra Az I-2 kútcsoportnál végzett nyomjelzéses vizsgálat kiértékelése	652
374. ábra Az IV-6 kútcsoportnál végzett nyomjelzéses vizsgálat kiértékelése.....	652
375. ábra Az II-6 kútcsoportnál végzett nyomjelzéses vizsgálat kiértékelése	653
376. ábra A III-6 kútcsoportnál végzett nyomjelzéses vizsgálat kiértékelése.....	653
377. ábra V-6 kútcsoportnál végzett nyomjelzéses vizsgálat kiértékelése.....	654
378. ábra Relatív diszperzitás értékek az egyes nyomjelzéses vizsgálatoknál	655
379. ábra A szivárgási tényező szemeloszlásból számított értékei, laboratóriumi adatok, a kúttesztekből meghatározott medián, 16%-os és 84%-os percentilisei, valamint a szemeloszlásból számított értékek mediánja és percentilisei	657
380. ábra A szivárgási tényező logaritmusának térbeli eloszlása 10–15 m közötti mélységben (A jelű kutak mélysége)	658
381. ábra A szivárgási tényező logaritmusának térbeli eloszlása 15–25 m közötti mélységben (B jelű kutak mélysége).....	658
382. ábra A telephelyi talajvízfigyelő-kutak vízjárása.....	660
383. ábra A „B” és „A” jelű talajvízkutak vízszintkülönbségének dobozdiagramja	661
384. ábra Talajvízszintek az I. szelvényben	662
385. ábra Talajvízszintek a II. szelvényben	662
386. ábra Talajvízszintek a III. szelvényben	663
387. ábra Talajvízszintek a IV. szelvényben.....	663
388. ábra Talajvízszintek az V. szelvényben	664
389. ábra A talajvíz és a Duna közötti korrelációs együttható alakulása a talajvízkutak vízfolyástól való távolságának függvényében.....	665
390. ábra A 2016.03.30-i mérések alapján szerkesztett talajvízdomborzat szürke pontok: mért talajvízszint [mBf].....	666
391. ábra Rétegvízszintek időbeli alakulása egy É–D irányú szelvény mentén elhelyezkedő figyelőkutakban	667
392. ábra Rétegvízszintek az I. szelvényben.....	668
393. ábra Rétegvízszintek a II. szelvényben	668
394. ábra Rétegvízszintek a III. szelvényben	669
395. ábra Rétegvízszintek a IV. szelvényben.....	669
396. ábra Rétegvízszintek az V. szelvényben	670
397. ábra A telephelyi rétegvízfigyelő kutak helyszínrajza	671
398. ábra Az 1961–2010. időszakra számított ariditási index relatív gyakorisága	672
399. ábra A vizsgált terület jellemző talajvízháztartási jellegörbéi [309].....	674
400. ábra A hidraulikus esés nagysága és iránya a telephelyen (a 2016.03.30-i talajvízszintek alapján)	677
401. ábra A Darcy-fluxus abszolút értéke a kavicsteraszban és a talajvízszint-esés iránya (a 2016.03.30-i talajvízszintek alapján)	678
402. ábra Mért és számított vízszintek az I-2-B, I-4-B és I-8-B jelű kutakban	680
403. ábra Mért és számított vízszintek az IV-2-B, IV-4-B és IV-8-B jelű kutakban.....	680
404. ábra Mért és számított vízszintek a II-2-C, III-4-C, IV-4-C, IV-6-D és V-6-D jelű kutakban	681
405. ábra Számított talajvízszint Paks vízmércén mért 84,92 mBf vízszint esetén (2016.01.01.)	682
406. ábra Számított talajvízszint Paks vízmércén mért 89,9 mBf vízszint esetén (2016.02.26.)	683

407. ábra Mért és számított talajvízszintek a C1,2; C3,1; T22 és T32/a kutakban a 2013. júniusi árhullám idején.....	684
408. ábra Mért és számított talajvízszintek a K10 és V217/a jelű kutakban a 2013. júniusi árhullám idején.....	684
409. ábra A 2013. júniusi árvíz során kialakult legmagasabb modellezett talajvízszintek....	685
410. ábra A Duna hidrodinamikai hatásterületének meghatározása a telephelyen nagyvízi időszakban, árampályák alapján.....	686
411. ábra A telephelyi vízföldtani modell által a 2013. júniusi árhullámra számított nyomvonalak.....	687
412. ábra Potenciálkülönbség (dh) eloszlás a megnövekedett vízkivétel hatására a felső pannonban.....	689
413. ábra Potenciálkülönbség (dh) eloszlás a megnövekedett vízkivétel hatására a kvarter fekűn.....	690
414. ábra Beszivárgási területek a telephelyi modell területén.....	692
415. ábra Intenzív és mérsékelt beszivárgás értékkel számított talajvízszintek különbsége .	693
416. ábra A Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna belső szerkezetének és közvetlen környezetének kinematikai értelmezése.....	697
Az eltolódási zónákban kialakuló vetőkép elvi sémája.....	697
417. ábra A kutatási terület meghatározó neotektonikus vetőzónáinak (szürke kiemelés) áttekintése.....	698
418. ábra A tervezett telephely és szűkebb környezetének neotektonikus szerkezeti elemei és a jelen fejezetben tárgyalt földtani-geofizikai vizsgálatok áttekintése.....	700
419. ábra A Geomega által mért Pa-21-S-Geomega S-hullám időszelvény (b) és tomografikus feldolgozásának eredménye (a).....	701
420. ábra A Pa-21-S-Geomega S hullám szeizmikus szelvény értelmezetlen (a) és értelmezett változata (b).....	702
421. ábra A Pa-21-II kutatóárokban dokumentált normálvetőkkel kísért, fölfelé kiszélesedő hasadéka.....	703
A hasadék értelmezetlen (balra) és marker-horizontok jelölésével (színes vonalak) értelmezett képe (jobbra).....	703
422. ábra A Pa-22-S szelvény délkeleti végének feldolgozása és szerkezeti értelmezése (Tóth 2016 alapján) [353].....	704
423. ábra Paks-MUEL-10 geoelektromos szelvény, értelmezése, valamint a nyomvonala mentén korábban mért Pa-13 szeizmikus szelvény részlete (Kudó I. [184] alapján).....	705
424. ábra Paks-MUEL-3 nagyfelbontású geoelektromos szelvény és értelmezése (Kudó I. [184]).....	706
425. ábra Paks-MUEL-3 geoelektromos szelvény a Pa-22-S sekélyreflexiós szelvény értelmezett változatával összevetve (Tóth T.[353] alapján [353]).....	707
426. ábra A kutatási terület neotektonikus eseményeinek/jelenségeinek áttekintése.....	709
427. ábra A tervezett telephely 50 km-es környezetében 1995. jan. 1. és 2016. május 31. között észlelt földrengések epicentrumai (piros csillag) [377].....	711
428. ábra A pszeudo-3D vízi szeizmikus mérés 2-es blokkjának felmérése során leképezett paleo-meder üledéksorának deformációja.....	714
429. ábra A fúrólukakban mért K0 (Sh/Sv) alakulása a mélység függvényében.....	717
430. ábra A geodinamikai modellezéshez kialakított 3D vetőmodell felülnézeti képe a térképezés során használt vető nevezéktannal ([117], [192]).....	720
431. ábra A vetőkkel felépített 3D geometria hálója.....	721
432. ábra A horizontális főfeszültségek eloszlása a PAET-26,-27,-29,-34 fúrásokban.....	722

433. ábra A kompressziós tartományban a Mohr-Coulomb, míg a tenziós tartományban a Griffith elméletnek megfelelő tönkremeneteli határgörbe, a törések reaktivációjának értelmezésével	723
434. ábra Számított csúszási tendencia értékek a recens feszültségtérben ($\mu=0,6$) (perspektivikus nézet) [192].....	728
435. ábra Számított csúszási tendencia értékek a recens feszültségtérben ($\mu=0,3$) (perspektivikus nézet) [192].....	728
436. ábra Csúszási tendencia értékek alakulása a mélység függvényében	729
437. ábra A megcsúszás ($ST=1$) eléréséhez szükséges tartalék-pórusnyomás a mélység függvényében	731
438. ábra A megcsúszás ($ST=1$) eléréséhez szükséges tartalék-pórusnyomás a mélység függvényében	732
439. ábra A csúszási tendencia értékek időbeli változása 100 .000 év alatt a feszültségtér módosításának hatására	733
440. ábra A csúszási tendencia értékek időbeli változása 100 000 év alatt a feszültségtér módosításának hatására	733
441. ábra A tektonikai stílusra jellemző α szögértékek alakulása a vetők mentén, perspektivikus nézetben	734
442. ábra Az eltolódás jellegére utaló β szögértékek alakulása a vetők mentén, perspektivikus nézetben.....	735
443. ábra A vetőfelületek feszültségtorzító hatásának kvalitatív ellenőrzése	736
444. ábra Az M1 forrásmodell 20 forrászónája és a Pannon-medence földrengései	739
445. ábra Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség az M1 modell forrászónáiban.....	740
446. ábra A SHARE forrásmodell forrászónái és a Pannon-medence földrengései	741
447. ábra Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség a SHARE modell forrászónáiban..	741
A vastag fekete vonal a teljes régió földrengés gyakoriságát és gyakoriság sűrűségét mutatja.	741
448. ábra A módosított SHARE forrásmodell forrászónái	742
449. ábra Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség a módosított SHARE modell forrászónáiban	743
A vastag fekete vonal a teljes régió földrengés gyakoriságát és gyakoriság sűrűségét mutatja	743
450. ábra A földrengésveszély számításához kiválasztott négy csillapodási egyenlet által prognosztizált PGA gyorsulások	745
451. ábra Logikai fa az episztemikus bizonytalanságok kezelésére	746
452. ábra A földrengésveszély meghatározásának szakaszai atomerőmű telephely esetében	747
453. ábra A PGA és különböző periódusra vonatkozó veszélyeztetettségi görbék várható értéke (MHC) az MVM_Paks2 területen	748
454. ábra A $10^{-6}/\text{év}$, $10^{-5}/\text{év}$, $10^{-4}/\text{év}$, $1/4980/\text{év}$ és $1/475/\text{év}$ gyakoriságú spektrális gyorsulások várható értéke (UHRS mean) az MVM_Paks2 területen.....	749
455. ábra Az MVM_Paks2 telephelyen $10^{-5}/\text{év}$ gyakoriságú veszélyeztetettség távolság és magnitúdó szerinti deaggregációja.....	750
456. ábra A felszíni PGA-ra számított veszélyeztetettségi görbe	751
457. ábra $10^{-5}/\text{év}$ meghaladási valószínűsége számított felszíni UHRS	752
458. ábra A $10^{-5}/\text{év}$ meghaladási valószínűsége számított alapközei és felszíni UHRS átlag görbéi.....	753
459. ábra A $10^{-5}/\text{év}$ meghaladási valószínűsége számított felszíni vertikális UHRS	754
460. ábra A $10^{-5}/\text{év}$ meghaladási valószínűsége számított felszíni horizontális és vertikális UHRS (mean).....	755

461. ábra A nyírási deformáció (a) és a pórusvíz túlnyomás (b) realizációi a mélység függvényében 757

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat A szűkebb terület sarokpontjai	10
2. táblázat A tágabb terület sarokpontjai	10
3. táblázat A Duna folyam mentén kialakított öt szakasz határai	34
4. táblázat Fúrások alapadatai	42
6. táblázat: A földtani fúrások mintában elvégzett vizsgálatok darabszámai	49
7. táblázat. A PAET jelű sekélyfúrások rövid rétegsora	59
8. táblázat A nagymélységű fúrások főbb adatai.....	66
9. táblázat A telephely tágabb körzetében mélyült sekély mélységű (100-150 m mély) fúrások főbb adatai	66
10. táblázat A sekélyföldtani vizsgálatokhoz kapcsolódó fúrások főbb adatai.....	67
12. táblázat A hidraulikai tesztek helye és ideje	77
13. táblázat Telephelyen kívüli PAET fúrásokból történt mintavételek	78
14. táblázat A kőzetmechanikai dokumentálás és mintázás mennyisége fúrásonként.....	81
15. táblázat A kőzetmechanikai dokumentálás és mintázás mennyisége fúrásonként.....	83
16. táblázat A Pa-21 szelvény mentén lemélyült 7 db kutatófúrás műszaki adatai	86
18. táblázat A Pa-21 és Pa-22 jelű „vetőkutató” fúrások koordinátái és vázlatos rétegsoruk..	89
19. táblázat A mérések technikai paraméterei.....	97
20. táblázat A Pa-21-S-Geomega szelvény főbb mérési paraméterei	98
21. táblázat A mérések technikai paraméterei.....	104
22. táblázat A CH jelű és az MS-2-35-ös fúrások koordinátái.....	115
23. táblázat A 2D nagyfelbontású geoelektromos felmérés (1. fázis) szelvényeinek neve és hossza	120
24. táblázat A kiegészítő 2D nagyfelbontású geoelektromos felmérés (2. fázis) szelvényeinek neve és hossza	121
25. táblázat A Pszeudo-3D vízi mérések jellemzői.....	123
26. táblázat A kutatási terület öt mérési blokkja és az egyes blokkok területe	124
27. táblázat A Duna medermonitorozás mérési jellemzői.....	126
28. táblázat A terepi felvételezés főbb paraméterei	137
29. táblázat A telephelyen mélyült 130-150 m mély fúrások főbb adatai.....	141
30. táblázat Az I. szelvény menti kutak főbb adatai.....	141
31. táblázat A II. szelvény menti kutak főbb adatai	142
32. táblázat A III. szelvény menti kutak főbb adatai.....	142
33. táblázat A IV. szelvény menti kutak főbb adatai	143
34. táblázat Az V. szelvény menti kutak főbb adatai	144
35. táblázat: Magfúrások legfontosabb adatai.....	152
36. táblázat: CPTu szondázások legfontosabb adatai.....	154
37. táblázat: Disszipációs mérések legfontosabb adatai.....	156
38. táblázat: Szeizmikus CPT (SCPT) vizsgálatok legfontosabb adatai.....	159
39. táblázat: SPT(C) vizsgálatok legfontosabb adatai.....	161
40. táblázat: Menard pressziométer mérések legfontosabb adatai	162
41. táblázat: Önbefúró pressziométer (SBP) mérések legfontosabb adatai	165
42. táblázat: Geofizikai CPT (GCPT) szondázások legfontosabb adatai.....	166
43. táblázat: Helyszíni mérések mennyiségi összefoglalása	167
44. táblázat: Azonosító vizsgálatokra vonatkozó vizsgálati szabványok.....	170
45. táblázat: A talaj mérnöki jellemzőinek meghatározására irányuló vizsgálatokra vonatkozó szabványok	171

46. táblázat A Pannon-medencére számított intenzitás-csillapodási egyenlet regressziós paraméterei és azok szórásai ($M_L \geq 4$).....	181
47. táblázat A földrengés katalógus teljessége.....	191
48. táblázat Az M1 modell zónáiban a zónákra meghatározott paraméterek a szeizmicitás G-R modellel történő leírásához (Least square).....	204
49. táblázat Az M1 modell zónáiban a zónákra meghatározott paraméterek a szeizmicitás G-R modellel történő leírásához (Maximum likelihood).....	204
50. táblázat A SHARE modell zónáiban a zónákra meghatározott paraméterek a szeizmicitás G-R modellel történő leírásához (Least square).....	209
51. táblázat A SHARE modell zónáiban a zónákra meghatározott paraméterek a szeizmicitás G-R modellel történő leírásához (Maximum likelihood).....	210
52. táblázat A SHARE-mod modell zónáiban a zónákra meghatározott paraméterek a szeizmicitás G-R modellel történő leírásához (Least square).....	212
53. táblázat A SHARE-mod modell zónáiban a zónákra meghatározott paraméterek a szeizmicitás G-R modellel történő leírásához (Maximum likelihood).....	213
54. táblázat Mérési pontok és koordinátáik.....	215
55. táblázat Az MVM Paks II mikroszeizmikus mérőállomásai.....	221
56. táblázat A mikroszeizmikus hálózat üzembe helyezése (2016.03.01.) óta Magyarországon és közvetlen környezetében regisztrált szeizmikus események (földrengés és robbantás)....	226
57. táblázat A hidrológiai adatbázis tartalma.....	233
58. táblázat Kúthidraulikai tesztekre kijelölt régi monitoring kutak fontosabb paraméterei .	244
59. táblázat A nyomjelzéses vizsgálatok helye és ideje.....	251
60. táblázat A PMK1 kútcsoport objektumainak geodéziai és műszaki adatai.....	254
61. táblázat A PMK2 kútcsoport objektumainak geodéziai és műszaki adatai.....	254
62. táblázat Ismételt laborvizsgálatokra történt mintavételek.....	258
63. táblázat Telephelyen kívüli PAET fúrásokból történt mintavételek.....	259
64. táblázat Nemesgáz vizsgálatokra történt mintavételek helye.....	259
65. táblázat A kutatási program során elvégzett mintavételek, vízkémiai vizsgálatok.....	261
66. táblázat Újonnan létesített monitoring kutak fontosabb adatai.....	263
67. táblázat A hidrogeológiai monitoringba bevont kutak megoszlása mélység szerint.....	265
68. táblázat A regionális vízföldtani monitoring vizsgálat helyszínei.....	266
69. táblázat A monitoring vizsgálat során alkalmazott eszközök.....	267
70. táblázat Minták kezelési utasítása.....	269
71. táblázat Vízháztartási vizsgálatokhoz mért paraméterek.....	272
72. táblázat A metamorf aljzatot ért fúrások jele, EOv koordinátái és a metamorf kőzetet harántolt mélységköz.....	274
73. táblázat Ásványseparátumokon mért korok a metamorf aljzataból.....	285
74. táblázat K/Ar-korok és illit muszkovit mennyiségek a korolásra leválasztott mintákban	286
75. táblázat A Duna üledékek jellemző fekvő mélysége a terület néhány fúrásában.....	326
76. táblázat A Tengelici Vörösagyag Formáció 40 m-nél vastagabb kifejlődései a tágabb térképezési területen.....	343
77. táblázat A szűkebb terület sarokpontjai.....	353
78. táblázat A tágabb terület sarokpontjai.....	353
79. táblázat A részletes és a reambulált földtani térkép képződményei.....	354
80. táblázat A térkép adatainak áttekintése.....	362
81. táblázat Becsült dóziszráták, Post-IR IRSL-290 ekvivalens dóziszok és a becsült korok. .	386
82. táblázat Paleotalaj-vékonycsiszolatok összehasonlítása a paksi és mendei téglagyári minták, valamint a PAET-09 és PAET-12 fúrómagok között.....	386
83. táblázat A Paksi Löss Formáció térségi kifejlődéseinek korrelációja a tengeri oxigénizotóp skálával [164].....	450

84. táblázat Feltárt talajrétegek tényleges és átlagos vastagsága	522
85. táblázat Pannon összletben elkülöníthető alrétegek	533
86. táblázat Szerves, humuszos rétegek a vizsgált területen	538
87. táblázat Homokkő megjelenési helyei a vizsgált területen	539
88. táblázat Fekete lignites markerréteg megjelenése a feltárásokban.....	540
89. táblázat „A” réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői.....	541
90. táblázat „A” jelű rétegek CPTu szondázási eredményeinek feldolgozása	541
91. táblázat „A” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredmények feldolgozása	542
92. táblázat „A” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása GCPT eredmények alapján	542
93. táblázat A humuszos „fedőréteg” Atterberg-határok vizsgálati eredményei	543
94. táblázat „B” jelű réteg CPTu szondázási eredmények feldolgozása	543
95. táblázat „B” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredmények feldolgozása.....	543
96. táblázat A holocén szürke agyag Atterberg-határok vizsgálati eredményeinek statisztikai jellemzői.....	543
97. táblázat „C” jelű réteg CPTu szondázási eredmények feldolgozása.....	544
98. táblázat „C” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredmények feldolgozása.....	544
99. táblázat „C” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása GCPT eredmények alapján	545
100. táblázat „D” réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői.....	546
101. táblázat „D” jelű réteg CPTu szondázási eredmények feldolgozása.....	546
102. táblázat „D” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredmények feldolgozása	546
103. táblázat „D” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása GCPT eredmények alapján ..	547
104. táblázat „D” jelű réteg közvetlen nyíróvizsgálatok eredmények feldolgozása	547
105. táblázat „D” jelű réteg triaxiális vizsgálatok eredményeinek feldolgozása	548
106. táblázat „D” jelű réteg kompressziós vizsgálatok eredményeinek feldolgozása	548
107. táblázat „D” jelű réteg vízáteresztő-képességi vizsgálatok eredményeinek feldolgozása	548
108. táblázat „E” réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői	549
109. táblázat „E” jelű réteg CPTu szondázási eredmények feldolgozása	549
110. táblázat „E” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredmények feldolgozása	550
111. táblázat „E” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása GCPT eredmények alapján ..	550
112. táblázat „E” jelű réteg közvetlen nyíróvizsgálatok eredmények feldolgozása	551
113. táblázat „E” jelű réteg kompressziós vizsgálatok eredményeinek feldolgozása.....	551
114. táblázat „E” jelű réteg vízáteresztő-képességi vizsgálatok eredményeinek feldolgozása	551
115. táblázat „F” réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői	552
116. táblázat „F” jelű réteg CPTu szondázási eredmények feldolgozása	552
117. táblázat „F” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredmények feldolgozása	553
118. táblázat „F” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása GCPT eredmények alapján...	553
119. táblázat „F” jelű réteg kompressziós vizsgálatok eredményeinek feldolgozása	554
120. táblázat „F” jelű réteg vízáteresztő-képességi vizsgálatok eredményeinek feldolgozása	554
121. táblázat „G” jelű réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői.....	555
122. táblázat „G” jelű réteg Atterberg-határok vizsgálati eredményeinek statisztikai jellemzői	555
123. táblázat „G” jelű réteg CPTu szondázási eredmények feldolgozása.....	555
124. táblázat „G” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredmények feldolgozása	556
125. táblázat „G” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása magminták alapján.....	556
126. táblázat „G” jelű réteg triaxiális vizsgálatok eredményeinek feldolgozása	556
127. táblázat „G” jelű réteg vízáteresztő-képességi vizsgálatok eredményeinek feldolgozása	557

128. táblázat „H” jelű réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői.....	557
129. táblázat „H” jelű réteg Atterberg-határok vizsgálati eredményeinek statisztikai jellemzői	558
130. táblázat „H” jelű réteg CPTu szondázási eredmények feldolgozása.....	558
131. táblázat „H” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása magminták alapján.....	558
132. táblázat „H” jelű réteg triaxiális vizsgálatok eredményeinek feldolgozása	559
133. táblázat „H” jelű réteg kompressziós vizsgálatok eredményeinek feldolgozása	559
134. táblázat „H” jelű réteg vízáteresztő-képességi vizsgálatok eredményeinek feldolgozása	559
135. táblázat „I” jelű réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői	560
136. táblázat „I” jelű réteg Atterberg-határok vizsgálati eredményeinek statisztikai jellemzői	560
137. táblázat „I” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása magminták alapján	561
138. táblázat „I” jelű réteg triaxiális vizsgálatok eredményeinek feldolgozása.....	561
139. táblázat „I” jelű réteg kompressziós vizsgálatok eredményeinek feldolgozása.....	561
140. táblázat „J” jelű réteg Atterberg-határok vizsgálati eredményeinek statisztikai jellemzői	562
141. táblázat „J” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása magminták alapján	562
142. táblázat „K” jelű réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői.....	563
143. táblázat „K” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása magminták alapján.....	563
144. táblázat „L” jelű réteg Atterberg-határ vizsgálati eredményeinek statisztikai jellemzői	564
145. táblázat „L” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása magminták alapján	564
146. táblázat „M” jelű réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői.....	565
147. táblázat „M” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása magminták alapján	566
148. táblázat „M” jelű réteg triaxiális vizsgálatok eredményeinek feldolgozása	566
149. táblázat „M” jelű réteg vízáteresztő-képességi vizsgálatok eredményeinek feldolgozása	566
150. táblázat „N” jelű réteg Atterberg-határ vizsgálati eredményeinek statisztikai jellemzői	567
151. táblázat „N” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása magminták alapján.....	567
152. táblázat „O” jelű réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői.....	568
153. táblázat „O” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása magminták alapján.....	568
154. táblázat Dinamikus mérések során vizsgált minták összesítése.....	569
155. táblázat Rezonancia oszloppal mért és nyíróhullám sebességéből visszszámolt G_{max} -ok összehasonlítása	574
156. táblázat Feltárt talajrétegek főbb geotechnikai paramétereinek jellemző értéktartománya	576
157. táblázat Az újonnan létesített monitoring kutak vízkémiai vizsgálatának főbb eredményei	583
158. táblázat A komplex szűrővizsgálat eredményei	584
159. táblázat A vízhasználatok a regionális vizsgálati területen	595
160. táblázat Az éves és évszakos csapadék 1961–1990 megfigyelt értékei (mm/hónap), illetve a két éghajlati modell szerint várható változás (%) Paks térségében 2011–2040-ben, 2041–2070-ben és 2071–2100-ban az 1961–1990 referencia időszakhoz képest [244].....	624
161. táblázat A társadalmi és környezeti tényezők hatása a gravitációs áramlási rendszerre	625
162. táblázat: A pakkeres hidrodinamikai vizsgálatok eredményei	632
163. táblázat PAET fúrásokból vett vízminták víztípusa, főkomponensek mennyisége	633
164. táblázat PAET fúrások vízmintáiban mért nyomelem koncentrációk.....	634
165. táblázat A Duna-Tisza közti homokhátság pleisztocén rétegösszetételére számolt paraméterek	640

166. táblázat A felső- pannóniai rétegek laboratóriumi mérésekből meghatározott értékei ..	642
167. táblázat Egymásra-hatás vizsgálatba bevont kutak listája.....	647
168. táblázat Az egymásrahatás-vizsgálatok kiértékelése.....	648
169. táblázat A nyomjelzéses vizsgálatokból meghatározott longitudinális diszperzitás abszolút és relatív értékeinek statisztikai jellemzői	654
170. táblázat Az effektív porozitás terepi nyomjelzéses vizsgálatok eredményeként.	655
171. táblázat „B” és „A” jelű talajvízkutak vízszintkülönbségének statisztikai jellemzői	661
172. táblázat Paks II beruházás várható megnövekedett vízigénye	687
173. táblázat Modellszámításnál alkalmazott effektív beszivárgási intenzitás értékek mérsékelt és intenzív beszivárgás esetén	692
174. táblázat A modellrétegek bemenő kőzetmechanikai paraméterei	718
175. táblázat A vetőreaktiváció elvi valószínűségének kvalitatív értékelése az egyes vetőknél az elvégzett elemzési eredmények alapján	737
176. táblázat A 10^{-6} /év, 10^{-5} /év, 10^{-4} /év, 1/4980/év és 1/475/év gyakoriságú spektrális gyorsulások várható értéke (UHRS mean) az MVM_Paks2 területen.....	748
177. táblázat Az MVM Paks2 kutatási területen különböző éves meghaladási gyakoriságra számított PGA átlagos (mean) értéke a felszínen.....	750
178. táblázat A 10^{-5} /év meghaladási valószínűségi szintre számított felszíni UHRS (mean, 16%, 50%, 84% percentilisek)	751
179. táblázat A 10^{-5} /év meghaladási valószínűségi szintre számított felszíni vertikális UHRS	753

Függelékek

- | | |
|-------------|--|
| 1. függelék | Földtani kutatási program megvalósításához szükséges engedélyek listája |
| 2. függelék | Kutatási program főbb engedélyei |
| 3. függelék | Vonatkozó jogszabályok listája |
| 4. függelék | Földtani kutatási program megvalósításában résztvevő kivitelezők listája |
| 5. függelék | A kutatás során elvégzett feladatok összesítője |
| 6. függelék | Kvarter szinttérképek adatbázis táblája |

Mellékletek jegyzéke

1. melléklet A földtani kutatás során létesített kutató objektumok, mérési pontok és szelvények
2. melléklet Tervezett telephelyen kívüli 2D S-hullám reflexiós szeizmikus időszelvények
3. melléklet Tervezett telephelyen kívüli 2D S-hullám reflexiós szeizmikus mélységszelvények
4. melléklet Tervezett telephelyen belüli 2D S-hullám reflexiós migrált időszelvények I. (Ref-1 – Ref-9)
5. melléklet Tervezett telephelyen belüli 2D S-hullám reflexiós migrált mélységszelvények I. (Ref-1 – Ref-9)
6. melléklet Tervezett telephelyen belüli 2D S-hullám reflexiós migrált időszelvények II. (Ref-10 – Ref-16)
7. melléklet Tervezett telephelyen belüli 2D S-hullám reflexiós migrált mélységszelvények II. (Ref-10 – Ref-16)
8. melléklet Paks környéki 2D nagyfelbontású P-hullám reflexiós szelvények, migrált szelvények
9. melléklet Nagyfelbontású 2D szárazföldi geoelektromos szelvények
10. melléklet Elektromágneses térképezés a létesítendő új atomerőművi blokkok tervezett telephelyén
11. melléklet GPR georadar szelvények a létesítendő új atomerőművi blokkok tervezett telephelyén
12. melléklet Geoelektromos multielektrodás szelvények a létesítendő új atomerőművi blokkok tervezett telephelyén
13. melléklet Geotechnikai feltárások helyszínrajza
14. melléklet A negyedidőszaki képződmények talpának tengerszinthez viszonyított helyzete (m Bf.)
15. melléklet Az Algyői Formáció tetejének tengerszint alatti mélysége (m)
16. melléklet Az Endrődi Formáció tetejének tengerszint alatti mélysége (m)
17. melléklet A Keceli Bazalt Formáció tetejének tengerszint alatti mélysége (m)
18. melléklet A pannon képződményekfeküjének tengerszint alatti mélysége (m)
19. melléklet A középső-miocén összlet tetejének tengerszint alatti mélysége (m)
20. melléklet Az „alsó-miocén” összlet tetejének tengerszint alatti mélysége (m)
21. melléklet A pre-kainozoos aljzat tengerszint alatti mélysége (m)
22. melléklet A negyedidőszaki képződmények vastagságtérképe (m)
23. melléklet Az Újfalui és Zagyva Formációk („felső-pannon”) vastagságtérképe (m)
24. melléklet Az Algyői Formáció vastagságtérképe (m)
25. melléklet Az Endrődi Formáció vastagságtérképe (m)
26. melléklet A Keceli Bazalt Formáció vastagságtérképe (m)
27. melléklet A pannon képződmények vastagságtérképe (m)
28. melléklet A középső-miocén összlet vastagságtérképe (m)
29. melléklet Az „alsó-miocén” összlet vastagságtérképe (m)
30. melléklet A miocén összlet vastagságtérképe (m)
31. melléklet I. sz. földtani szelvény
32. melléklet II. sz. földtani szelvény
33. melléklet III. sz. földtani szelvény
34. melléklet IV. sz. földtani szelvény
35. melléklet V. sz. földtani szelvény

- 36. melléklet Részletes földtani térképezés észlelési térképe a telephely 20x20 km-es környezetében
- 37. melléklet A telephely szűkebb (20x20 km) környezetének fedett földtani térképe
- 38. melléklet A telephely tágabb – 60x60 km – környezetének földtani reambuláció térképe
- 39. melléklet A telephely tágabb – 60x60 km – környezetének Geomorfológiai reambulációs térképe
- 40. melléklet Felszínborítás térkép (CLC) a telephely 20x20 km-es környezetében
- 41. melléklet Földtani veszélyforrások térképe a telephely 20x20 km-es környezetében
- 42. melléklet A Pannon medence és környezetének tektonikai térképe
- 43. melléklet Rétegszelvények (I)
- 44. melléklet Rétegszelvények (II)
- 45. melléklet Rétegszelvények (III)
- 46. melléklet Rétegszelvények (IV)
- 47. melléklet Rétegszelvények (V)
- 48. melléklet Rétegszelvények (A)
- 49. melléklet Rétegszelvények (B)
- 50. melléklet Rétegszelvények (C)
- 51. melléklet Rétegszelvények (D)
- 52. melléklet Rétegszelvények (E)
- 53. melléklet Rétegszelvények (F)
- 54. melléklet Rétegszelvények (G)
- 55. melléklet Rétegszelvények (H)
- 56. melléklet Vízföldtani monitoring objektumok és a vízföldtani reambuláció helyszínei a regionális vizsgálati területen
- 57. melléklet Vízhasználatok a regionális vizsgálati területen

Rövidítések jegyzéke

1. 1D egy dimenziós, pontonkénti
2. 2D két dimenziós, síkbeli
3. 3D három dimenziós, térbeli
4. A/D analóg-digitális
5. AB gerjesztő elektródák geoelektromos mérésnél
6. ABI akusztikus lyukfaltelevíziós mérés
7. ADWA AD11 pH mérő
8. ADWA AD11-AD31 EC, pH mérő
9. ADWA AD31 EC mérő
10. AGC automatikus erősítés szabályozás
11. ÁKMI Kft. Általános Kultúrmérnöki Iroda Szolgáltató Korlátolt Felelősségű Társaság
12. aL relatív diszperzitásérték
13. ALT Advanced Logic Technology
14. AMS 14C tömegspektrometria (Accelerator Mass Spectrometry)
15. ANDO-EV 5900 m/s robbanási sebességű emulziós robbanóanyag
16. ArcGIS térinformatikai program
17. ArcMap térinformatikai program
18. ARES-G vezérlő rendszer
19. ASTM Amerikai Anyagvizsgáló Társaság (American Society for Testing and Materials)
20. ÁVK általános vízkémiai vizsgálat
21. BA Basaharc Alsó
22. BASKI MD pakker típusa
23. BD Basaharc Dupla talajkomplexum
24. BGK-5 és -7 érzékelő szondák
25. BHC4 24 csatornás hidrofon-sor
26. BHTV akusztikus lyukfal televízió
27. BI bimodal
28. BIS-SH S-hullámforrás
29. BME Budapesti Műszaki Egyetem
30. BMGE Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
31. BO lyukfal kipergés (Borehole Breakout)
32. Bt. Bányatörvény
33. c' hatékony kohézió
34. CBL cementpalást mérés
35. CD triaxiális vizsgálat konszolidált, drénezett pórusvíznyomású peremfeltételek mellett
36. CDP azonos mélységhez tartozó szeizmikus összegzési pont
37. CEGRN Közép-európai Regionális Geodinamikai Hálózat (Central European Geodynamic Reference Network)
38. CH crosshole fúrások jele
39. CIR színes infra felvételek
40. CLC CORINE Land Cover fedettségi térkép
41. COM a pakkeres mérések hőmérséklet-kiegyenlítődési fázisa
42. CORINE nemzetközi módszer fedettségi térképszerkesztéshez (Coordination of Information on the Environment)
43. CPTu pórusvíz nyomását is mérő statikus nyomószonda

44.	CRR	ciklikus ellenállás arány
45.	CT	computer tomográfias vizsgálat
46.	C _u	egyenlőtlenségi mutató
47.	CU	triaxiális vizsgálat konszolidált, drénezetlen pórusvíznyomási peremfeltételek mellett
48.	C _v	variációs tényező
49.	CsFK	Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont
50.	CSR	ciklikus feszültség arány
51.	d ₁₀ , D ₁₀	10 súlyszázalékhoz tartozó szemcseátmérő
52.	d ₆₀ , D ₆₀	10 súlyszázalékhoz tartozó szemcseátmérő
53.	DAQLink III	24 csatornás szeizmikus adatgyűjtő
54.	DATAQUA	automata vízszintregisztráló típusa
55.	DDM	digitális domborzat modell
56.	DDM10	1:10000-es léptékű digitális domborzat modell
57.	DEN	sűrűség, halmazsűrűség
58.	dh	potenciálkülönbség
59.	DIF	fúrás által indukált repedés (Drilling Induced Fracture)
60.	DIN	Német Szabványügyi Intézet
61.	DIP	rétegdőlésmérés
62.	DIR	azimut mérés
63.	dm	mértékadó szemcseátmérő
64.	DMT Summit II compact unit	szeizmikus mérés adatrögzítő típusa
65.	$\Delta\pi$	nyomáseltérés
66.	DTM	digitális terepmodell
67.	dZ	vertikális mágneses anomália változás
68.	e	hézagtényező
69.	EC	elektromos vezetőképesség
70.	E-G2	1995 számú „Mintavétel környezetvédelmi talaj-, geológiai (geokémiai, ásvány-kőzettani, őslénytani) vizsgálatokhoz”
71.	ELTE	Eötvös Loránd Tudományegyetem
72.	ELVIS III S8	S hullám jelgerjesztő eszköz típusa
73.	EM	elektromágneses
74.	EM38B	elektromágneses mérőműszer típusa
75.	EMS	Európai Makroszeizmikus Skála
76.	E _{oed}	összenyomódási modulus
77.	EOTR	Egységes Országos Térképezési Rendszer
78.	EOV	Egységes Országos Vetület
79.	ERMMapper	mágneses méréseket feldolgozó szoftver
80.	EU	Európai Unió
81.	EUREF	European Reference Frame: Európai térbeli GPS-hálózat
82.	EÜM	Egészségügyi Minisztérium
83.	f'	hatékony belső súrlódási szög
84.	FD	véges differenciál
85.	FDU	408-as típusú terepi digitalizáló doboz
86.	FK	szeizmikus feldolgozásnál alkalmazott frekvencia elemzés alapján történő szűrés
87.	fkm	folyam kilométer
88.	FKP	Földtani Kutatási Program
89.	FKTR	Földtani Kutatást Támogató Rendszer (szoftver)

90.	FÖMI	Földmérési és Távérzékelési Intézet
91.	FTV	Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat
92.	FVM	Földművelésügyi Minisztérium
93.	G	nyírás modul
94.	GAM	természetes gamma aktivitás
95.	GBr	Nagy-Britannia
96.	GCPT	Geofizikai CPT mérés
97.	GEMLink	mágneses méréseket feldolgozó szoftver
98.	GGI	Geodéziai és Geofizikai Intézet
99.	GIS	földrajzi információs rendszer (Geographical Information System)
100.	Global Mapper	térképező szoftver
101.	G_{max}	maximális nyírás modul
102.	GPa	GigaPascal
103.	GPR	georadar mérés (Ground Penetrating Radar)
104.	GPS	globális helymeghatározó rendszer (Global Positioning System)
105.	GRUNDFOS SQ 2-55	búvárszivattyú típusa
106.	GS20DM	geofon típus
107.	GS-20DX	geofonbetét típusa
108.	GS-3C Land Case	geofon típus
109.	GSI	közettest osztályozási módszer törési index alapján
110.	GSM-19	Overhauser magnetométer típus
111.	H	ariditási index
112.	HDPE	új szcintillációs palack
113.	HI	nyeletés állandó nyomáson
114.	HM	Honvédelmi Minisztérium
115.	HQ	Boart-Longyear folyamatos megvevő fúrószer szám ($\varnothing 96$ mm)
116.	HSA	belső üreges spirálfúrás
117.	HUN-Reng	virtuális szeizmológiai hálózat
118.	HW	termeltetés állandó nyomáson
119.	HydroSOLVE Inc. AQTESOLV Pro 4.5	hidrodinamikai vizsgálatok eredményeit kiértékelő szoftver
120.	HYDRUS-1D	szivárgáshidraulikai szoftver
121.	I_c	konzisztencia index
122.	ICP-AES	induktív csatolású plazma atomemissziós spektrometria
123.	ICP-MS	Induktív csatolású plazma-tömegspektrometria
124.	ICP-OES	induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometria
125.	IDW	súlyozási módszer (Inverse Distance Weighting)
126.	IHS Kingdom Suite	szeizmikus értelmező szoftver
127.	ImaGeo rendszer	egy fúrómag szkennerből (ImaGeo–Magszkenner) és a vele egybeépített lézer indukciós plazma spektrométerből (ImaGeo–LIPS) valamint az ImaGeo–Fotórobot műszerből álló készülék-együttes
128.	INC	inklináció, dőlés mérés
129.	IND	indukciós mérés
130.	INV	invariáns
131.	I_p	plaszticitási index

132. IQR	=Q3-Q1 (statisztika)
133. ISC	Nemzetközi Szeizmológiai Központ (International Seismological Centre)
134. ISC GEM	Nemzetközi Szeizmológiai Központ Globális Földrengés Katalógusa (Global Instrumental Earthquake Catalogue)
135. ISO	Nemzetközi Szabványügyi Szervezet
136. ISRM	Nemzetközi Kőzetmechanikai Társaság (International Society for Rock Mechanic)
137. IVI Mark 4	Failing Y2400 típusú vibrátor
138. k	áteresztőképességi együttható
139. ka	1000 (ezer) év
140. Kbt.	a közbeszerzésekről szóló 2011. évi CVIII. törvény
141. KED	External Drift Kriging
142. KILL, MUTE	szeizmikus mérések feldolgozása során alkalmazott csatorna szerkesztések
143. KLL	kalibrált vízszintmérő típus
144. KOIps	kémiai oxigénigény (vízelemzési paraméter)
145. Korm. rendelet	Kormányrendelet
146. KS	vízvezető képesség víztelített állapotban
147. KvVM	Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium
148. Kz/Kr	szivárgási tényező anizotrópiája
149. l	légnemű fázis
150. L	áramlási úthossz
151. LA-ICP-MS	lézerablációs induktív csatolású tömegspektrométer
152. LEMI-417	magnetellurikus mérés vezérlő mérőállomás
153. LMWL	Local Meteoric Water Line
154. LRB	DATAQUA műszertípus
155. LSC	víz-kémiai vizsgálat
156. M	magnitúdó
157. m t.a.	méter a tengerszint alatt
158. M1	alsó miocén
159. Ma	millió év
160. MB	Mende Bázis talajkomplexum
161. MBAS	7 elemű digitális, elemenként 3 komponenses szonda
162. mBf	Balti tengerszint feletti magasság
163. MBFH	Magyar Bányászati és Földtani Hivatal
164. MF1	Mende Felső1
165. MFGI	Magyar Földtani és Geofizikai Intézet
166. MFS	többszörös tönkremeneteli állapot (Multiple Failure State)
167. MGA	Magyar Geotermikus Adatbázis
168. MGGA	Magyar GPS Geodinamikai Alaphálózat
169. MIS	Marine Isotope Stage (kor)
170. ML	lokális magnitúdó
171. MN	mérőelektródák geoelektromos mérésnél
172. MPM	Ménard pressziométer
173. MS	mágneses szuszceptibilitás
174. MS-2-35	a crosshole mérések során felhasznált fúróluk jele
175. MSZ	Magyar Szabvány
176. MSZ EN ISO	EU konform magyar szabvány
177. MSZE CEN ISO/TS	geotechnikai vizsgálatok szabványa

17892	
178. MTA	Magyar Tudományos Akadémia
179. MTA CsFK	MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont
180. Mtp	hidromorf hatású, erősen agyagos, feltételezhetően alluviális eredetű talaj
181. MUEL	multielektródás mérés
182. MVM Zrt.	Magyar Villamos Művek Zártkörűen Működő Részvénytársaság
183. NASA SRTM	digitális domborzati térképezés (National Aeronautics and Space Administration Shuttle Radar Topography Mission)
184. NAT	Nemzeti Akkreditáló Testület
185. NAÜ	Nemzetközi Atomenergiái Ügynökség
186. NAÜ SSG-9	Nemzetközi Atomenergiái Ügynökség Különleges Biztonsági Útmutató (Specific Safety Guide)
187. NBSZ	Nukleáris Biztonsági Szabályzat (118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet melléklete)
188. NEW MOLE	mélyfúrás geofizikai mérő gyűjtő típusa
189. NMO	normal-moveout szeizmikus korrekció
190. NPHI	neutron-neutron víztartalom
191. NQ	Boart-Longyear folyamatos megvevő fúrószerszám ($\varnothing 76$ mm)
192. OAH	Országos Atomenergia Hivatal
193. OBI	optikai lyukfaltelevíziós mérés
194. OGIMET	Időjárási Információs Szolgálat (Weather Information Service)
195. OGPSH	Országos GPS Hálózat
196. OMSZ	Országos Meteorológiai Szolgálat
197. OSAP	Országos Statisztikai Adatgyűjtési Program
198. OSL	optikai lumineszcens kormeghatározás (Optically Stimulated Luminescence)
199. OVF	Országos Vízügyi Főigazgatóság
200. P	csapadék
201. p(z)	mélység szerinti nyomás
202. Pa-21	mérési szelvény jele
203. PAE	Paksi Atomerőmű
204. PAV 97.15	Helyi (atomerőművi) koordináta rendszer
205. PBK	Pécsi Bányakapitányság
206. PD	Paks Dupla paleotalaj komplexum
207. PDK	Paks-dunakömlődi talaj komplexum
208. Pelton Advance II (ver6)	vibrátorvezérlő elektronika
209. PET	potenciális evapotranszspiráció
210. Pf	pórusnyomás
211. pF	talajvíztartó képesség
212. PGA	alapközetten várható gyorsulás (Peak Ground Acceleration)
213. Phe	paleotalaj, barna erdőtalaj jellegű
214. P _{hs}	hidrosztatikus nyomás
215. PI	nyeletéses impulzusteszt
216. PMK	Paks mederkapcsolati vizsgálati kút jele
217. ProMAX 3D	szeizmikus feldolgozó rendszer

5000.0.2.3	
218. PSHA	valószínűségi földrengésveszély-elemzési módszer (Probabilistic Seismic Hazard Assessment)
219. PSI/ASMI	állandó szórópontú műholdradar-Interferometriás stabilitás-és mozgásvizsgálat
220. PSR	a pakkeres vizsgálatok kezdeti nyomáskiegyenlítődési szakasza (Pressure Static Recovery)
221. PSTM	összegzés előtti (pre-stack) idő migráció
222. P_t	többlet-pórusnyomás
223. PTDK	Pécsi Tudományegyetem Diagnosztikai Központja
224. PVC	polivinil-klorid műanyag
225. PW	termeléses impulzusteszt
226. Q_1	alsó kvartilis (statisztika)
227. Q_2	medián (statisztika)
228. Q_3	felső kvartilis (statisztika)
229. q_c	CPTu szondázással meghatározott csúcseellenállás
230. QC	minőség ellenőrzés
231. QGIS	térinformatikai program
232. R	ellenállás (karotázs)
233. $r(c)$	csövezés sugara
234. $r(w)$	fúrás sugara
235. R'	antitetikus Riedel-törések
236. R_c	törőszilárdság
237. Ref-9	refrakciós és S hullám mérési szelvények jele
238. RES2DINV	geoelektromos mérések kiértékeléséhez használt programcsomag
239. Rho	fajlagos ellenállás jele
240. RI	nyeletés állandó hozammal
241. RIS	injektálást követő nyomáscsökkenési fázis
242. RMR	geotechnikai kőzettest osztályozási módszer alapozások tervezéséhez
243. RockWorks 3D	geológia modellező szoftver rendszer
244. RQD	geotechnikai kőzettest osztályozási módszer a fúrómagok vizsgálatára alapján
245. RTK GPS	pont meghatározási eszköz
246. RW	termeltetés állandó hozammal
247. s	szilárd fázis
248. S	1. feszültségtenzor; 2. tárolási tényező
249. s.l.	tágabb értelemben (sensu lato)
250. SBP	önbefúró pressziométer (Self-boring Pressiometer)
251. SBPM	önbefúró pressziométer (Self-boring Pressiometer)
252. SBS-42	P-hullámforrás
253. Σ -X	szigmoidális porfiroblaszt, csillámhal palásság
254. SCPTu_I-6	szeizmikus CPT szondázási pontok jele
255. SEBA	kézi vízszintmérő típusa
256. SEISMIC-S	nagy pontosságú villamosgyutacs (1 ms)
257. Seistec TM	szeizmikus szelvényező műszer
258. Sercel 428XL Lite	szeizmikus mérőrendszer
259. SGR	spektrál-gamma mérés
260. S_H	maximális vízszintes főfeszültség

261.	S_h	minimális vízszintes főfeszültség
262.	SH	horizontális S hullám gerjesztés
263.	SHARE	Seismic Hazard Harmonization in Europe projekt
264.	SHARE-MOD	Seismic Hazard Harmonization in Europe szempontjai szerinti szeizmikus forrásmodell
265.	SI	nyeletéses szlagteszt
266.	SIS/RIS/HIS	a pakkeres mérések záró nyomáskiegyenlítődési szakasza
267.	SPT	nehéz verőszonda (Standard Penetration Test)
268.	SPT(C)	zárt végű SPT szondázás
269.	S_r	telítettségi fok
270.	ST	normalizált csúszási tendencia (Slip Tendency)
271.	SUMMIT II Compact	S hullám mérés adatrögzítő
272.	S_v	litosztatikai terhelésből adódó feszültség
273.	S_w	kút szkinhatás
274.	SW	termeléses szlagteszt
275.	S_y	gravitációsan leírható pórusterfogó
276.	SZMÁ	mikroszeizmikus mérőállomás jele
277.	T	transzmisszivitás
278.	TA	termikus analízis
279.	TAKI	MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet
280.	TATIP	talajtípus (adatbázis)
281.	TDK	Tudományos Diákkör
282.	TE	Transzverzális elektromos
283.	TFA 30.2017.02 SB	elektronikus hőmérő típus
284.	TFSZ	téglagyári feltárás szelvénye
285.	TG	természetes gamma (karotázs)
286.	TM	transzverzális mágneses
287.	TOC	teljes szervesanyag-tartalom (Total Organic Content)
288.	TRAC	szoftver
289.	tszf	tengerszint feletti
290.	TVD	fúrásokban észlelt valódi mélység
291.	TVSZ	talajvízszint
292.	TWT	kétutas futási idő
293.	UCS	egyirányú nyomószilárdság (Uniaxial Compressive Strength)
294.	UHRS	azonos éves gyakoriság mellett, különböző periódusú gyorsulások (Uniform Hazard Response Spectrum)
295.	USGS-NEIC	Amerikai Geológiai Szolgálat Földrengési Információs Központ (United States Geological Survey National Earthquake Information Center)
296.	UU	triaxiális vizsgálat konszolidálatlan, drénezetlen pórúsvíznyomási peremfeltételek mellett
297.	v	folyadék fázis
298.	V0	laza réteg terjedési sebessége
299.	VESZ	vertikális elektromos szondázás
300.	VGT	Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv
301.	Vhr.	végrehajtási rendelet
302.	VKI	Víz Keretirányelv
303.	VKJ	vízkezelési járulékos
304.	V_p	primer hullámsebesség
305.	V_s	szekunder hullámsebesség

306.	VSP	vertikális szeizmikus profilozás mérés
307.	w	víztartalom
308.	WinGLink	magnetotellurikus adatok feldolgozására használt programrendszer
309.	WinGSLIB	geostatistikai szoftver rendszer
310.	W_L	follyási határ
311.	w_p	plasztikus határ
312.	XN	keresztezett nikol
313.	XRD	röntgendiffrakciós vizsgálat
314.	Zond12e	georadar mérőberendezés típusa
315.	β	belső súrlódási szög
316.	γ	térfogatsúly
317.	γ_d	száraz térfogatsúly
318.	γ_{sat}	telített térfogatsúly
319.	δ	statisztikai szórás
320.	μ	statisztikai átlag
321.	μ	súrlódási tényező
322.	ρ_d	száraz térfogatsűrűség
323.	ϕ	belső súrlódási szög
324.	\bar{O}	alsó félgömbi vetület

1 Bevezetés

1.1. A zárójelentés célja és feladata

Jelen zárójelentés a Paksi Atomerőmű telephelyén létesítendő új atomerőművi blokkok telephely vizsgálatához és értékeléséhez készített Földtani Kutatási Program (ÁKMI Kft., SOM@475/3 Rev.4., továbbiakban: FKP) [311] végrehajtásának eredményeit dokumentáló és értelmező jelentés. Célja és feladata, hogy a különböző szakterületi részfeladatok eredményeit integráltan, egységes keretben mutassa be, és megteremtse az alapot ahhoz, hogy az új blokkok tervezett telephelyét a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet szerinti biztonsági jelentésben földtani szempontból értékelni lehessen.

1.2. Előzmények, hatósági engedélyek

A Magyar Országgyűlés 25/2009. (IV. 2.) határozatával – az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény 7. §-ának (2) bekezdése alapján – a Paksi Atomerőmű telephelyén új atomerőművi blokk(ok) létesítésének előkészítését szolgáló tevékenység megkezdéséhez előzetes elvi hozzájárulást adott. A fenti határozat végrehajtására 2009. júliusában megalakult az új atomerőművi blokkok létesítésének előkészítéséért felelős Lévai Projekt, majd az ez által végzett előkészítő tevékenység folytatására az MVM Magyar Villamos Művek Zártkörűen Működő Részvénytársaság (a továbbiakban: MVM Zrt.) létrehozta az MVM Paks II. Atomerőmű Fejlesztő Zártkörűen Működő Részvénytársaságot (a továbbiakban: MVM Paks II. Zrt., vagy Építető).

A 1194/2012. (VI. 18.) Kormányhatározat utasítást adott az új atomerőmű létesítésére irányuló beruházás nemzetgazdasági szempontból kiemelt beruházássá minősítéséhez, valamint a beruházás jellegéhez igazodó, optimalizáltabb jogszabályi háttér kialakítása érdekében szükséges jogszabály-módosítások végrehajtására.

A Kormány a 1196/2012. (VI. 18.) számú határozatában a beruházást a nemzetgazdaság szempontjából kiemelt fontosságú, az energiaellátás szempontjából pedig alapvetően szükséges beruházássá nyilvánította.

A jogszabályi követelmények teljesítése céljából az MVM Paks II. Zrt., mint a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységekről szóló 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet 19. § szerinti leendő engedélyese elkészítette a Paksi Atomerőmű telephelyén létesítendő új atomerőművi blokkok telephely vizsgálatára és értékelésére vonatkozó engedélykérelmet megalapozó dokumentációt és kérelemmel fordult az Országos Atomenergia Hivatal (továbbiakban OAH) felé a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet 1 sz. mellékletét képező Nukleáris Biztonsági Szabályzat (NBSZ) 1. kötet 1.2.2 fejezete szerinti telephely vizsgálati és értékelési engedély kiadása érdekében.

A beadvány mellékletét képezte a független szakértői anyagokon túlmenően, „A telephely vizsgálatának és értékelésének keretprogramja (ÁKMI Kft., SOM@475/29)”, a „Földtani Kutatási Program előzetes kockázatelemzése (ÁKMI Kft., SOM@475/28 Rev.1.)”, a „Földtani Kutatási Program (ÁKMI Kft., SOM@475/3 Rev.4.)”, és a „Földtani Kutatási Program Kiegészítése (ÁKMI Kft., SOM@475/23 Rev.1.)” dokumentáció.

Kérelmező a kérelméhez mellékelte a Pécsi Bányakapitányság 2014.01.31-én kiadott, PBK/2992-7/2013. iktatószámú előzetes szakhatósági állásfoglalását. Mivel a szakhatóság nem nyilatkozott 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendeletben szereplő, a Pécsi Bányakapitányság szakhatósági körébe tartozó követelmények teljesüléséről, az OAH szakhatósági állásfoglalás kéréssel fordult a Bányakapitánysághoz.

A mellékelt kutatási tervdokumentáció felülvizsgálata során a Pécsi Bányakapitányság megállapította, hogy az megfelel a bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. törvény (Bt.) végrehajtásáról rendelkező 203/1998. (XII. 19.) Korm. rendelet (Vhr.) 6. § (1) és (2) bek. előírásainak, így 2014. 07. 07-i keltezéssel megadta PBK/1305-2/2014. ikt. számú szakhatósági állásfoglalását. Az engedélyezett földtani kutatási tevékenység véghatárideje 2017. május 4.

Ezt követően az Országos Atomenergia Hivatal 2014. november 14-én kelt, HA5919. számú határozatával (OAH-2014-00673-0045/2014 iktatószámon) jóváhagyta az engedélyezett telephely vizsgálati és értékelési program részeként tervezett Földtani Kutatási Program (továbbiakban: FKP) végrehajtását.

A határozat kimondta, hogy a földtani kutatási program végrehajtása az OAH által kibocsátott, jogerős telephely vizsgálati és értékelési engedély birtokában kezdhető meg az Egységes Országos Vetületi (továbbiakban: EOVI) rendszerben megadott koordináták által lehatárolt területen belül, a megadott feltételek és a Pécsi Bányakapitányság, mint eljárásban résztvevő szakhatóság állásfoglalásában szereplő feltételek teljesítése mellett. Ez alól kivételt képeznek:

- a bányafelügyelet építésügyi hatósági engedélyhez kötött sajátos építmények építési engedélyezési eljárásának kezdeményezése
- a bejelentés alapján végezhető sajátos bányafelügyeleti építési tevékenységek kivitelezése

A tervezett, 400 m-nél mélyebb mélyfúrásokat jogerős és végrehajtható építési engedély birtokában lehetett megkezdeni és kivitelezni, a bányafelügyelet hatáskörébe tartozó egyes sajátos építményekre vonatkozó építésügyi hatósági eljárások szabályairól szóló, 53/2012. (III. 28.) Kormányrendeletnek megfelelően. A kutatási tevékenység megkezdése, illetve befejezése – a tevékenység megkezdése előtt 8 nappal – bejelentés köteles volt. A fúrásokhoz rendelkezésre álló engedélykészes és munkakezdési bejelentések listáját az 1. függelék tartalmazza.

Bejelentés alapján lehetett megkezdeni a 400 m-nél nem mélyebb kutatófúrásokat és a 2 m mélységet meg nem haladó kutatóárok kialakítását. A fenti rendelet 6. melléklete szerinti adattartalommal a megkezdést megelőzően 10 nappal a bejelentéseket az Építetető megtette. A bejelentések listáját az 1. függelék tartalmazza. Az egyes építési engedély vagy bejelentés köteles kutatási tevékenységek befejezését követően azok lezárásáról a bejelentések megküldése megtörtént.

Beruházó a kutatás tervszerű lebonyolítása érdekében – érintettség esetén – a kutatási tevékenység összehangolására irányuló egyeztetéseket folytatott a bányászati jogosultsággal rendelkező bányavállalkozókkal. Ugyanezen módon járt el a szállító, illetve gázelosztó vezetékek üzemeltetőivel a szükséges egyeztetéseket lebonyolítása érdekében.

Robbantásos jelgerjesztést alkalmazó szeizmikus mérések a bányahatóság robbantási engedélyének birtokában voltak megkezdhetők. A kutatás során robbanóanyag felhasználásra

vonatkozó engedély a PBK/1900-8/2015. számú határozat és annak időtartamot érintő módosítása a PBK/2644-2/2015. sz. határozat volt.

A tulajdonosi jogok gyakorlóival, vagy az érintett ingatlanok tulajdonosaival a szükséges egyeztetéseket Beruházó lefolytatta.

Kivitelező a kutatási tevékenység végrehajtása során a záradékolt engedélyezési dokumentáció részét természetvédelmi engedélyben foglalt feltételeket betartotta, figyelembe vette az ügyféli minőségben megkeresett hatóságok nyilatkozatait.

A 3D szeizmikus kutatás kivitelezése a Pécsi Bányakapitányság PBK/650-2/2014. számú, a Paks környéki rétegtani és tektonikai viszonyok megismerése céljából végzendő földtani szerkezetkutatási tervet jóváhagyó határozata alapján történt. A tervezett telephelyen létesített monitoring kutak a KDTVH-2434-017/2014. sz. vízjogi létesítési engedély alapján kerültek kivitelezésre.

A Földtani Kutatási Program végrehajtásához beszerzett hatósági engedélyek, közmű hozzájárulások, megküldött hatósági bejelentések teljes listáját az 1. függelék tartalmazza. A fontosabb hatósági engedélyek másolatai a 2. függelékben találhatóak.

1.3. A kutatás során alkalmazandó jogszabályok

Az atomenergia alkalmazásának jogszabályi feltételeit az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény és a törvényben megfogalmazott felhatalmazás alapján kiadott rendeletek szabályozzák. A létesíteni kívánt atomerőművekre vonatkozó nukleáris biztonsági követelményeket, és az atomenergia felügyeleti szerv hatáskörébe tartozó eljárások szabályait a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet határozza meg. A telephely vizsgálati és értékelési folyamat során eleget kell tenni a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet 1. melléklet 1. és 7. kötetének (Nukleáris Biztonsági Szabályzat, továbbiakban NBSZ).

Az új atomerőművi blokk(ok) telephelyengedélyének megszerzéséhez szükséges, kutató magfúrások alapján történő földtani kutatási vizsgálatok és program végrehajtása során öt különböző fő jogszabály és az azokhoz kapcsolódó háttér-szabályozás követelményrendszerét kellett egyidejűleg kielégíteni, a tevékenységeket a kutatási cél figyelembevételével a hatályos rendeletben foglalt külön előírásoknak megfelelően kell végrehajtani.

- az 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról, amelyhez kapcsolódó szabályozási körben rögzítették – többek között – a telephely kijelölésének, alkalmassá minősítésének, a létesítés engedélyezésének szabályait
- az 1996. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól, amely a tevékenység környezeti követelményekkel való összehangolását biztosítja, különös tekintettel a környezethasználatra vonatkozó szabályozási körre
- az 1993. évi XLVIII. törvény a bányászatról, amelynek alapján a biztonsági övezetben végzett tevékenységek szabályait, a bányaműszaki és bányabiztonsági szempontokat kell érvényesíteni
- az 1997. évi LXXVIII. törvény az épített környezet alakításáról és védelméről, amely az építmények kialakítását és a területhasználat szabályait rögzíti
- az 1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról, amely a felszíni és felszín alatti vízvédelem, a vízrendezés és vízellátás körét érinti

A Földtani Kutatási Program végrehajtása során figyelembe vett és alkalmazott jogszabályok teljes listáját a 3. függelék tartalmazza.

1.4. Szerződéses feltételek, közreműködők, a kutatás végrehajtása

A fenti célok elérése érdekében az MVM Paks II. Zrt. a közbeszerzésekről szóló 2011. évi CVIII. törvény (a továbbiakban: Kbt.) II. rész XIV. fejezete szerinti hirdetmény közzétételével induló tárgyalásos eljárást indított. Az eljárást megindító hirdetmény (részvételi felhívás) az Európai Unió Hivatalos Lapjában 2014/S 027-043748, a Közbeszerzési Értesítőben 2222/2014. számon jelent meg. A lefolytatott közbeszerzési eljárás eredményeként a Mecsekérc Zrt. és az ÁKMI Kft., mint közös ajánlattevők által benyújtott ajánlat nyertesével Beruházó 2015. április 2-án Vállalkozási Szerződést kötött **„Az új atomerőművi blokk(ok) telephelyengedélyének megszerzéséhez szükséges, kutató magfúrások alapján történő földtani kutatási vizsgálatok és program végrehajtása, azon belül általános földtani, geofizikai, geotechnikai és hidrogeológiai vizsgálatok végrehajtása, és térinformatikai adatbázis létrehozása”** tárgyában.

Az Országos Atomenergia Hivatal 2014. november 14-én kelt, HA5919. számú határozata (OAH-2014-00673-0045/2014) és a Pécsi Bányakapitányság, mint eljárásban résztvevő szakhatóság állásfoglalása alapján (PBK/1305-2/2014) 2015. áprilisától indult az engedélyezett telephely vizsgálati és értékelési program részeként tervezett földtani kutatási Projekt (FKP) végrehajtása. A fontosabb kivitelezési munkák az alábbi határidőkre készültek el:

- Földtani és geomorfológiai térképezés terepi munkái: 2016. 02. 15.
- Mélyfúrások: 2016. 05. 31.
- Tervezett telephelyen kívüli sekélyfúrások: 2016. 02. 28.
- Telephelyen belüli geotechnikai magfúrások, in-situ vizsgálatok: 2016. 04. 01.
- Telephelyi hidrogeológiai monitoring kutak: 2015. 11. 30.
- Felszíni geofizikai mérések: 2016. 04. 15.
- Vetőkutató sekélyfúrások, kutatóárkok: 2016. 08. 10.

Az Építető a 191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet szerinti műszaki ellenőrzési tevékenység ellátásával a Bátkontroll Kft.-t bízta meg. A kutatási munkák szakmai felügyeletét, az eredmények, jelentések véleményezését hatfős Tudományos Támogató Testület látta el.

A 3D szeizmikus vizsgálatok kiértékelése és a kutatási tevékenység végrehajtása során előállt ismeretanyagok alapján a Földtani Kutatási Program átfogó felülvizsgálatára került sor 2015. IV. negyedévében, melynek eredményét az OAH tudomásul vette. A kutatási cél eléréséhez szükséges fúrási és vizsgálati programot az új információk birtokában optimalizálták, aktualizálták, az előzetesen tervezett 22 db sekélyfúrás számát 19 darabra csökkentették, míg az egyes geofizikai és hidrogeológiai célú vizsgálatok tervezett fúrási talpmélyiségét a harmadkor előtti alaphegység eléréséhez szükséges mélységtartományig megnövelték. Az újonnan javasolt helyszíneken mélyült kutatófúrások egyúttal lehetőséget adtak arra, hogy több helyen is elérjék a harmadkor előtti medencealjzatot, ezáltal a teljes rétegsort feltárják. A fenti körülményekre tekintettel a Vállalkozási Szerződést 2016. március 7-én módosították.

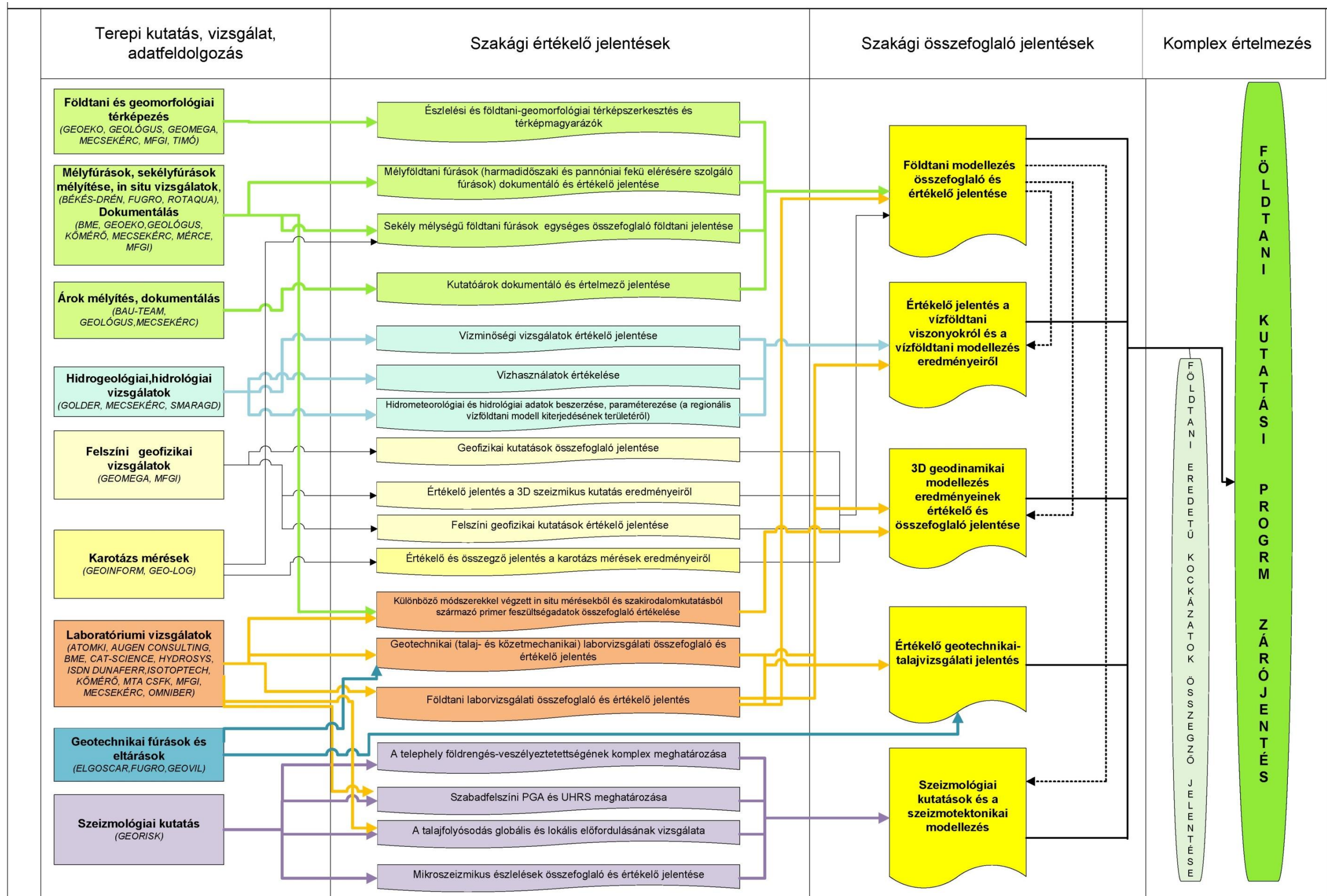
A Földtani Kutatási Program végrehajtása a vizsgálatok terjedelmét, a kutatások komplexitását tekintve az utóbbi két évtized egyik, ha nem a legnagyobb magyarországi földtani kutatási munkája volt. A vizsgálati, mérési programokban részt vállalt számos, a földtannal foglalkozó gazdasági társaság, intézmény, hazai és külföldi egyetem. Az egyes részfeladatokban az adott szakterület legjobb, elismert szakemberei működtek közre. A kutatásban részt vállalók teljes listája a 4. függelékben található.

1.5 A zárójelentés felépítése

Az FKP keretében készített, jelentés típusú dokumentációk egy több lépcsős hierarchiába illeszkednek (1. ábra). Ennek legalsó szintjén az egyes terepi kutatási munkák, felvételezések, laboratóriumi vizsgálatok végén készített záródokumentációk állnak. A következő lépcsőfok a különféle szakági értékelő jelentések szintje, melyek szakterületi részfeladatokat foglalnak össze. A hierarchia következő szintjén a szakági összefoglaló jelentések állnak, melyek közvetlen alapját képezik a legfelső szinten található zárójelentésnek.

A program végrehajtása során összesen 10 000 oldalt megközelítő terjedelemben képződtek záródokumentációk, rész- és összegző jelentések, melyekhez még több száz melléklet is tartozik. Ezért a zárójelentés már csak terjedelmi okokból sem lehet előbbiekből egyszerű összefűzése, nem is beszélve az integráció és szintézis igényéről. Ennek megfelelően, a zárójelentés tartalmának és terjedelmének meghatározásakor az volt a cél, hogy kezelhető méretű dokumentum legyen, mely nem tartalmaz minden alapadatot, azonban tartalmazza az eredményeket, értékeléseket és értelmezéseket, továbbá mindazt az információt, mely az előbbiekből alátámasztásához feltétlenül szükséges, tehát a zárójelentés önmagában is használható és a hatóság által elbírálható legyen. Mindemellett természetesen, szükség esetén, kérésre az olvasó rendelkezésére állnak az alacsonyabb szintű, de részletesebb dokumentációk is.

A zárójelentés két fő részből áll. Az első az elvégzett kutatások ismertetése: az adott feladat, tevékenység neve, helye az FKP-ban, mi a célja, a kivitelezés adatai (kivitelezők, helyszínek, mennyiségek, dátumok), rövid módszertani összefoglaló, adatfeldolgozás; az FKP-tól való esetleges eltérések indoklása. A második az eredmények bemutatása: szakterületenkénti és komplex értékelés és összefoglalás, kiemelve a telephely-alkalmasság szempontjából leginkább releváns megállapításokat. Mindezt bevezető és összefoglaló fejezetek teszik teljessé.



1. ábra Az FKP jelentéseinek hierarchikus rendszere

2 A kutatás ismertetése

Az elvégzett kutatási munkák összesítő táblázata az 5. függelékben, térképi megjelenítésük az 1. mellékletben található. Részletes leírásuk az alábbi fejezetekben olvasható.

2.1 Földtan

2.1.1 Adatrevízió, adatbázis aktualizálás

Az alkalmazott kutatások – mint a Földtani Kutatási Program (FKP) – a XXI. századi magyarországi viszonyok között, sosem előzmény nélküliek. Az ország területén az előző évtizedek során, különböző céllal zajló földtani kutatások érintették a vizsgálati területét és környezetét is. A jelenleg üzemelő Paksi Atomerőmű 1–4. blokkjainak kivitelezését is részletes földtani, talajmechanikai, hidrológiai és hidrogeológiai kutatás előzte meg.

Később, az Erőmű működése közben több rendszeres és esetleges adatgyűjtés történt, melyek eredményeinek monitoring-elvű kiértékelésével újra és újra felülvizsgálták, hogy a létesítéskor fennálló – a beruházást lehetővé tevő –, kedvező környezeti feltételek fennállnak-e még. Az előzetes földtani kutatás, később a monitoring eljárás nagy mennyiségben termelt adatokat és tudományos információkat egyaránt.

Ezen adatok rögzítése papíralapon, rajzolt vagy nyomtatott formában történt. A papíralapú adatmegőrzés bizonyítottan igen tartós (≥ 500 év) és hatékony. Kereshetősége azonban – még olyan tradicionális metaadat-tárolási eljárások segítségével is, mint a kartoték és az iktatás – meglehetősen gyenge. Igazán hatékony segítséget csak az irathalmaz alapos és részletes ismerete jelent, de ez a tudás rendszerint nem áll rendelkezésre.

2.1.1.1 Dokumentum adatbázis

Azért, hogy ezt a problémát kiküszöböljük – a korábban létrejött iratokat egy egységes *dokumentum-kezelő rendszerbe integráltuk* és a továbbiakban *tisztán digitálisan* kezeljük.

Ezen – a Földtani Kutatási Program céljaira fejlesztett – dokumentumkezelő-rendszer biztosítja:

- a betöltött adatok *hierarchikus- és kulcsszavas kereshetőségét*; valamint az adatok lényegi metaadat szerinti *szűrhetőségét* (szerző; keletkezés dátuma; tárgyalt-, vagy említett földrajzi térrész)
- a kezelt dokumentumoknak a tározó-/futtató informatikai környezettől való *teljes elszigetelhetőségét*; valamint adattár teljes, egy objektumként történő *költöztethetőségét*, melynél alapelv, hogy az adattár csak teljes egységében, vagy sehogy sem mozgatható
- a dokumentumok hozzáféréséhez-, törléséhez-, beviteléhez tartozó *felhasználói jogosultságok kezelését* és a jogosultságok felhasználásának teljes naplózását
- a dokumentumok rendszeres (*biztonsági*) *mentésének lehetőségét*; és a dokumentumtár egy korábbi állapotra történő *visszaállíthatóságát*; továbbá a dokumentumtár önmagában is kielégíti a hosszú távú archiválhatóság feltételeit

- a dokumentumok (informatikai-) *konzisztenciáját* (megszakadt beavatkozás nem eredményez félbeszakadt, hiányos, érvénytelen adatokat: a művelet vagy maradéktalanul befejeződik, vagy nem történik semmi változás az dokumentumokon)
- a vékonykliens-elvű (speciális szoftver telepítését nem igénylő), több felhasználós kezelőfelületet

A dokumentumtár előnye, hogy a technikai alapját jelentő PostgreSQL[®] / Apache[™] Tika[™] & Lucene[™] szabadszoftverek, ismert adattárolási eljárásokkal, így a dokumentumtár nyers adattartalma a támogató szoftverkörnyezet eltűnésével sem válna használhatatlanná.

Az adatok a szkennelést és az optikai karakterfelismerést követően, metaadatokkal és kulcsszavakkal ellátottan, túlnyomórészt PDF/A (ISO 19005) szabvány szerinti konténerformátumban kerültek a dokumentumtárba. A szoftverkörnyezet ideiglenes elnevezése „FKTR” – Földtani Kutatást Támogató Rendszer.

2.1.1.2 Betöltött adatok típusai és forrása

Az archív adatok alapvető fontosságú részét képezik a meglévő atomerőművi blokkok tervezése, létesítése és üzemeltetése közben végzett széleskörű földtani/mérnökgeológiai kutatások eredményei, úgymint: zárójelentések, tematikus földtani, vízföldtani és egyéb térképek, stb. Az adatbázisba feltöltött állományokat eredetük és beszerzésük módja szerint két csoportba sorolhatjuk.

1. Az adatállomány első csoportját képezik azok a kéziratok, térképek, térképmagyarázók, jelentések és egyéb anyagok, melyek a Földtani Kutatási Program (FKP, SOM(R)475/3 Rev.4 [311]) összeállításánál kerültek felhasználásra. Ezen anyagokat archivált formában az MVM Paks II Zrt. bocsátotta rendelkezésre. Ezt követően a Földtani Kutatást Támogató Rendszerbe kerültek feltöltésre. Ez az adathalmaz 185 db archív fájlt foglal magában, mindösszesen 2 072 669 131 bájt (1,94 GB) mértben.

2. Az adatállomány másik csoportját képezik azok az anyagok, amelyek az FKP végrehajtása során kerültek felhasználásra. A releváns szakirodalom listázását az FKP végrehajtásában közreműködő földtudományi szakemberek végezték, a kutatási program első heteiben (2015. április). A listázott anyagok túlnyomó többségét a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal bocsátotta rendelkezésre. A beszerzett kéziratok, térképek, térképmagyarázók, jelentések és egyéb anyagok archiválását (digitalizálását, címkézését, „tagelését”) a MECSEKÉRC Zrt. folyamatosan végezte a kutatási program első hónapjaiban (2015. április-május). Az adathalmaz 129 db archív fájlt foglal magában, mindösszesen 667 975 400 bájt (637 MB) mértben.

Az így előállt teljes archív adatállomány – az FKTR adottságainak köszönhetően a továbbiakban – fájlként és tartalmában is kereshető formában elérhetőek.

További, nagyméretű adathalmazt („bemenő adatot”) képeznek az FKP végrehajtása során beszerzett digitális légi felvételek, továbbá raszteres és vektoros térképészeti anyagok. Ezek a fentiekől eltérő módon nem az archív anyagok számára készült FKTR részét képezik, hanem a jelentés 3. fejezetében bemutatott Téradatbázisban foglalnak helyet, így ott kerülnek bemutatásra.

2.1.1.3 Összefoglalás

A fent bemutatott tárhely és a feltöltésre kerülő állományok beszerzése akadály nélkül, a rájuk épülő munkák feltételeit nem korlátozva elkészült. Az adatbázis elemei, adatokkal együtt az FKP által elvártan megfelelő minőségben, hosszú távú igényeket kielégítő módon rendelkezésre állnak.

2.1.2 Földtani térképezés, térképszerkesztés, felszínfejlődési vizsgálatok

A Pécsi Bányakapitányság előzetes szakhatósági állásfoglalása rögzítette az elvégezhető földtani kutatási tevékenységeket és a kutatással érintett terület sarokpont koordinátáit [71]. A felszíni földtani térképezés az előzetes szakhatósági állásfoglalásban jóváhagyott földtani kutatási program (FKP) 5.1.2. pontjára alapozva készült el. A Mecsekérc Zrt. koordinálása mellett a kivitelezésben több alvállalkozó vett részt, jellemzően a Magyar Állami Földtani Intézetben, illetve jelenlegi jogutódjában, a Magyar Földtani és Geofizikai Intézetben kialakított és alkalmazott földtani térképezési módszerekre támaszkodva.

Az időben legutolsó földtani bejárások és a belőlük levezetett földtani térkép szerkesztése óta eltelt 25 év önmagában indokolta a terület újbóli bejárását. A hagyományosnak tekinthető terepi eszközökön kívül számos új terepi módszer és adatgyűjtési-adatfeldolgozási-megjelenítési eszköz vonult be a kutatás tárházába. A számítástechnika, ezen belül a térinformatika elterjedése, a GPS, DDM-ek elterjedése mellett a legfontosabb módszertani változást a légi fényképek, és a belőlük leszármaztatott ortofotók felhasználása jelentette.

A kutatási projekthez ([311] 138 p. + 7 melléklet) köthetően 2013-ban egy, a telephely köré rajzolt 50 km sugarú körben digitális adatrögzítéssel sztereo átfedésű, valódi színes (RGB) és infravörös (CIR) hullámsávokban önálló légi felvételezés történt. Ennek műszaki leírását a [243] szakmai összefoglaló tartalmazza.

A tervekészítés ideje alatt megtörtént a hazai digitálisan elérhető raszteres és vektoros térképállomány áttekintése, és ennek alapján megtörtént az optimális viszonyokat biztosító térképi anyag beszerzése.

Magát a földtani térképezést, a kapcsolódó fúrások egységes végrehajtását tematikusan tagolt részletes tervek szabályozták [28], [27], és [26]. Mindezeket egységes program foglalta keretbe [223].

A hazai geológusi gyakorlatban meglehetősen körülhatárolt szabadságfok mellett születik meg egy-egy terepi megfigyelés rögzítése és dokumentálása. Az alapvető, minden gyakorló szakember számára kézenfekvő adatok rögzítése egységes, táblázatos rendszerű formában történt a kutatási terv szerint [223]. E dokumentum szabályozza a rögzítendő földtani, tektonikai jelenségek spektrumát, azok rögzítési kódjait, a használt mértékegységeket és pontosságot.

Az alábbi fejezetek a földtani térképezés kezdetétől a végső összefoglalásig mutatják be a tevékenység különböző fázisait.

A térképezési területek definiálása, a térképező sekélyfúrások és a mélyfúrások helyszíneinek térképi kijelölése.

A telephelyet körülölelő kutatások középpontját a Pécsi Bányakapitányság által kiadott, előzetes szakhatósági állásfoglalásból [71] levezetett EOY XY = 635110; 137264 koordinátapár adja meg.

Ez alapján lehetett kijelölni a telephelyi közvetlen környezet 10 km sugarú és a tágabb, 30 km sugarú körzetét, melyek köré szerkesztett É-D-i irányú négyzet alakú területek földtani térképezése, illetve reambulálása volt a feladat.

A szűkebb területen 1:10.000-es méretarányú földtani felvételezés történt, melynek végterméke egy 1:25.000-es méretarányú földtani térkép és az ehhez kapcsolódó részletes dokumentáció.

A szűkebb terület (400 km²) sarokpontjait az alábbi táblázat tartalmazza (1. táblázat).

1. táblázat A szűkebb terület sarokpontjai

Sarokpont	EOV Y	EOV X
1	625110,0	147264,0
2	645110,0	147264,0
3	645110,0	127264,0
4	625110,0	127264,0

A tágabb területen 1:50.000-es méretarányú földtani-geomorfológiai reambuláció történt, végtermékként felszíni földtani és geomorfológiai térképpel, és a kapcsolódó dokumentációkkal.

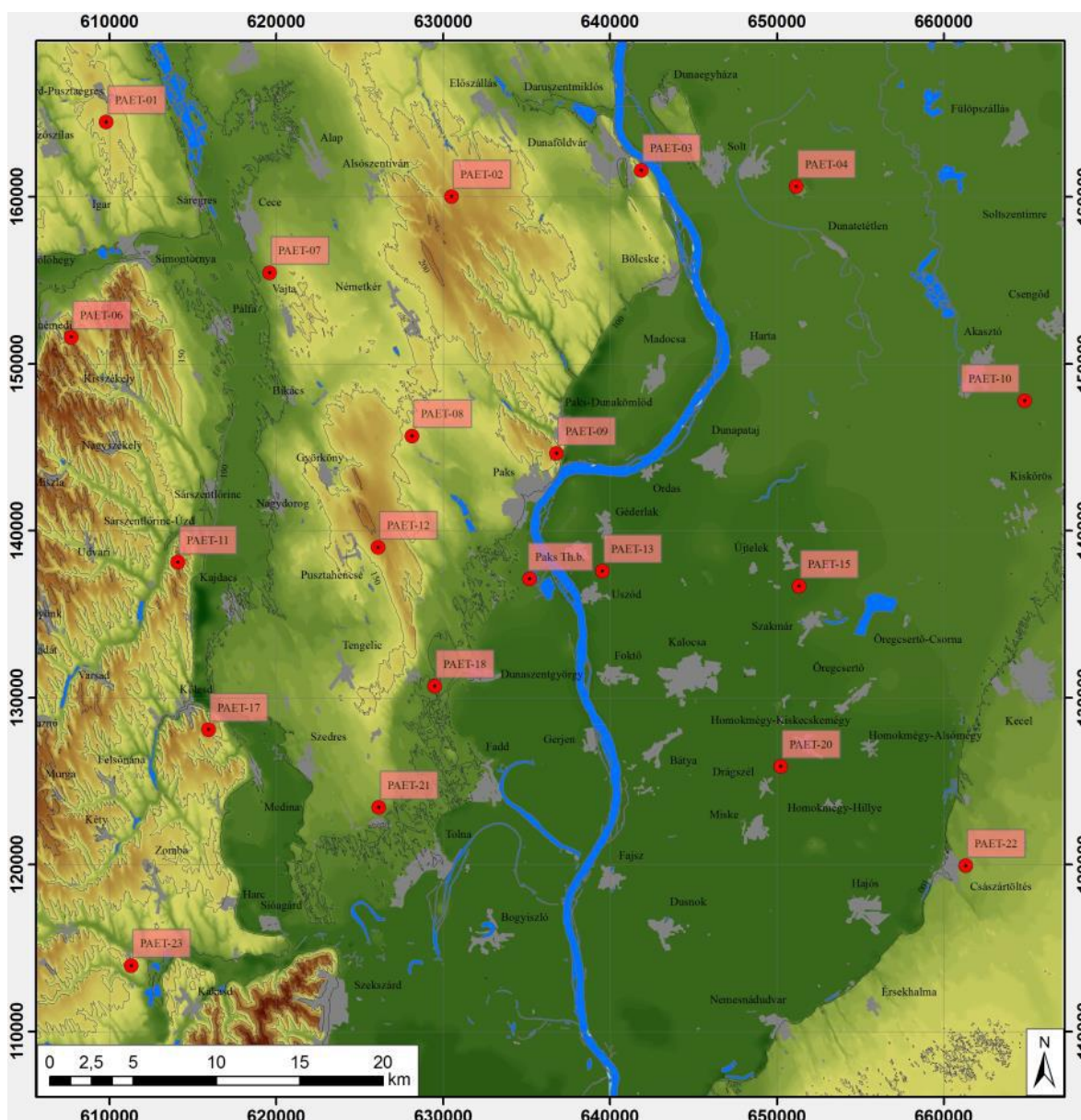
A tágabb terület (3 600 km²) sarokpontjait az alábbi táblázat tartalmazza (2. táblázat).

2. táblázat A tágabb terület sarokpontjai

Sarokpont	EOV Y	EOV X
1	605110,0	167264,0
2	665110,0	167264,0
3	665110,0	107264,0
4	605110,0	107264,0

A tágabb (3 600 km²) területen számos sekélyfúrás került lemélyítésre (19 db; 2. ábra, lásd még 2.1.3 fejezet). A fúrások helyének kijelölésekor több, a térképezési munkákat támogató szempontot is figyelembe vettek:

- a terület lehetséges legnagyobb lefedése az új fúrások által, hogy naprakész információkhoz jussanak a terület egészét illetően
- a terület tájegység szerint elkülönített kistájai földtani felépítésének részletes megismerése
- „mezőföldi” területen a mind a lösszel fedett dombvidéki, mind a futóhomokos területrészek rétegsorainak megismerése
- a Duna menti klasszikus lösz-rétegsorok fúrások által való dokumentálása Paks és Dunaföldvár környezetében (PAET-9)
- a hazai lösz-kifejlődés legteljesebb rétegsorának, az Udvari U-2A fúrásnak közelében mélyíteni egy hasonló morfológiai helyzetben fekvő kontrollfúrást az úzdi tetőn (PAET-17)



2. ábra A tervezett telephelyen kívül mélyült 19 db sekély mélységű fúrás térképi elhelyezkedése

Az alaptérkép szolgáltatója: © HM Zrínyi Nonprofit Kft. 2015.

2.1.2.1 Előzetes földtani térkép összeállítása és terepi felvétel a telephely közvetlen, 400 km²-es környezetében

2.1.2.1.1 Előzetes földtani térkép összeállítása

A térképezés folyamata a telephely szűkebb környezete előzetes földtani térképének elkészítésével indult el. Ez a képanyag egy kiválasztott repülési sorának bejárásával kezdődött. A kelet–nyugati repülési irány lehetővé tette, hogy lényegében véve az összes felszíni képződmény fotogeológiai bélyegeit meg lehessen ismerni, és ez alapján lehessen általánosítani a teljes kutatási területre. Az egyes sorok kiválasztásakor szempont volt az egyes térképező-feltáró csoportok eltérő idejű munkakezdése, és az egyes részterületek nagysága.

Maga a kiértékelés minimális technikai háttér igénybevételével, az eredetileg digitálisan rögzített képanyag fotópapír minőségben kinyomtatott anyagán történt, a felületére rögzített fóliákra, alkoholos tollak segítségével. Az egyes képek nagyítása 1:13.000–1:13.500 között változott, ami a geokódolt 1:10.000-es topográfiai térképekkel közösen alkalmazva biztosította a műszaki leírásban előírt 1:10.000-es terepi felvételi méretarányt. A soronként, minden második képkockán elkészített interpretációk a szomszédos fóliákkal egyeztetve készültek.

A fotogeológiai módszer teljes körű alkalmazása az egész vizsgált területre jelentős többletinformációt jelentett a korábbi, gyalogos bejárásokkal és sekélyfúrásos feltárásokkal végzett kutatásokhoz viszonyítva, jelentősen módosította és megnövelte a terepi munkák tervezésének hatékonyságát, valamint a térképkészítés folyamatát. A referencia bejárások segítségével, valamint a korábban képződött síkvidéki tapasztalatokból kiindulva történt meg a kiértékelés, ami az egyes képződmények genetikai típusát, ezek határait, az egymáshoz viszonyított relatív korokat, továbbá előzetes bejárásokra támaszkodva a közelítő közettani összetételt is megadta.

Az interpretációk térinformatikai adatbázisba szerkesztése egyszerű illesztőpontok alapján, közvetlenül fedvényekről, képernyő előtti digitalizálással állt elő magából a légi képanyagból származtatott ortofotókra kalibrálva. Az 1:25.000-es méretarányú előzetes földtani térkép a digitalizálással bevitt nyers vonalmű térinformatikai feldolgozásával készült QGIS és ArcGIS programok segítségével. Megtörtént az eredeti interpretációs fedvények archiválása, digitalizált formájuk pedig a Mecsekérc Zrt. portálján megtalálható. Az elkészült előzetes földtani térképhez egy magyarázó és módszertani szöveg készült [302], A szöveges anyag részletesen bemutatja a főbb képződmények fotogeológiai megjelenését a szöveghez kapcsolt hiperlinkek segítségével.

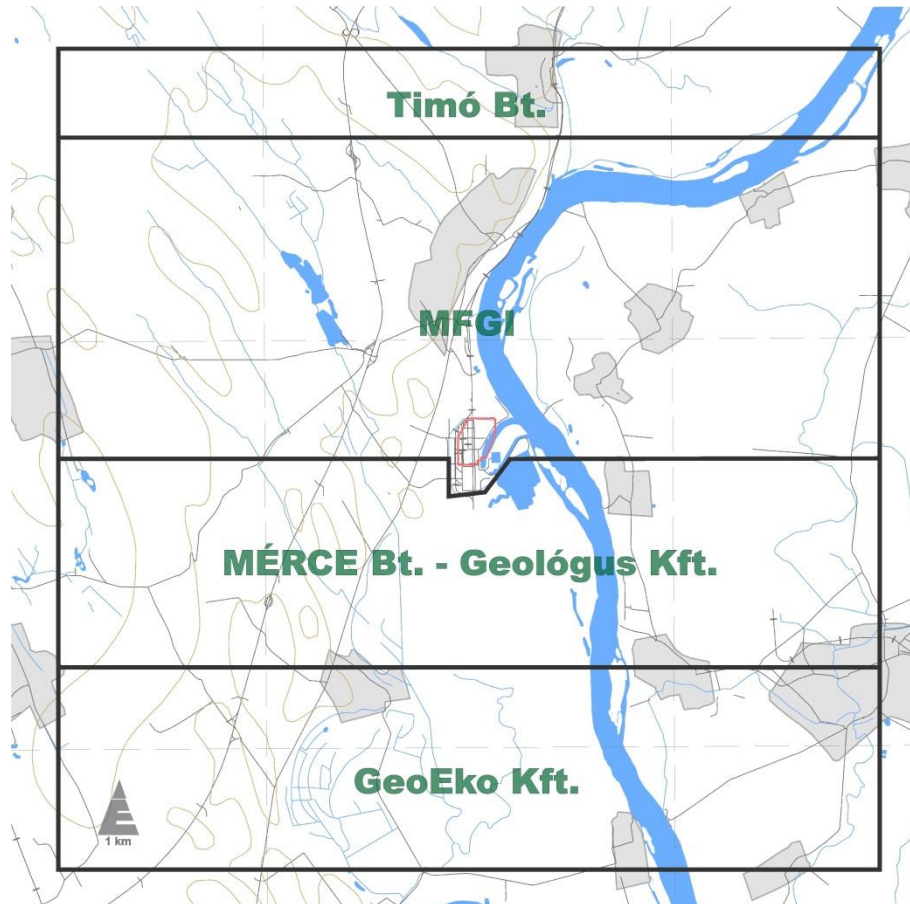
Fontos szempontot jelentett a vízfelületek interpretációja, mert a munka végterméke egy térinformatikai adatbázis létrehozása volt. Ekkor az utóbb elkészített, kartografált topográfia hidrográfiájának átvétele a vonalmű torzításához, kényszerű hozzáigazításához vezethetett volna.

A nyers kiértékelések képei és fóliái már a terepi szezon idején használhatók voltak feltárások és terepbejárási útvonalak felkeresésének tervezésére.

2.1.2.1.2 A telephely szűkebb környezetének földtani térképe

A térképezési területek kijelölését követően a következő lépés a területek felosztása volt felelősök, illetve földtani felvételezők szerint.

A közvetlen környezetet lefedő 400 km² térképezése négy, kelet–nyugati irányú sávban történt, biztosítva, hogy az egyes térképezési sávok az összes jelentősebb felszín közeli földtani egységet átfogják (TIMÓ Bt., MFGI, Mérce Bt., Geológus Kft. és a Geoeko Kft.; 3. ábra). A terepi munkák 2015. június 1 – december 16. között zajlottak.



3. ábra A 400 km² nagyságú, szűkebb terület felosztása felelősök szerint

Az alaptérkép szolgáltatója: © HM Zrínyi Nonprofit Kft. 2015.

A részterületek kijelölése után a földtani térképezés előkészítése a hazai kialakult gyakorlatnak megfelelően történt:

- a terület földtani és földrajzi szakirodalmának áttekintése
- a korábbi, különböző méretarányú földtani felvételezések eredményeinek megismerése és összegyűjtése, úgy, mint: földtani térképek, foltleírások, fényképek, esetleges magyarázók stb. Bemelő adatként vettük figyelembe a sekély- és a mélyfúrások részletes dokumentálásának felszíni-felszín közeli adatait is
- a területen mélyült korábbi fúrások átértékelt rétegsorainak összegyűjtése, valamint főképp a tágabb terület korábbi fúrási rétegsorainak átértékelése, összehangolása, egységesítése
- a fontosabb feltárások térképezők általi közös tanulmányozása az egységes szemlélet kialakítása céljából
- fotogeológiai előkészítő munka: a terepi munka támogatásához, a 2.1.2.1.1 pontban taglalt módszerrel elkészült a teljes szűkebb terület előzetes földtani térképe

Az új, digitális eszközök térhódításával a földtani térképezés menete, pontossága, ellenőrizhetősége gyökeresen megváltozott a XXI. században, de még mindig az emberi megfigyelések a legfontosabbak. A térképezés menete az alábbi volt:

- terepi bejárás a légifotó kiértékelés adatainak felhasználásával
- az észlelési pontok GPS koordinátájának bemérése (az 1:10.000-as földtani térképezésnél egy 10 méteres folt is ábrázolható, ha nagyobb kiterjedésű, akkor több

koordináta tartozik a folthoz); a mérések pontossága GPS esetében 2–4 m, koordináta kiolvasással ~5 m

- az észlelési pont digitális kamerával történő lefényképezése (távoli, áttekintő és szükség esetén részlet fotók)
- a feltárás részletes dokumentálása (a megrendelő kívánalmainak megfelelően eltekintettek a részletes, jegyzőkönyvbe történő leírástól, helyette terepi dokumentációs, excel táblázatokba kerültek be a feltárás részletes adatai, tartalmazva mindazt, ami egy makroszkópos leírásban megtalálható) [27]
- a rosszul feltárt területeken kézifúrások (max. 2 m) mélyítése és dokumentálása
- esetenként mintavételezés a feltárásokban, valamint indokolt esetekben a kézifúrások anyagában (szintén a dokumentációs táblázatokban rögzítve)

A résztvevő négy alvállalkozó részéről összesen 11 térképező geológus észlelt a 400 km² nagyságú területen. A mindenki által használt földtani dokumentációs táblák, mind az észlelési foltoknál, mind a fúrásleírásoknál nagymértékben elősegítették a térképezők közös szemléletének kialakítását, mindazonáltal a fedett földtani térkép szerkesztésekor számos megbeszélést, egyeztetést kellett tartani a Fővállalkozó képviselőivel és a részterületek felelőseivel az egységes álláspont kialakítása céljából. A térkép megszerkesztés az alábbiak szerint történt:

- Közös használt és mindenki által elfogadott jelkulcs létrehozása
- A geológusok által a különböző részterületek megrajzolt vonalműveket összehangolása. Ebben a végleges földtani térkép szerkesztőinek egyeztetnie kellett elsősorban a felvételi laphatárok, másrészt a belső rajzolatok tekintetében a földtani felvételezőkkel. Ennél a szakasznál nyújtott nagy segítséget a mindenki által használt és egységes szemléletű előzetes fotogeológiai kiértékelés vonalműve
- Az összes sekélyfúrás rétegsorának közös átnézése, ahol szükséges volt pontosítása, egységesítése

A fenti fázisok eredményeképpen készült el az egységes jelkulcson alapuló digitális vonalmű, melynek a jelkulcs szerint színezett, kinyomtatott változata a vizsgált, szűkebb (400 km²-es) terület 1:25.000-es méretarányú fedett földtani térképe.

A terepi munka lezárulta után a terepi dokumentáló táblák alapján észlelési munkatérkép készült, ami az egyes észlelési pontokat tartalmazza, elválasztva egymástól a pontszerű észlelési pontokat és kézifúrással feltárt pontokat, a szelvény mentén követhető vonalas feltárásokat (vízmosságok, bevágódások oldalfalai, stb.), valamint a foltszerű feltárásokat, túlnyomórészt bányaudvarokat.

2.1.2.1.3 Egyéb tematikus térképek a telephely közvetlen, 400 km²-es környezetében

A képanyag két további tematikus térkép szerkesztéséhez szolgált forrásként: a telephely szűkebb környezetének terepfedettségi viszonyait rögzítő térkép, illetve a földtani veszélyforrások térképe. Mindkét térkép olyan természeti és emberi tevékenységek révén bekövetkező változások lehetőségeire és irányaira szolgáltat információkat, amik a nukleáris létesítmény üzemi ideje alatt várhatók.

A telephely közvetlen környezetének terepfedettsége

A térképváltozat [303] elkészítésének fő indoka annak a lehetőségnek a megteremtése, hogy nyomon követhetők legyenek az üzemi idő alatt bekövetkező terepfedtség változások, ide értve a közvetlenül az erőmű megléte miatti változásokat, annak társadalmi hatásait

(beépítettség, közlekedés stb.) és az esetleges klímaváltozás hatásait. Ez a térkép a kapcsolt repülés képanyagára támaszkodva, az EU standardoknak megfelelő jelkulccsal lett megszerkesztve, így rögzítve a kiinduláskor fennálló állapotot. A későbbiekben egy újabb repüléssel rögzített helyzet felmérhető és a változások nyomon követhetők a kiindulási állapottal történő összehasonlítás révén. Ehhez az eszközt a jelkulcs állandósága biztosítja.

Maga a kiértékelés a Magyarország terepfedtségét hivatalosan készítő egyik munkatárs bevonásával készült. A magyar országos térkép kiinduló 1:50.000-es méretarányához képest a változást a nagyobb, 1:25.000-es méretarány, és ennek megfelelően a minimálisan ábrázolható terület 1 ha-ra csökkentése jelentette.

A térkép szerkesztésének indoklását az FKP megfelelő hivatkozásai jelentik ([311] *Felszínborítottság*).

A telephely közvetlen környezetének földtani veszélyforrásai

A felszínt lényegében negyedidőszaki képződmények borítják, melyek képződése, változása a jelen időben is zajlik. A külső erők hatására különféle földtani veszélyforrások keletkeznek, hatásukra a tervezett létesítmény időtartama alatt sem kizárt gyorsan lezajló folyamatok fellépése, amik emiatt a tervezésre kiható földtani kockázatokat jelenthetnek. Az FKP több helyen is kitér ezeknek a vizsgálatoknak a szükségességére ([311] *Földtani veszélyforrások vizsgálata; Felszínalakító folyamatok vizsgálata*).

Ezek megismeréséhez szükség van a veszélyforrások és a jelenkori felszínalakító folyamatok vizsgálatára a telephely környezetében. Ez utóbbi kutatásokat a geomorfológiai reambulálás során végezték el. A veszélyforrások téradatbázisát illetékessége miatt az MFGI állította össze a TIMÓ Bt. alvállalkozójaként, részben az FKP-hez köthető munkája, részben az ott felhalmozódott szakmai tudása révén, továbbá mint a meglévő archív adatok kezelője.

A térkép megszerkesztéséhez a negyedidőszaki képződmények keletkezési viszonyainak, és a jelenlegi felszínalakulás geomorfológiai vizsgálatának szempontrendszerre adta az adatforrást, de számos olyan tényező adatai is bekerültek a feldolgozott anyagok közé, amik több évtizedes adatgyűjtés révén voltak számba vehetők (gravitációs földmozgások, aktív defláció, üledéklehordás stb.).

A térkép összevethetően a telephely közvetlen környezetéről készített többi tematikus térképpel, 1:25.000-es felbontású térinformatikai adatbázisban van eltárolva.

2.1.2.2 A telephely tágabb, 3 600 km²-es területének földtani reambulációja

A tágabb (3 600 km²) terület 1:50.000-es méretarányú földtani-geomorfológiai reambulációja a TIMÓ Bt. és alvállalkozójaként a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI) munkatársainak a kivitelezésében valósult meg. A térkép összeállításának folyamata követte a részletes térképezését. A reambulálás a tágabb terület légifényképeinek előzetes kiértékelésével kezdődött 2015. szeptember 15-én, és 2016. február 17-ig tartott. A terepi munkák 2015. szeptember 18-tól 2015. november 22-ig, majd a téli állásidő után 2016. február 22 – 2016. május 05. között folytak.

A szűkebb terület előzetes légifénykép kiértékeléseiből, és a terepi bejárásokkal megszerkesztett földtani térkép tapasztalataiból kiindulva készült el a teljes terület fotogeológiai térképe. A szűkebb területen alkalmazott módszerrel nem történt változtatás,

csupán az egyes képkockák nagyítása csökkent. A kb. A4-es fotopapírokra digitális nyomtatóval elkészített alapanyag 1:19.000 – 1:20.000-es méretaránya, és az előzetesen geokódolt EOTR 10.000-es topográfiai alapok együttesen biztosították, hogy a műszaki leírásban rögzített 1:25.000-es felvételi méretarány az egész reambulálandó területre teljesüljön. A kiértékelések georeferálása a 25 ezres ortofotókra támaszkodott így elérhetővé vált, hogy a végső reambulált térkép pontossága is kielégítette a huszonötzres követelményeket. A dombvidékeken és az alföldi futóhomokos tájakon a fotókiértékelések mellett a georeferált tízezres topográfiai térképek domborzatrajza adta a szerkesztési alapot.

A telephely közvetlen környezetében a már elkészült 1:25.000-es földtani térkép végleges változata lett a térképbe illesztve, azaz itt az újabb légifénykép kiértékelést a szerkesztés mellőzte.

Az előzetes térkép beltartalmának helyszíni bejárása és a jelentős feltárások dokumentálása, mintázása és téradatbázisba töltése a részletes térkép előállítási folyamatával azonos módon történt. A különbséget a feltárási pontsűrűség és a kézi fúrások redukált munkamennyiségei jelentették. A terepi bejárások megtervezésébe, és a végső térképváltozatba a hozzáférhető, vagy archív térképváltozatok adatai is beépültek.

A reambulálás során nyert, a negyedidőszaki képződmények elterjedésére és genetikai típusainak meghatározására vonatkozó információknak számos vonatkozása szoros kapcsolatot mutatott a geomorfológiai térképezés egyes elemeivel. Ugyanez vonatkozott a Duna alluviális síkján végzett célirányos geomorfológiai vizsgálatokra. Ezért a munkák során nyert információkat a párhuzamosan zajló földtani és geomorfológiai kutatás folyamatosan és kölcsönösen egyeztetve és kicserélte.

Az elkészült reambulált, 1:50.000-es méretarányban megjelenített földtani térkép és a mögötte lévő térinformatikai adatbázis százat meghaladó jelkulcsi elemével és a feldolgozás technológiai folyamatának szabályozásával közelíti a telephely közvetlen környezetének műszaki tartalmát.

2.1.2.3 Mélyföldtani térképezés

A Földtani Kutatási Program Műszaki Terve 1.3.9. jelű feladatkód alatt írta elő a „Paks 3D szeizmikus adatrendszer értelmezését, kiegészítve a telephely 50 km sugarú környezetének 2D ipari szeizmikus és fúrási adataival”. A feladatkiírásban szereplő szeizmikus adatrendszer értelmezésének végső célja a térség releváns geológiai képződményeinek és vetőrendszereinek mélyföldtani térképezése volt. A szeizmikus értelmezési feladatot oly módon kellett végrehajtani, hogy a kinyert geológiai-tektonikai információk a telephely környezete mélyföldtani modelljének megalkotását, valamint 3D szeizmotektonikai, geodinamikai és hidrogeológiai modellezések elvégzését is támogassák és lehetővé tegyék.

A feladatot a Geomega Kft. és a Mecsekérc Zrt. (Megrendelő) közötti szerződés alapján a Geomega Kft végezte el. A külön eljárás keretében kivitelezett és feldolgozott Paks 3D szeizmikus adatrendszer értelmezéséhez a meglévő 2D szeizmikus szelvényeken túlmenően, a szűkebb környezetnél nagyobb területre (az 50 km sugarú körre) vonatkozó és az utóbbi évtizedekben született releváns 2D ipari szeizmikus szelvények is bevonásra kerültek. Ezek mellett integrálásra kerültek az összes releváns mélyfúrás geológiai eredményei és mélyfúrás-geofizikai szelvényei, valamint a Földtani Kutatási Program keretében újonnan mélyített fúrások adatai is.

A feladat a gyakorlatban két ütemben került végrehajtásra: a 2015. szeptember 15. határidővel teljesített első ütemben [378]: Értékelő jelentés a 3D szeizmikus kutatás eredményeiről) a feladatkiírásban szereplő összes feladat végrehajtásra került, azonban az eredményekbe az FKP keretében mélyülő szerkezetkutató fúrások eredményei még nem kerülhettek bele, hiszen azok mélyítése akkor még jórészt folyamatban volt. A mélyföldtani térképeknek az új fúrások tükrében történő ártértékelésére és véglegesítésére a 7.1 feladatkód alatt, 2016. június 30-án teljesített „Földtani 3D-s modell elkészítése” című jelentésben került sor [168], 70 p.). Ez utóbbi munka során, ahol szükséges volt, elvégezték a 3D szeizmikus adatrendszer értelmezésének módosítását és a térképszerkesztési folyamat újbóli végrehajtását, amelynek következtében az új fúrásokban értelmezett formációhatárokkal teljes mértékben kompatibilis mélyföldtani térképek születtek.

A 3D szeizmika a módszer korlátaiból adódóan nem tudta leképezni a kutatási területen belül a negyedidőszaki képződmények feküfelszínét, ezért ezt egyéb adatok alapján az MFGI végezte el.

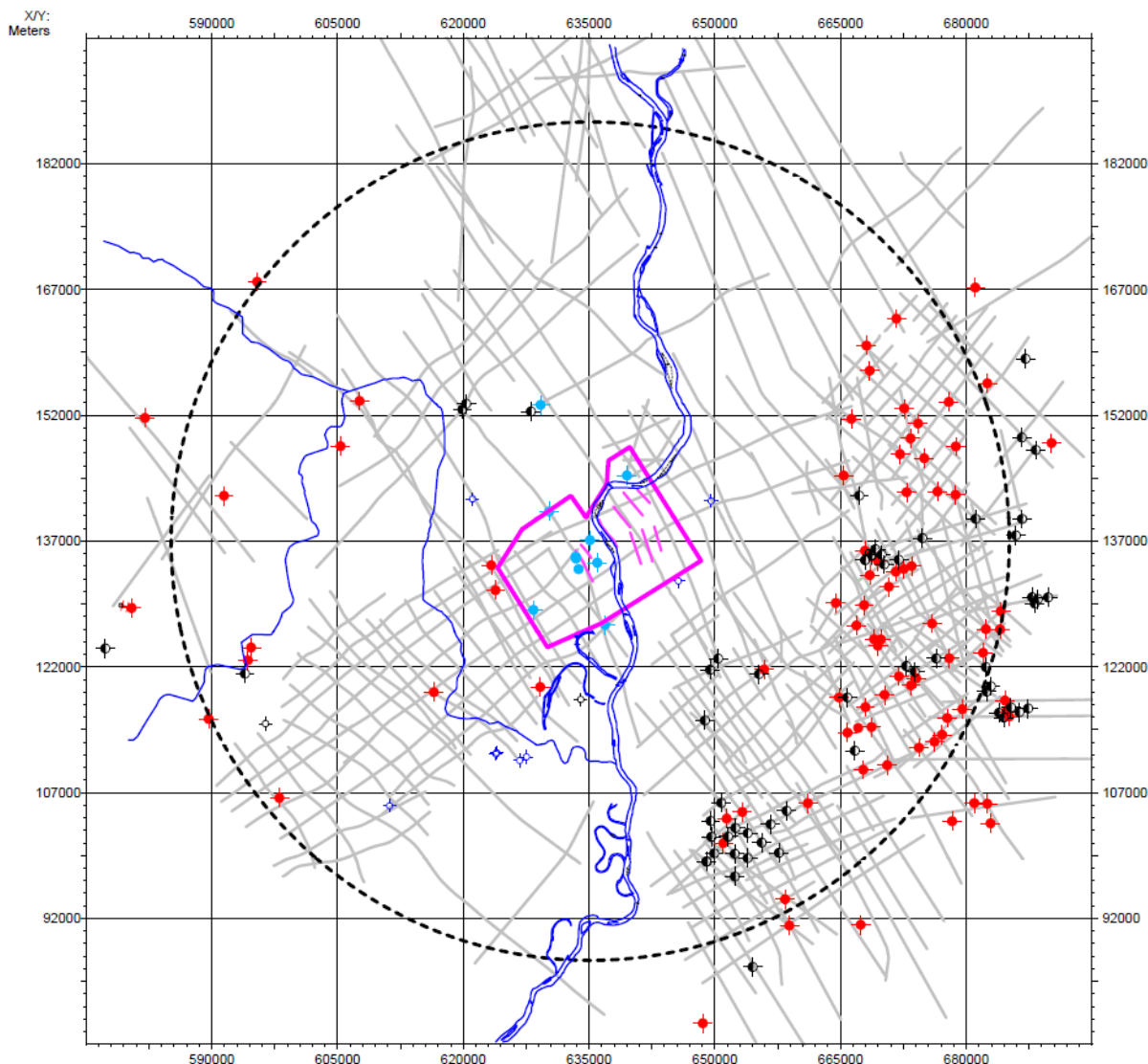
2.1.2.3.1 A mélyföldtani térképezés adatbázisa

A 3D szeizmikus értelmezés területi kiterjesztése érdekében a PAE köré rajzolt 50 km sugarú tartományra vonatkozó releváns adatok beszerzését és értelmező szoftverbe (IHS Kingdom Suite) való integrálását valósították meg. A legfontosabb adat természetesen a szeizmikus és a fúrási információ, amely változó sűrűséggel és minőséggel, de viszonylag jó lefedést biztosítva áll rendelkezésre alapvetően a hazai szénhidrogén kutatások jóvoltából. Ez kiegészült az országos lefedettséget biztosító erőtergeofizikai és földtani térképekkel.

2D szeizmikus szelvények

A mélyföldtani térképezési projekt számára rendelkezésre álló 2D szeizmikus szelvények különböző adatforrásokból származtak: 82 db szelvény a Földtani Kutatási Program keretében került beszerzésre a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal adattárából. Ezek kiegészültek a 2005-ben az erőmű üzemidő hosszabbítását megalapozó földtani kutatások során korábban beszerzett 2D szelvényekkel, a Geomega Kft. adatbázisából származó szelvényekkel, valamint a FKP keretében mért Pa- jelű P- és S-hullám szeizmikus szelvényekkel.

A terület szeizmikus lefedettsége nagyon egyenetlen: a szénhidrogénkutatási szempontból kevésbé érdekes területeken jóval kevesebb szelvény állt rendelkezésre, mint például a perspektívikusabb Duna-Tisza-köze területén. A szelvények ezért minőségi és területi lefedettségi kritériumok alapján kerültek szelektálásra és ez alapján alakították ki az 4. ábra látható, a végső szeizmikus értelmezéshez felhasznált szeizmikus szelvényhálót.



4. ábra A mélyföldtani térképezéshez felhasznált szeizmikus mélyfúrási adatrendszerek helyszínrajza

A lilával jelölt poligon és nyomvonalak az FKP keretében mért Paks 3D illetve Pa- jelű 2D szeizmikus vonalakat jelölik. A fekete szimbólumok az alapinformációkat (befejező jelentés, magleírás, rétegvizsgálatok) tartalmazó kutakat, a piros szimbólumok a mélyfúrási geofizikai szelvényekkel is rendelkező kutakat mutatják, míg késsel a paksi szerkezetkutató fúrásokat jelöltük (korábbi Paks- és új PAET- mélyfúrások). Az alaptérkép szolgáltatója: © HM Zrínyi Nonprofit Kft. 2015.

Fúrési adatok és mélyfúrási geofizikai szelvények

A mélyföldtani térképezési projekt végső fúrásos adatbázisa, a szeizmikushoz hasonlóan, a jelen kutatási program keretében beszerzett fúrási jelentésekből (82 db fúrás), a Geomega Kft. adatbázisában meglévő fúrási adatokból és az FKP keretében mélyült PAET-jelű mély (>500m) szerkezetkutató fúrások adataiból állt össze. Az értelmezéshez felhasznált végső adatbázis, melynek zömét szénhidrogénkutató fúrások teszik ki, a rendelkezésre álló adat mennyisége alapján került kialakításra (4. ábra). A szénhidrogénkutató fúrások mellett néhány mélyebb vízkutató fúrás és egykori földtani alapfúrás is bekerült az adatbázisba.

Az FKP keretében mélyült kutatófúrások összes adata rendelkezésre állt (geológiai leírások, geofizikai szelvények, VSP mérések), míg a korábbi fúrási adatok az alapadatokon

túlmenően elsősorban összefoglaló befejező jelentéseket és magvizsgálati jelentéseket tartalmaztak, illetve 9 korábbi fúrás esetében VSP vagy egyszerű szeizmokarotázs mérési jelentések is rendelkezésre álltak.

A fúrásokban mért geofizikai szelvények fontos szerepet játszottak az értelmezésben. Ahhoz azonban, hogy a digitális értelmező rendszerben használhatók legyenek, digitális állományokra volt szükség. Az értelmezést és az adatbázis építést megelőzően ezért intenzív karotázs digitalizálási kampány kezdődött, melynek során a Paks-2 projekt keretében megrendelt 82 fúrás közül 70 fúrás mélyfúrás geofizikai szelvényeit digitalizálták összesen 343748 méter szelvényhosszúságban (4. ábra pirossal jelölt fúrások). A digitalizálásra kiválasztott szelvényeket, illetve a karotázs digitalizálási eljárás technikai részleteit [378] jelentése tárgyalja.

A kutatási adatok integrálása

A szeizmikus és földtani adatok integrált értelmezését IHS Kingdom Suite szoftverrel végezték. Ez a szoftver többek között alkalmas szeizmikus és földtani értelmezésre, mélyfúrás szelvények korrelációjára és térképezési feladatok ellátására. A projekt koordinátarendszere az Egységes Országos Vetületi Rendszert (EOV).

A Kingdom projektbe bekerülő 2D szeizmikus szelvények a betöltés után + 100 m tszf. magasság referencia szintre kerültek, majd megtörtént az átlagosan 5-10 ms mértékű ún. mistie korrekció számítása, amely az egymást keresztező 2D szeizmikus szelvények technikai és földfizikai okokra vezethető illeszkedési egyenetlenségeit voltak hivatottak minimalizálni. A 2D szeizmikus és a Paks-3D szeizmikus adatrendszeren túlmenően az értelmező szoftver adatbázisának jelentős részét tették ki a fúrás adatok. A fúrás alapadatokon (koordináta, mélység, stb.) túlmenően az összefoglaló geológiai jelentésekből szintetizált képződmény határ mélységek, a projekt kezdetén digitalizált karotázs szelvények, illetve 9 fúrásban rendelkezésre álló mélység-idő összefüggések kerültek betöltésre majd a projektben megjelenő fúrásokhoz hozzárendelésre.

Az értelmező szoftverbe szintén bekerültek különböző georeferált geológiai és geofizikai térképek, amelyek lényegesen segítették a szeizmikus szelvények értelmezését. Különösen hasznosnak bizonyult az országos Bouguer-anomália térkép, valamint az ebből szerkesztett gradiens térkép. Mivel a kutatási területen intenzív mészkáli vulkáni tevékenység zajlott a szubvulkáni testek felismerésében nagy segítséget jelentett Magyarország dZ mágneses anomália térképe. Az aljzati képződmények azonosításában és a tektonikai elemek felismerésében pedig nagyon hasznos anyagot nyújtott Magyarország pre-tercier aljzatának térképe és annak magyarázója [122]; [124]).

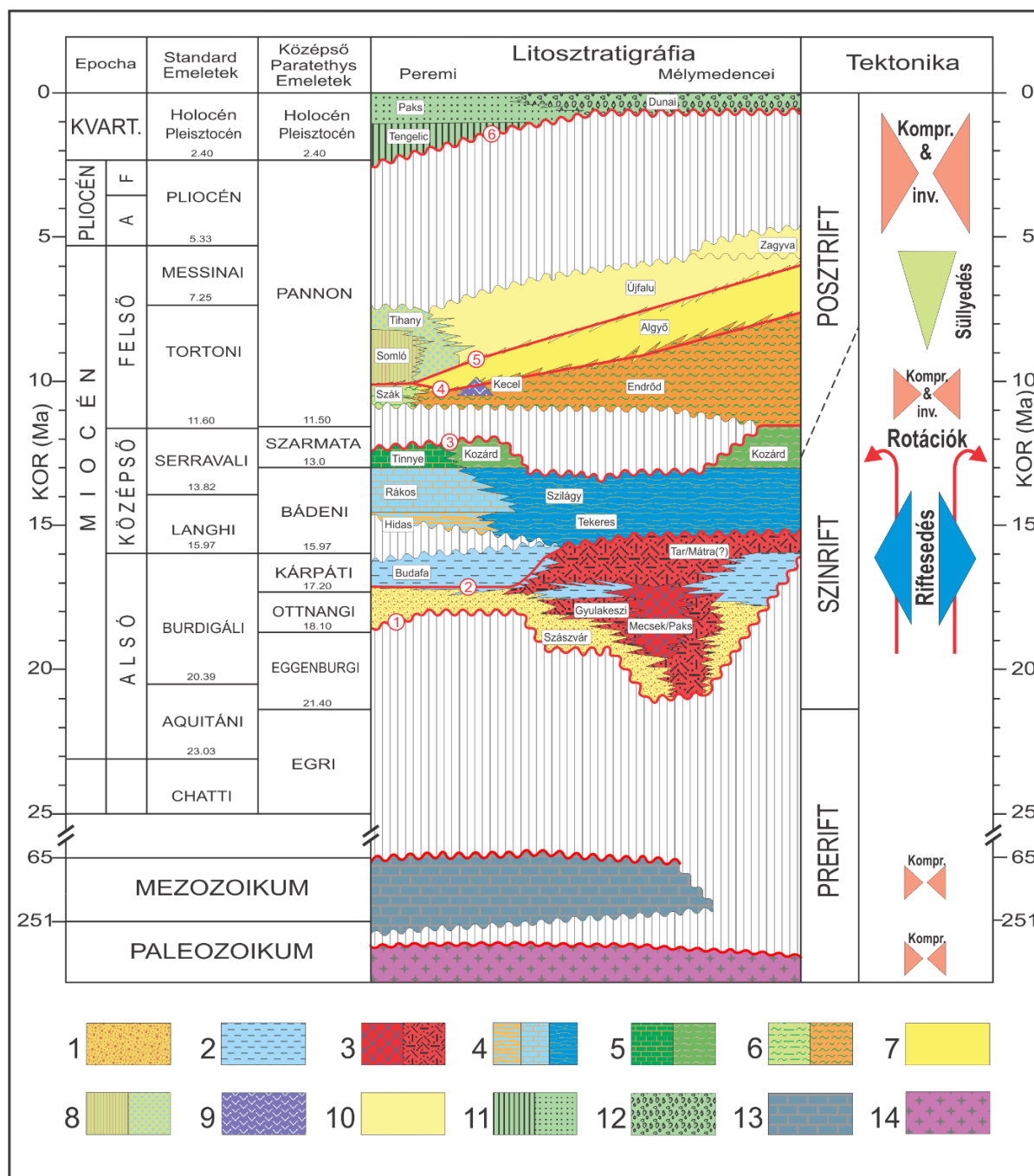
2.1.2.3.2 A kiterjesztett és a 3D terület együttes mélyföldtani térképezése

A mélyföldtani térképezés során a 2D és a 3D szeizmikus adatrendszeren korszerű horizont és vetőértelmezéseket hajtottak végre, amelyekből szeizmikus idő- és mélység-horizontok valamint 3D vetőmodellek kerültek létrehozásra. Ezekon túlmenően a neogén aljzat tekintetében az új fúrás ismeretek és a térképezett vetőrendszerek segítségével [122] aljzat geológiai térképének revideálására és pontosítására is sor került a területen.

Szeizmikus horizont értelmezések és időtérképek szerkesztése

A szeizmikus adatrendszeren a fúrési ismeretanyag integrált felhasználásával az alábbi geológiai horizontok értelmezése történt meg (5. ábra):

- Pre-neogén aljzat teteje
- „Alsó-miocén” képződmények teteje (terresztrikus miocén összlet)
- Középső-miocén tengeri képződmények teteje
- Endródi Formáció
- Algyői Formáció



5. ábra A kutatási terület képződményeinek időrégtegtani diagramja

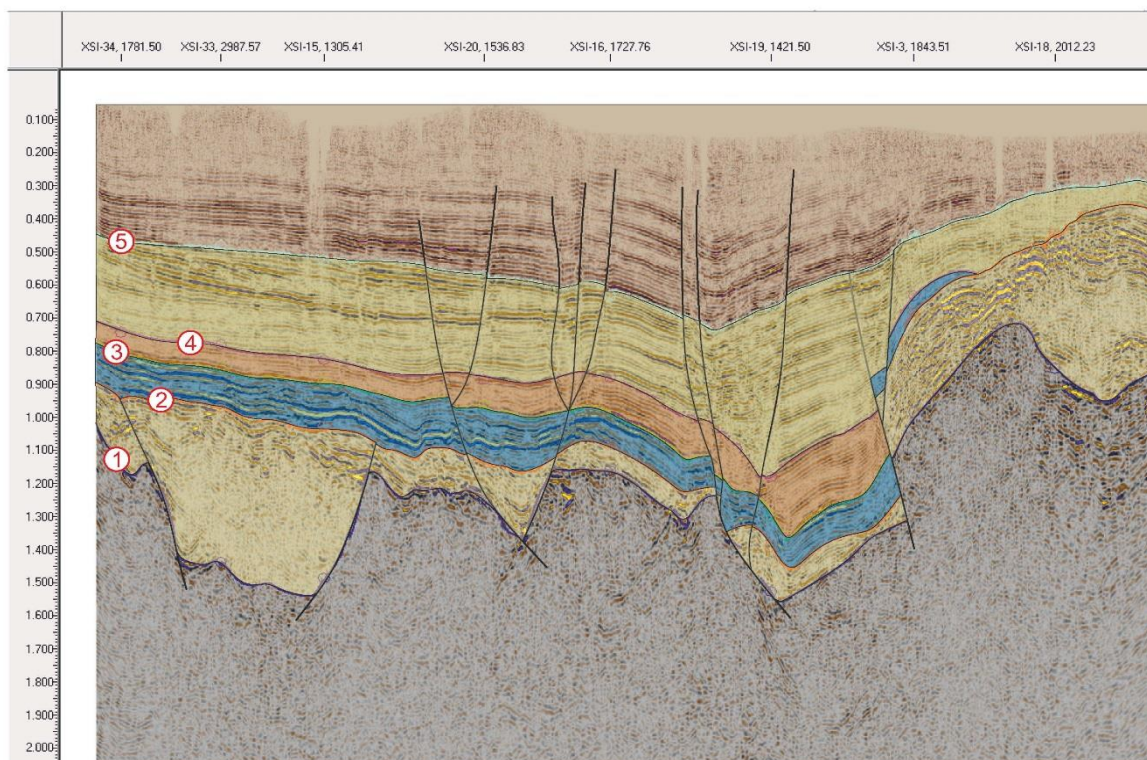
A számozott (1-5) piros vonalak a regio-nálisan térképezett horizontok időrétegtani helyzetét adják meg. Jelkulcs: 1 = alsó miocén tavi-folyóvízi képződ-mények; 2 = alsó miocén abrázios képződmények; 3 = alsó miocén szubvulkáni amfibolandezit, amely riolit- és riodácit ártufa képződményekkel fogazódik össze; 4 = középső miocén tengerparti szenes-márgás képződmények és biogén mészkövek, amelyek nyíltvízi aleurolitos-márgás és agyagmárga képződményekkel fogazódnak össze; 5 = középső miocén brakkvízi biogén mészkő és homokos agyagmárga, mészmárga; 6 = felső miocén ("alsó pannon") tavi medenceperemi márga és nyíltvízi agyagmárga-mészmárga; 7 = felső miocén ("alsó pannon") tavi progradáló és aggradáló selflejtő képződmények; 8 = felső miocén ("felső pannon") medenceperemi és mocsári agyagmárga, homok, lignit rétegek; 9 = felső miocén Keceli Bazalt Formáció; 10 = felső miocén-pliocén ("felső pannon") delta és alluviális síkságon képződött agyagmárga, aleurolit és homokkő rétegek ciklikus váltakozásából álló összlet; 11 = Negyedidőszaki lösz-paleotalaj sorozat (Paksi Formáció) és alatta lévő vörös agyag (Tengelici Formáció); 12 = Felső pleisztocén- holocén folyóvízi homok és kavicsos homok; 13 = Permo-mezozoos képződmények; 14 = Paleozoos kristályos kőzetek.

Ezek a képződményhatárok egyrészt fejlődéstörténetileg meghatározó unkonformitás felületeket reprezentálnak (például az aljzati képződmények teteje, az alsó-középső miocénhatár, vagy a miocén-pannon határ; 5. ábra), másrésztől kőzetfizikai és hidrogeológiai szempontból jelentősen eltérő képződményeket választanak el egymástól ([378], lásd még 3.1.1 fejezet), így a mélyföldtani térképezés fentebb ismertetett céljait figyelembe véve ezeknek a horizontoknak a szeizmikus értelmezése és térképezése volt a legfontosabb (6. ábra). A térképezett képződményhatároknak a szeizmikus adatrendszeren történő azonosításához és korrelációjához elsőnek az adott képződményhatár azonosítását és korrelációját végezték el a rendelkezésre álló fúrásokban a rétegsorleírások és a geofizikai szelvények felhasználásával. Ez sok esetben a kútkönyvekben szereplő formációhatárok kisebb-nagyobb mértékű revidálását is szükségessé tette. Ezután megvizsgálták az így kialakított és a szeizmikus adatrendszerbe „transzformált” formáció határoknak a szeizmikus fáciesekkel és reflexiókkal való viszonyát és ahol szükséges volt (és a rendelkezésre álló fúrási adatok ezt lehetővé tették és igazolták) a formáció mélységekben további kisebb módosítások történtek.

A szeizmikus értelmezés során fontos szempont volt, hogy a fentiekben definiált rétegtani és unkonformitás felületek minden szeizmikus szelvényen korrelálhatóan kijelölésre kerüljenek. A fúrásoktól távol ez reflexiókövetéssel, szeizmikus fáciesanalízissel illetve korábbi tapasztalatok felhasználásával történt. Bár a szeizmikus szelvényanyag minőségét összességében jónak ítélték, önmagában sem a 2D szelvények, de még a 3D adattömb sem nyújtotta azt a biztonságot, hogy ez vitathatatlanul elvégezhető legyen minden részterületen, főleg a tektonikailag tagolt aljzat tekintetében (6. ábra).

Az aljzat unkonformitás (1) világos megjelenítését gyakran a 2D, de még az új 3D-s anyag sem nyújtja egyértelműen, nagyrészt földtani okok miatt. Nevezetesen az aljzat felett települő vastag autigén breccsa, konglomerátum és törmelékes vulkáni anyag egyrésztől szórja (diffrakciós hullámok formájában) az energiát, másrésztől az aljzathoz közeli sebessége miatt nem alakul ki markáns akusztikus impedancia kontraszt. Ezért az aljzatmorfológia kijelölése során az értelmezés messzemenően támaszkodott a gravitációs anomáliákra, miszerint pozitív anomáliák aljzati kiemelkedéseket, negatív anomáliák aljzati depressziókat jeleznek.

Az (2) jelű unkonformitás az alsó miocén (M1) törmelékes kőzetek felső határát jelöli ki, de magába foglalja a szeizmikusan nem elkülöníthető kárpáti vulkanoklasztitokat is, míg a (3) jelű unkonformitás a Pannon-medence legmarkánsabb diszkordanciája a pannon tavi üledékek bázisánál (5. ábra). Ez utóbbi egyértelmű kijelölése a szeizmikus adatrendszeren nem ütközött nehézségekbe (6. ábra).



6. ábra Az XSi-13 jelű mintaszelvény értelmezett változata

A (4) jelű réteghatár a korai Pannon-tó nagy részén képződött, viszonylag monoton mész- és agyagmarga összlet tetejét jelöli (5. ábra, Endrödi Formáció). Vastagsága maximum 2-400 méter, de az aljzatmagaslatokról akár hiányozhat is, amint azt a mintaszelvény jobb széle mutatja (6. ábra). Pontos kijelölése általában nem könnyű, kivéve ott ahol fúrési rétegsor és karotázs görbék állnak rendelkezésre.

Az (5) jelű réteghatár a progradáló Algyői Formáció tetején halad és a selfsíkság képződményeit választja el a lejtőn lerakódott üledékektől. Felismerése nem okoz nehézséget a Pannon-medence olyan területein, ahol jelentős vertikális kiterjedésű selflejtő alakult ki az egykori mélységi viszonyok miatt, és a dőlésirányú szeizmikus szelvényen jól látszódik a szigmoid reflexiós mintázat. Ilyen helyzet látható a mintaszelvény bal oldalán (6. ábra), de délies irányba haladva, az árokban és a magaslat felett nincs könnyen megfejtendő információ a szelvényen a progradáló sorozat tetejéről.

A szeizmikus értelmezésekből előállt kétutas futási idő (TWT, two-way travel time) adatrendszereket interpoláció segítségével alakították 200 m rácsfelbontású (grid) időhorizontokká. Az egységes numerikus felületté való alakítás elengedhetetlen fontosságú a térképi megjelenítés, a különféle matematikai műveletek (pl. vastagság számítás, mélységkonverzió) és a numerikus modellépítés szempontjából. Az interpolációhoz a Geovariances cég Isatis szoftvercsomagját használták, gridelési eljárásnak pedig krigelést választva (simple kriging, illetve external drift kriging (KED), horizonttól függően), amely a variogram modellen keresztül az interpoláció során figyelembe veszi az interpolálandó adatrendszer térbeli jellegzetességeit (pl. a tektonikai folyamatok hatására kialakuló irányítottságot). Az egyes horizontokra alkalmazott krigelési eljárások részleteit és előnyeit [378] jelentése részletezi.

Vetőértelmezések a 2D és 3D szeizmikus adatrendszeren

A térképezett földtani határfelületeket elmetsző releváns vetőrendszerek térképezését szintén az IHS Kingdom szoftver felhasználásával végezték. Ennek során a terület meghatározó szerepű, jelentősebb vetőrendszereinek azonosítására és korrelációjára került sor, ami alapvetően két tényezővel van közvetlen összefüggésben:

- egyrészt a terület átfogó szerkezeti képének megalkotásához nyilván a meghatározó jelentőségű, jelentősebb távolságra is viszonylag megbízhatóan korrelálható szerkezeti elemek azonosítását és térképezését kellett elvégezni
- másrészt mélyföldtani térképezés és a 3D földtani modell létrehozásának egyik fő célja a projekt keretében elvégzendő numerikus modellszámítások megalapozása/kiszolgálása volt, ami ugyancsak megkövetelte a főbb vetőkre történő fókuszálást, illetve a tényleges szerkezeti kép bizonyos fokú egyszerűsítését a modellszámítások ésszerű elvégezhetősége érdekében

A vetődés tényét a szeizmikus szelvényeken a reflexiók folyamatosságának megszakadása, és/vagy markáns meghajlása jelzi egy szűkebb sávban (6. ábra), amelyekben a reflexiók kép is gyakorta „zavarosabbá” válik. A szeizmikus szelvényeken a vetők gyakran nem egyetlen, határozott „vonalszerű” felületként jelennek meg, hanem egy szélesebb, több egyedi vetőt is magába foglaló vetőzóna figyelhető meg, bonyolult és csapás mentén változó belső geometriai viszonyokkal. Ilyen esetekben a legmarkánsabb, meghatározó jellegű peremvető(k) kerültek kiválasztásra, míg a kisebb jelentőségű, csak rövid távolságra követhető (< 1 – 2 km), hamar elhaló/átlépő vetőágak nem képezték a regionális vetőértelmezés tárgyát.

A kutatási terület „magját” alkotó, az erőmű szűkebb környezetével közel identikus Paks 3D adattömb területén a vetőértelmezésre általában 20x20-as, inline/crossline hálózat (kb. 500 m-es lépésköz) alkalmazásával került sor. Helyenként egy-egy kisebb jelentőségű vető megbízható térképezése ennél sűrűbb hálózat használatát is szükségessé tette. A 3D adattömbön belül a pannon sorozatot érintő, illetve a neotektonikai jelentőségű kis mélységeig felfutó vetőstruktúrák térképi meghatározásához a kiválasztott időhorizontokra elkészített koherencia-metszetek is felhasználásra kerültek, amelyek igen hasznosak voltak a meghatározó vetők lefutásának ellenőrzésében illetve az adott horizontot érintő vetőrendszerek vetőpoligonjainak megszerkesztésében.

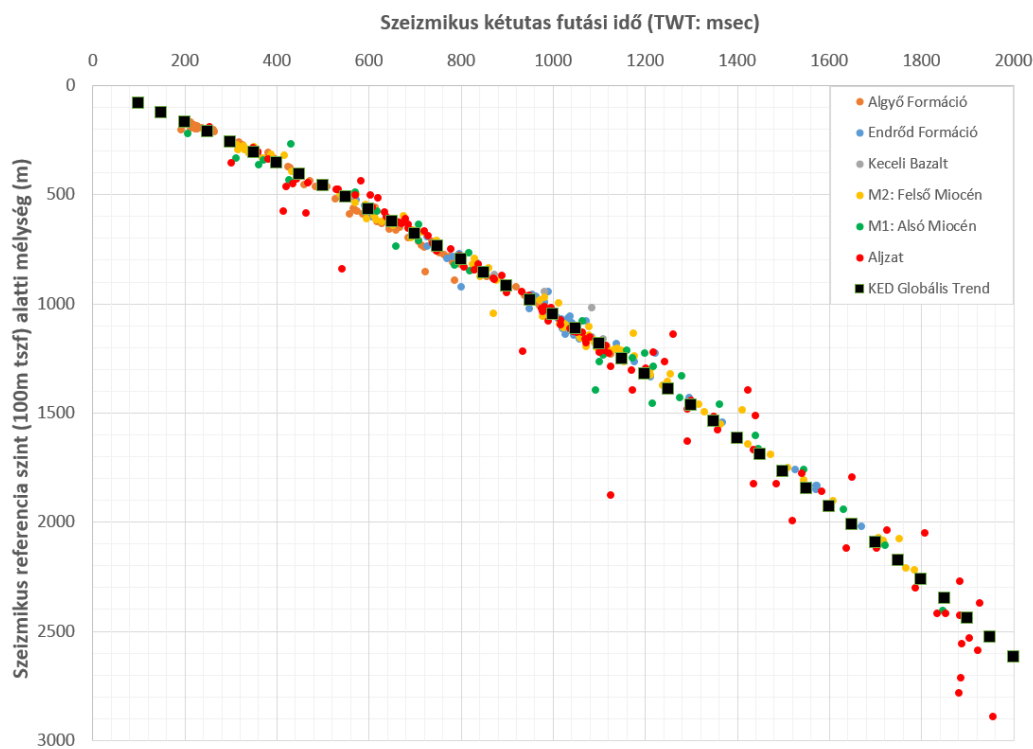
Az értelmezett vetők csapás menti korrelációja az adott vetőre jellemzőnek tekintett szerkezeti kép azonosítása alapján történt. A korreláció a szelvényhálón folyamatosan egy irányba haladva a vető csapása mentén olyan hosszban történt meg, amíg az egymást követő szelvényeken az adott vetőre jellemző deformációs kép kellő biztonsággal felismerhető és azonosítható volt. A kialakuló elsődleges térképi vetőkép alapján helyenként az első lépcsőben nem korrelált, de csapás és szerkezeti jelleg alapján „jól illeszkedő” vetőszegmensek később kerültek egymással egyesítésre szerkezetföldtani megfontolások alapján. A főbb vetők korrelációja a 3D szeizmikus adattömbben nem jelentett problémát, de „ritkás” 2D szelvényháló esetében egy-egy vető korrelációja már lényegesen bizonytalanabb. Ezekben az esetekben a szeizmikus szelvényeken megfigyelhető jellegzetességeken túl a Bouguer-anómália térkép, illetve a terület szerkezeti jellegzetességeiről különböző térképek, szelvények, tanulmányok formájában rendelkezésre álló földtani „tudásbázis” is beépült a vetőmodellekbe (részletekért lásd [168], 70 p.).

Az időtérképek mélységkonverziója

A mélységkonverzió a szeizmikus időhorizontok valós mélységgé történő konvertálásának a folyamata. Legegyszerűbb esetben egyetlen, a területre jellemző szeizmikus mélység-idő összefüggés felhasználásával történik a mélységkonverzió az összes értelmezett időhorizontra. A megfelelő sebességfüggvény kiválasztása ilyen esetben kritikus, hiszen téves sebességfüggvény használata esetén a végső mélységtérképek jelentős eltérést mutathatnak a fúrásokban meghatározott mélységekhez képest.

Regionális szeizmikus térképezések során a laterálisan jelentősen változó szeizmikus átlagsebességek miatt nem lehetséges a sebességtérnek egyetlen mélység-idő összefüggéssel történő leírása, mert ilyen esetekben mindig lesznek olyan fúrások ahol a mélységmodell és a fúrásokban észlelt valódi mélységek jelentősen eltérnek egymástól. Ez a FKP céljait figyelembe véve elfogadhatatlan lett volna, hiszen az itt készített mélységtérképeket egyben a projekt későbbi fázisaiban végrehajtott szeizmotektonikai, geodinamikai és hidrogeológiai modellezések is felhasználták, ahol fontos volt a fúrások kalibráció.

A mélységfelületek megalkotásához ezért a kutatás elején beszerzett nagyszámú mélyfúrási adat felhasználásával egy fejlett, geostatistikai alapokon nyugvó, többváltozós mélységkonverziós eljárás került alkalmazásra, amely sokkal pontosabb mélységkonverziót tett lehetővé. Az eljáráshoz az aljzat időgridelése során is alkalmazott, [378] jelentésében részletebben bemutatott KED (external drift kriging) eljárás került felhasználásra. Elsődleges („ritka”) paraméter az adott formációnak a fúrásokban észlelt, szeizmikus referencia szintre vonatkozó vertikális mélysége, míg a másodlagos („sűrű”) paraméter a szeizmikus térképezés során készített TWT időtérképnek egy transzformált változata volt.



7. ábra A térképezett képződmények valódi mélységének és a szeizmikus értelmezésből származtatott szeizmikus TWT idők kapcsolata a mélységkonverzióhoz használt fúrásokban

A KED mélységkonverzióhoz használt külső trendfüggvényt fekete négyzetek jelölik.

Természetesen ahhoz, hogy ez az eljárás nagy pontossággal működjön, szoros korrelációnak kell fennállnia a fúrásokban észlelt valódi mélységek (TVD) és a fúrások helyén értelmezett szeizmikus mélységek (TWT) között. Mint látható a 7. ábra ez a korreláció a paksi fúrási adatrendszerre a megfelelően kalibrált szeizmikus szelvények és pontosan végzett szeizmikus értelmezés következtében kiváló.

A TWT térkép direkt trendfüggvényként való használatával szemben sokkal pontosabb mélységértékek interpolálhatók a fúrási kontrollpontoktól távol, ha a mélység-idő adatrendszerben fennálló, mélységgel változó „görbült” trendet (7. ábra) eltávolítjuk az adatrendszerből, és azt használjuk külső driftként. Ehhez egy illesztéssel számított és az alábbi képlettel leírt, az ábrán fekete négyzetekkel jelölt konverzió került alkalmazásra:

$$TVD_{drift} = 0.00026 * TWT^2 + 0.79 * TWT$$

A fent leírt KED eljárással végzett mélységkonverzió során a fúrási kontrollpontoktól távol a szeizmikus időhorizontok gyakorlatilag a fenti képlet szerint konvertálódnak mélységgé, a fúrási pontok közelében azonban a reziduálokra illesztett variogram modell szerinti statisztikus korrekció biztosította, hogy a fúrási pontokban az interpolált mélységek és a valódi mélységek megegyezzenek.

3D numerikus vetőfelületek kialakítása

A vetőértelmezés során létrejött egyedi vetőszegmensek kétutas időben rendelkezésre álló adatrendszerét (ún. fault sticks X, Y, TWT formátumban) először mélységi adatrendszerre kellett átalakítani, hogy a mélységben definiált 3D vetőmodellek kialakíthatók legyenek. Mivel vetőrendszerek esetében a mélységkonverziót nem csak egy adott geológiai határfelület mentén, hanem tetszőleges X, Y, TWT adatrendszeren kellett elvégezni ezért a szeizmikus horizontok esetében alkalmazott mélységkonverziós eljárást [378] nem lehetett alkalmazni. A mélységkonverzióhoz ezért elsőnek egy TWT idő-domain-ben értelmezett 3D átlagsebességtér készült (2500 ms mélyséig), amely a kutatási terület minden X, Y, TWT pontjában megadja a valós mélységbe való konvertáláshoz szükséges átlagsebességet. Ez a sebességtér geostatistikus alapokon nyugvó 3D interpolációs eljárással készült a szeizmikus idő és (fúrásokkal korrigált) mélységhorizontok, valamint a projekt keretében mért VSP sebességadatok bemenetként történő felhasználásával.

A mélységkonverzió ezek után a fault stick adott pontjában érvényes, 3D-ben változó átlagsebesség felhasználásával történt, amelynek eredményeként az egyes vetők mélységkonvertált értelmezései a térben valós tengersizint alatti mélységben álltak rendelkezésre. Az egyazon vetőhöz tartozó, más-más szeizmikus szelvényeken értelmezett fault stick-eket 3D-ben kerültek megjelenítésre, és megvizsgálták az egyes vetők geometriai jellegeit. Ennek eredményeként, ahol szükséges volt, a vonatkozó szeizmikus szelvénye(ke)n módosult az eredeti értelmezés. A megismételt mélységkonverzió után újra ellenőrzésre került a kapott geometria. Az így előállt, véglegesített és a szeizmikus szelvényekkel messzemenően koherens 3D fault stick adatrendszer képezte a 3D numerikus vetőfelületek vázát, amelyre háromszögelt felületek (triangulated surface) illesztésével készült el az adott vető numerikus vetőmodellje. Ezen elsődleges vetőfelületek szerkezetföldtani szempontokat figyelembe vevő minőségi ellenőrzése több esetben a fent ismertetett munkafolyamat többszöri lefuttatását tette szükségessé.

Az így előállt, elsődleges vetőfelületrendszer természetesen még nem képviselt végleges, szerkezetföldtanilag is konzisztens 3D adatrendszert, hiszen az egyes vetők

egymáshoz való kapcsolódása/illeszkedése ebben a stádiumban még javarészt megoldatlan volt. Ezért a következő lépésben minden egymáshoz közvetlenül kapcsolódó vetőpár esetében meg kellett határozni az illeszkedés módját (elsőrendű vs. másodrendű vető kérdése, melyik vető melyikhez csatlakozik és milyen módon). Azokban az esetekben, ahol ez a viszony nem volt meghatározható a rendelkezésre álló szeizmikus adatrendszerből, ott a kialakult vetőkép főbb geometriai jellegzetességeinek figyelembevételével, továbbá a regionális szerkezeti képpel való kompatibilitásra törekedve foglaltak állást az általános szerkezetföldtani megfontolások és a korábbi tektonikai modellek messzemenő figyelembe vételével/integrálásával. A 3D modellben megjelenő szerkezeti/geometriai kép alapján helyenként olyan, egymáshoz csapásirányban közel eső vetők korrelációját is elvégezték, amelyek összetartozása a szeizmikus anyag alapján közvetlenül nem volt megállapítható, de a 3D modell kialakítása során mégis ésszerűnek tűnt.

Az így kialakított, immár szerkezetföldtanilag/geometriailag és földtanilag is konzisztens 3D vetőrendszerben az egyes vetők lefelé olyan mélységig terjedtek, ameddig a szeizmikus szelvényeken meghatározhatóak voltak. Ez az esetek nagy többségében max. 2–2,5 km-es, vagy ennél sekélyebb mélységet jelentett. Ugyanakkor a vízföldtani modellezés alsó határa 3,5 km mélységben került meghatározásra. Ebből adódóan a kialakított vetőmodellt is ki kellett terjeszteni lefelé az említett mélységig. A vetők mélységi kiterjesztése során általában az adott vető ismert, felső szakaszán észlelt dőlésszög alkalmazásával történt.

A 3D numerikus vetőmodellezés során összesen 41 vetőfelület megépítésére került sor, amelyek mindegyike egyedi azonosítót kapott. A vetőmodelleket és a vetőrendszerek szerkezeti analízisének eredményei a 3.1.1. fejezetben kerülnek részletes tárgyalásra.

Az aljzatgeológiai térkép pontosítása

Az alaphegységről nyert újabb ismeretek alapján került megszerkesztésre a terület pre-kainozoos térképe. A térkép alapja Haas [122] kainozoos képződmények elhagyásával készült fedetlen földtani térképe, amelyet – a vizsgált területen belül – a kutatás során nyert szeizmikus és mélyfűrési adatok figyelembevételével módosítottak.

Negyedidőszak talp térkép

A negyedidőszaki talp (és Tengelici F. talp) térkép készítése során 1329 db átértékelt fúrás került alapadatként felhasználásra. A fűrési adatokon kívül beépítésre került az adathiányos területen mérődött 187 archív VESZ mérés inverziója kifejezetten a negyedidőszaki képződmények talpára összpontosítva, továbbá a projekt keretein belül fúrásban és geofizikai szelvényeken térképezett Tengelici F. és pannon észlelések adatai is fel lettek használva. A pannon felszíni kibúvásainak esetében a negyedidőszaki talp Z koordinátája megegyezik a feltárás tengerszint feletti magasságával.

A vastagságok és szerkezeti helyzetek becslése részben a RockWorks 3D geológiai modellező rendszer, részben a WinGSLIB geostatistikai rendszer alkalmazásával történt, a szerkesztés során a fő becslési algoritmusok a célszerűen megválasztott adat-előkészítés eredményét használták fel. Az adat-előkészítés során részben a területileg egyenetlen adateloszlásnak, részben az adatok térbeli csoportosulásának a becslésekre gyakorolt negatív hatásait kívánták ellensúlyozni. Az egyenetlen adateloszlás az egymástól helyenként nagyon távoli adatpontokban nyilvánult meg. Ennek torzító hatását a vizsgált térrész Delaunay-

háromszögekkel való besűrítésével csökkentettük [283]. A háromszög hálózat elemeinek középpontjait használtuk fel a térrész virtuális besűrítésére.

A vastagság és szerkezeti helyzet felületei grid alapon jöttek létre. A grid becslésében ún. „Hibrid gridding” megközelítést alkalmazására került sor, amely két vagy több interpolációs eljárás súlyozott együttes alkalmazását jelenti. Ekkor a kérdéses tulajdonság gridje minden, a hibrid eljárásba választott interpolációs eljárással előáll. Így minden grid pontban pontosan annyi becslött érték van, mint ahány algoritmus szerinti számítás készült. A végső eredményben a grid pontokhoz az algoritmusok becsléseinek, a megadott súlyokkal számolt súlyozott átlaga kerül hozzárendelésre [283].

Jelen feldolgozásban a hibrid eljárás az IDW (távolsággal súlyozott lineáris becslés) és trend modell alkalmazásával végzett krigelés (1:2) súlyozási arányú becslése volt. Az IDW eljárásban alkalmazott hatvány minden esetben 2 volt. A trend modell alkalmazásával végzett krigelésben elsőként egy magas fokszámú polinomiális trend illesztett az adatpontokra majd minden egyes adatpontban meghatározták a trend reziduumát. Ezt követően a krigelés (és az IDW) eljárás a reziduumokra történt. A végső grid a reziduális és a polinomiális grid összegeként állt elő. A kriging során alkalmazott variogram modellben a röghatás értékét minden esetben a teljes szórás 20 %-nál nem nagyobb értéként lett definiálva, hogy a felületek túlzott mesterséges simítását el lehessen kerülni [65].

A vastagság adatok becslésekor hibrid eljárásban alkalmazott mindkét interpolációs megközelítést az adatok logaritmusára alkalmazták, ha az adat-értékekben legalább két nagyságrend jelentkezett. Mind az IDW, mind a kriging ún. egzakt interpoláció. Ez azt jelenti, hogy ezek az eljárások a grid pontokkal megegyező adatponti értékeket a becslés során nem változtatják meg. A grid pontokkal nem egyező helyű adatpontok esetében a becslési hiba minimalizálását egy speciális hibacsökkentő rekurzív algoritmus biztosította. Ennek során a becslött és valódi adatértékek közötti különbségből egy ún. hiba-grid készült. Ezt minden egyes rekurzív lépésben hozzáadták a korábbi lépésben becslött felülethez. Ennek hatására a rekurzív lépések számának növelésével a becslési hiba a 0 értékhez konvergált minden egyes grid pontban.

Az adatpontok csoportosulása azt eredményezi, hogy a csoportok egymáshoz közeli adat értékei „elnyomják” a csoportokon kívüli adatponti értékeket. Ez a tény erősen befolyásolja mind a laterális becslések, mind a gyakorisági hisztogramok eredményét. Az ilyen hatás csökkentésére szolgálnak a különböző csoportbontó algoritmusok. Jelen feldolgozásban egy cella-alapú csoportbontó eljárás alkalmazására került sor, amely az egymáshoz közeli adatpontokhoz kisebb, a „magányos” adatpontokhoz nagyobb súlyt rendel [64] [91].

Az elkészült felület ellenőrzésére adatponti visszabecslést alkalmaztak mely eredménye során az 1329 pontból 1173 esetében kevesebb, mint fél méteres hibát kaptak, ami kimondottan jó egyezést jelent. Az eljárás során kapott maximális hiba is minden esetben kisebb, mint 10 méter, közel ekkor hibával rendelkező adatok között is csak 17 adatpontot találunk az 1329-ből.

A Tengelici Formáció „foltos” megjelenésű a vizsgált területen. A „foltok” kiterjedésének mérésére az ún. indikátor kriging nevű valószínűségi alapú technikát alkalmazták. Ennek során, a területen vizsgált összes fúrást egy igen/nem típusú (indikátor vagy Bool-típusú) változóval jellemezték, ahol az igen (1) jelentette a Tengelici Formáció jelenlétét, a nem (0) pedig annak hiányát. Az indikátor krigelés a grid pontokban

valószínűségeloszlást generál [66]. Jelen esetben a „formáció megvan” és a „formáció hiányzik” változók valószínűségeloszlása minden egyes grid pontban megadja annak valószínűségét, hogy a vizsgált képződmény a grid pontban megjelenik e. A feldolgozásban egy grid pontban a Tengelici Formációt jelenlevőnek tekintettük, ha a megjelenés valószínűsége legalább 0,4 volt.

2.1.2.4 Geomorfológiai vizsgálatok a neotektonikai események kutatásához

2.1.2.4.1 Fotogeológia, távérzékelés

A nagy méretarányú (1:10.000 – 1:25.000-es) földtani felvételezés jól bejáratott módszerei között ott szerepel a fotogeológia. Különösen érvényes a fiatal, negyedidőszaki képződmények kutatására, amik a hegyvidéken elfedik az idősebb képződményeket, a telephely tágabb környezetében azonban elenyésző a náluk idősebb képződmények felszínre bukkanása.

A program számára hozzáférhető, a kívánt műszaki követelményeket kielégítő alanyanyagot az előzetesen elkészített repülés digitálisan rögzített felvételei teljes mértékben biztosították. A felszíni képződményekre előírt részletes, 1:10.000 – 1:25.000-es felvételi térképezési méretarány megszabta és korlátozta az FKP számára alkalmas távérzékelési módszerek választékát, a minimális idő- és anyagi ráfordítással kiépíthető eszközparkot, és a megfelelően kiképzett szakemberek körét.

Ebben a méretarány tartományban a korszerű távérzékelési kutatásoknak nagyon korlátozott a felhasználási lehetősége. Megoldatlan problémát jelent ugyanis az alapkőzet-mállott kőzet-talaj-növénytakaró spektrális karakterisztikákat befolyásoló hatásainak szétválasztása, ahol a földtani információkat hordozó jeleket többszörösen meghaladják a rájuk települő egyéb övezetek zajai.

A spektrális hullámsávokban mérő, képalkotó, távérzékelési eszközök térbeli vizsgálata költséges feldolgozó és megjelenítő eszközparkot, (pl. kész lidar alapú terepmodellt, vagy topográfiai térképekből előállított részletes terepmodellt) igényel, amíg a felhasznált légifénykép anyag térbelileg, közvetlenül szemlélhető egyszerű tükrös sztereoszkóp segítségével. Ugyanez érvényes a valódi színek észlelésére, amik a kiértékelő számára az egyik legfontosabb interpretációs bélyeget jelentik. A spektrális hullámsávok megfelelően feldolgozott és kombinált kompozitjaiból hasonló megjelenésű képek állíthatók elő. Előfeldolgozásuk kiforrott módszertanon alapul, de előkészítésük bonyolult képfeldolgozási és megjelenítési folyamatokat igényel.

A 2014-es légi repülés során egyidejűleg rögzítették a terep infravörös tartományban kibocsátott sugárzását. Ez a hullámtartomány a felszín hideg-meleg tulajdonságait rögzíti. Az emberi szem számára láthatatlan sugárzási intervallumban a növényzet visszavert sugárzása az élő vegetáció vitalitásával párhuzamosan növekszik, míg a vegetáció mentes területeken a felszín közeli rétegek víztartalmával és a felszínhez közeli talajvíztükör magasabb helyzetével arányosan lecsökken. Az intenzitás különbségek ún. színes infra felvételeken (CIR) jeleníthetők meg, és a fentiek értelmében az egyenértékű topográfiai pontosság mellett a képek a valódi színeknél megszokottaktól teljesen eltérő módon jelennek meg. Ezt az eltérő sajátosságot kihasználva az előzetes földtani térkép egyes helyein a képződményhatárok pontosítására, kisebb részben az uralkodó mechanikai összetétel megbecslésére lehetett alkalmazni. A tágabb területnek a Duna allúviumára készített geomorfológiai térkép teljes egészében e színes infra képek ortofotóinak értelmezésén alapult.

A 2013-ban kivitelezett repülés levezetett termékei között jelentős szerepet kaptak a különböző méretarányban elkészített valódi és hamis színes (színes infra) ortofotók. A kivitelező Eurosense Kft. műszaki leírásban közölt raszter pontosság értékei az alábbiak:

„A digitális ortofotóktól elvárt paraméterek: 0,5 m terepi felbontás, $\pm 1,0$ m pontosság (középhiba).” Ennek jelentős kihatásai voltak a légifényképek tematikus kiértékeléseinek pontosságára. Egyrészt topográfiai pontosságuk eléri a geokódolt 1:10.000-es topográfiai térképek pontosságát, így friss beltartalmuk miatt teljesen átveszik a szerepét a nyomtatott térképek 25–30 éves, így gyakran elavult sík- és vízrajzának. Ezzel a terepi mozgások során a szükséges álláspont meghatározások pontossága jelentősen megnövekedett.

Másrészt a méter alatti pontosság megnövelte a téradatbázisba bekerülő tematikus kiértékelések pontosságát. Az előzetes földtani térkép korábban leírt feldolgozási folyamata az interpretációs fedvények digitalizálása során minden nehézség nélkül tudott bármennyi illoesztópontot azonosítani, hiszen az ortofotó vizuálisan csupán a kivett parallaxisban tért el az eredeti felvételtől. Azoknál a kiértékeléseknél, amik közvetlenül az ortofotókon történtek, a geokódolás folyamata teljesen kimaradt. Ezek közé tartozik a tízezres, színhelyes ortofotókon készült terepfedettségi térképe, és részben a földtani veszélyforrások térképe, illetve a huszonezres színes infra (CIR) képekről interpretált Duna ártár geomorfológiai elemeinek kijelölése.

A távérzékelés témakörét érintik továbbá az FKP keretében végzett geodinamikai vizsgálatok, így GPS mérésekből levezetett horizontális elmozdulások vizsgálata, és függőleges kéregmozgások kimutatására szolgáló radar interferometriai kutatások; ezek ismertetése a 2.4.5 fejezetben található meg.

2.1.2.4.2 Geomorfológiai térkép

A FKP [311] a geomorfológiai térképezéssel kapcsolatos elvárásokat a szövegezés 7. oldalán „a terület földtani fejlődése során kialakuló aktuális kép meghatározása” szöveggel, a 17. oldalán látható táblázatban, valamint az 5.2.9. „Geomorfológiai vizsgálatok a neotektonikai események kutatásához” című fejezetben foglalja össze.

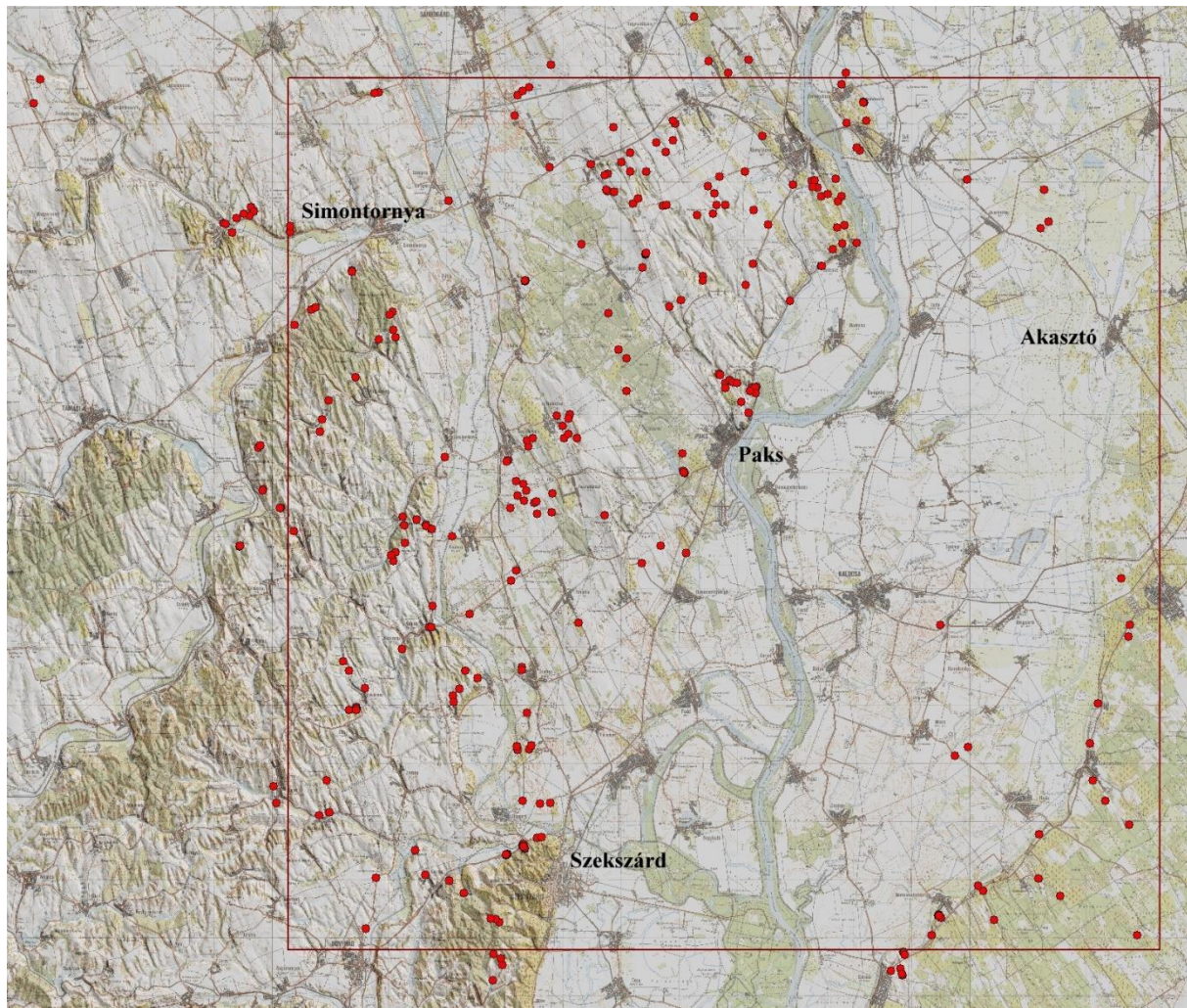
A geomorfológiai vizsgálatok feladata hozzájárulás a geomorfológiai és tektonikai modell pontosításához (vonatkozó előírás: NAÜ SSG-9, 4.14-4.21. ld. FKP 111. old [311]). A térképezés eredményeit 1:50.000 méretarányú térképen jeleníti meg.

A Területi geomorfológiai felmérés terve [28] szerint a geomorfológiai vizsgálatok feladata a jelen geomorfológiai térképezés során nyert, valamint az archív földtani és geofizikai adatok és a geomorfológiai információk egységes, felszínfejlődési és morfológiák szempontú értelmezése, lehetőség szerint a negyedidőszaki függőleges és horizontális irányú mozgások rekonstruálása. Célja a domborzati formák kialakulásának, a terület geomorfológiai fejlődéstörténetének az eddigieknél részletesebb megismerése, a terület neotektonikai viszonyainak, valamint a fiatal felszínformálódásnak a vizsgálata, ezek kapcsolatának tisztázása, hozzájárulás a terület geodinamikai folyamatainak megismeréséhez.

A terepi felvételezés menete

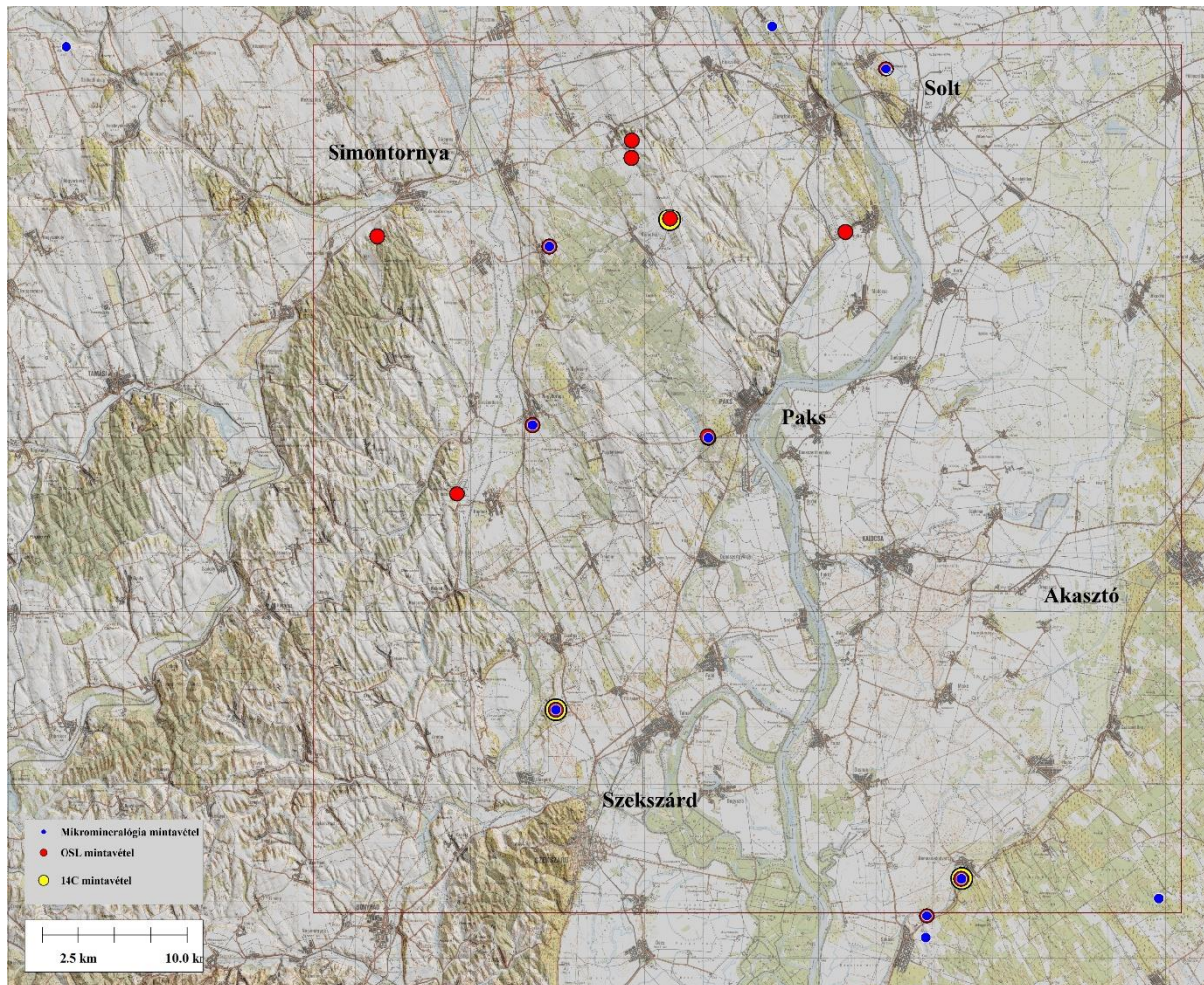
A geomorfológiai és morfológiák terepi felvétel a telephely környezetének tágabb, 3 600 km²-es területén zajlott, Csillag Gábor (MFGI) és Sebe Krisztina végezte. A terepi munkák döntően 2015.10.01. és 2016.01.31. között zajlottak. Ezt az időpontot követően

mintavétel, néhány terepbejárás és terepi konzultáció történt. A felvételezés során dokumentált, összesen 265 db észlelési pontot a 8. ábra mutatja.



8. ábra A geomorfológiai–morfotektonikai felvétel során dokumentált észlelési pontok térképe

A geomorfológiai és morfotektonikai terepi felvétel az üledékek korának és származási helyének meghatározása, illetve egyes felszínformák vagy szerkezeti jelenségek közvetett korolása céljából kiegészült felszíni mintavételezéssel lumineszcens és radiokarbonmérésekhez és mikromineralógiai vizsgálathoz (9. ábra). A kutatási tervben a teljes fúrásos és felszíni kutatáshoz tervezett 25 db lumineszcens (OSL) mintán túl lehetőség nyílt további minták megvételére és elemzésére, így a fiatal képződmények és tektonikai jelenségek korának pontosabb meghatározására. Az MFGI és az ELTE mérési kapacitásait figyelembe véve végül 47 db OSL kormeghatározásra történt mintavétel felszínen, fúrásból (2.1.3.1 fejezet) és árokból (2.1.4 fejezet), ebből a geomorfológiai és morfotektonikai terepi felvétel során 30 darab. A minták elemzése az említett két intézményben zajlott. Ugyancsak a terepi felvétel során történt meg 4 db mintavétel ^{14}C és 15 db mintavétel mikromineralógiai vizsgálatra.

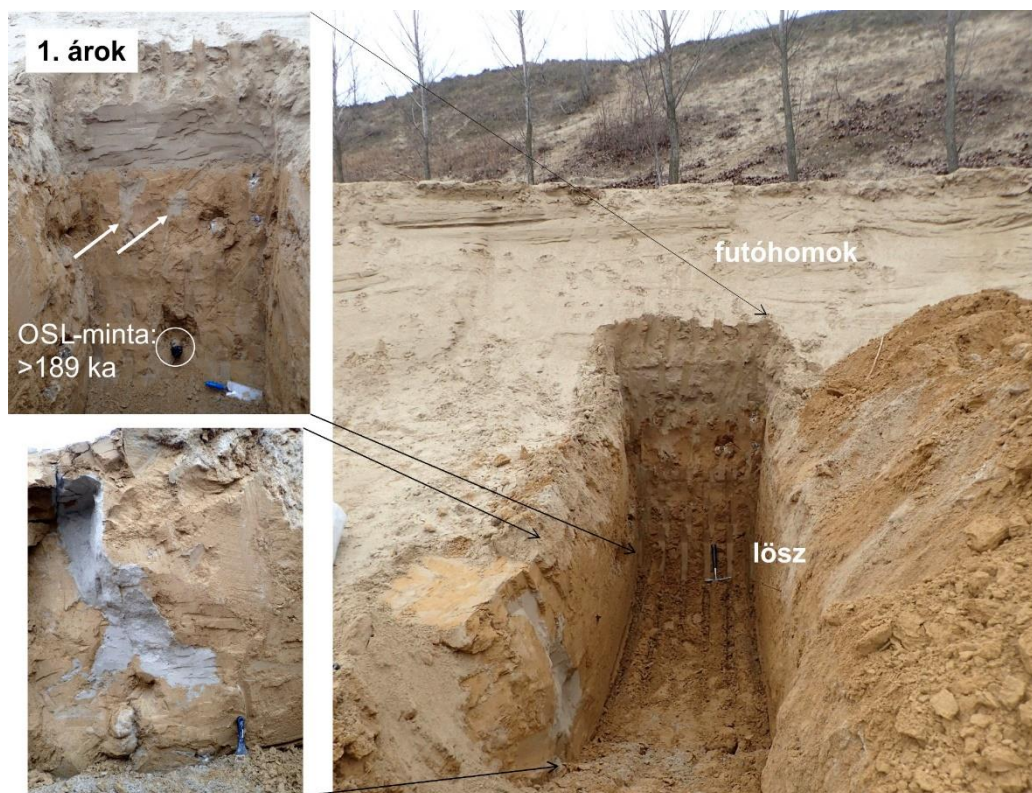


9. ábra A geomorfológiai–morfotektonikai felvétel során történt mintázások

Módszerek

A terepi felvételezés során a hagyományos földtani térképezés eszköztárát használták. Az észlelési pontok bemérése GPS alkalmazásával történt. A terepbejárások a kutatási tervnek megfelelően történtek.

A terepbejárások során az 1:100.000-es földtani térkép, a részletes topográfiai térképek, légifotók és a Google Earth műholdképei alapján geomorfológiai szempontból fontosnak értékelhető pontok vizsgálata zajlott. Ezek részben feltárások, részben felszíni domborzati formák voltak. A meglévő (természetes vagy mesterséges) feltárások vizsgálata mellett kritikus helyszíneken az üledékszerkezetek vizsgálata és mintavétel céljából gépi árkolás is történt (10. ábra). A terepi felvétel során történt meg a geomorfológiai szintek és formák, valamint miocén–kvarter földtani képződmények azonosítása, lehetőség szerinti relatív korolása, települési és szerkezeti helyzetük terepi értékelése, illetve mintavétel abszolút korhatározás és az üledékek származási helyének meghatározása céljából (10. ábra).



10. ábra Árkolás és lumineszcens korhatározásra történő mintavétel a dunaegyházi homokbányában

A geomorfológiai térkép szerkesztése során az archív földtani térképek, fúrás rétegsorok, a projekt keretében mélyült fúrások rétegsorainak adatai, a terepi észlelések egyaránt figyelembe lettek véve. Ugyancsak felhasználásra került a rendelkezésre bocsátott 1:25.000-es méretarányú ortofotó sorozat is. Az emberi beavatkozásokat megelőző állapot kiértékelése során felhasználásra kerültek az 1. katonai felvétel térképei is. A geomorfológiai térkép ArcGIS szoftver használatával készült. A munka során részletkérdések megoldására elsősorban a Rockworks és Global Mapper szoftverek kerültek alkalmazásra.

Adatfeldolgozás, eredmények

A munka eredményeként elkészült a telephely 60x60 km-es környezetének 1:50.000 méretarányú geomorfológiai térképe [51]. A térképhez tartozó magyarázó [52] a felszíni földtani térkép magyarázójának részeként a jelkulcsi elemek magyarázata mellett bemutatja a terület fiatal felszínfejlődését, a jellemző recens felszínformáló folyamatokat, a telephely szempontjából lényeges geomorfológiai veszélyforrásokat. Külön fejezet foglalkozik a morfortektonikai elemzés eredményeivel, a tektonikus mozgások, valamint a geomorfológia és a fiatal üledékek kapcsolatával, a morfortektonikai vizsgálatok segítségével nyomozható neotektonikai eseményekkel. A geomorfológiai térkép az MFGI Földtani Kutatási Főosztályán készült. Külső résztvevőként Sebe Krisztina működött közre a szerkesztés során a térkép vonalművének, jelkulcsának kialakításában.

A geomorfológiai térképhez, a felszínformáló folyamatok vizsgálatához és a morfortektonikai elemzéshez a terepi észlelések és az anyagvizsgálatok mellett további, elsősorban adatfeldolgozáson alapuló geomorfológiai részmunkák zajlottak.

A kutatási tervben előírt erózióveszélyeztetettség-vizsgálatot az MTA CsFK Földrajztudományi Intézetének munkatársai készítették. Az elkészült anyag [196] tartalmazza

az összes 5 métert meghaladó méretű vonalas eróziós formát az 1:10.000-es EOTR topográfiai térképek alapján a Dunától nyugatra fekvő területen. Ezeket a geomorfológiai térkép tartalmazza.

Gábris Gyula a Mecsekérc és a Timó Bt. megbízásából elkészítette a Duna teljes kutatási területre eső árterének geomorfológiai térképét és a térkép magyarázóját [87] [86]. Ennek a térképnek egyes elemei – Gábris Gyulával és a Timó Bt-vel egyeztetve – ábrázolásra kerültek a geomorfológiai térképen.

A geomorfológiai és morfortektonikai vizsgálatokhoz szükséges volt a teljes terület Dunától nyugatra fekvő részének DTM analízise, amit Telbisz Tamás készített el [330]. Az FKP és a kutatási terv által is megkívánt lejtőkategória-térkép ennek keretében készült el a teljes területre a DDM10 alapján. Az elkészült teljes anyagból a geomorfológiai térképre a lejtőnek minősített területeken az 5–15° és 15°< kategóriák kerültek fel. A domborzatmodell-elemzés további eredményei, mint a sávszelvény-, vízhálózat- vagy völgyirány-statisztikai elemzés a morfortektonikai vizsgálatok során hasznosultak, adatokat szolgáltatottak az eltérő vertikális mozgást végző, felboltozódó vagy kibillent területek azonosításához.

A kvarter felszínfejlődési és neotektonikai folyamatok értékelése a geomorfológiai munkarész keretében előállított adatok és a kapcsolódó területeken (geofizika, sekélyfúrások, földtani térképezés stb.) keletkezett eredmények, valamint archív adatok integrált elemzésével történt.

2.1.2.4.3 *Paleogeomorfológia*

A Földtani Kutatási Program (FKP, SOM(R)475/3 Rev.4 [311]) végrehajtása keretében végzett geomorfológiai reambulációs munkák kiegészítéseként további vizsgálatok sora készült el. Ezek a vizsgálatok az FKP által előírt (FKP 5.2.9 fejezet) kívánalmakat szem előtt tartva három nagyobb témakört dolgoznak föl.

Az első témakör a kutatási területen áthaladó Duna folyam emberi történelem során dokumentált változásait rekonstruálja, amivel a terület geomorfológiájának recens változásait segít értelmezni. Második témakör a recens változásokat megelőző – legfiatalabb földtani körülmények által alakított geomorfológiát vizsgálja, kifejezetten a kutatási terület egyes részeinek paleo-horizontjait rekonstruálja. A harmadik témakör vizsgálja azt a lehetőséget, hogy a területen feljegyzett földrengések és a mélységi vizek Cl⁻-koncentrációi milyen mértékben korrelálnak egymással, ill. az eredmények felhasználhatók-e további földtani-kockázatbecslési kérdésekben.

Az alábbiakban mindhárom vizsgálat bemutatása olvasható.

A Duna mederváltozásai és folyószabályozás előtti vízrajza

A munka fő célja az elmúlt évszázadokban történt mederváltozások és folyószabályozási munkák megismerése, a terület ármentesítés előtti mederhálózatának és geomorfológiai adottságainak bemutatása volt, ami a vizsgált terület geomorfológiájának recens változásait segít értelmezni.

A vizsgált terület egy olyan 60×60 km élhosszúságú négyzet alakú területen belül helyezkedik el, amelynek középpontja a tervezett telephely (EOVY = 635110; EOVS =

137264), ezen belül részletesebben a Duna folyam Dunaegyháza és Sükösd közötti (1566-1493 fkm) szakaszának jobb- és bal partját övező mintegy 10-10 km széles sáv.

A vizsgálat során felhasznált anyagok

A Duna medrének változásai a különböző időszakokban készült térképek (első, második és harmadik katonai felmérés, illetve az M=1:10.000 méretarányú EOTR térképlapok) összehasonlító vizsgálatával kerültek elemzésre, továbbá a megelőző időszakokra és az utóbbi évtizedek változásaira nézve egyéb források is felhasználásra kerültek. A mederváltozások rekonstrukciójának tehát több lépcsője volt.

Elsőként a vízrendezési munkálatok előtti Duna meder viszonyainak, elhelyezkedésének vizsgálata történt meg. Ehhez az egész országra kiterjedő, egységes térképi felvételezések voltak alkalmasak, melyek hasonló méretarányuk és térképi tartalmuk miatt felhasználhatóak összehasonlító vizsgálatokra. A 18. és 19. századi történeti állapotokra vonatkozóan a Habsburg Birodalom, majd az Osztrák Magyar Monarchia katonai felméréseinek térképállományai a fenti kívánalmaknak eleget tesznek.

A rekonstrukció második lépcsője a 20. század végi állapotokra a katonai felmérésnél részletesebb, az 1970-es években felvett egységes országos térképrendszer (EOTR) 1:10.000 méretarányú topográfiai térképei alapján készült.

Végül, az elmúlt évtizedek változásainak, ill. a mai állapotok ellenőrzéséhez a Google műholdfelvételei kerültek felhasználásra.

Rekonstrukciós munkák menete

A fenti térképes és egyéb anyagok – ArcMap 10.1 programban történő – feldolgozásával kapott eredmények térinformatikai állományként (shape file) lettek tárolva, melyek a szöveges magyarázó mellékletét képezik. A fenti program mind a raszteres alaptérképeket, mind a származtatott vektoros térinformatikai állományokat egységesen EOVRendszerben és vetületben kezeli. A vetületi rendszer nélküli papír alapú és digitális térképek koordináta helyes felhasználását a Global Mapper 13 programban elvégzett georeferálás tette lehetővé, ahol az ismert koordinátájú helyek szolgáltatott megfelelő illesztő pontokat.

A mederváltozások kutatása során öt vízrajzi-morfológiai szakasz lett meghatározva. Az egyes szakaszok geomorfológia viszonyait, valamint a Duna medrének természetes és emberi hatások eredményeként kialakult változásait a 3. táblázaton látható szakaszok szerint foglalja össze a munka:

3. táblázat A Duna folyam mentén kialakított öt szakasz határai

Szakasz eleje	Szakasz vége	Szakaszhatárok a Duna folyamon (folyamkilométer)
Dunaegyháza	Bölcske	1566-1552 fkm
Bölcske	Paks	1552-1532 fkm
Paks	Gerjen	1532-1515 fkm
Gerjen	Sió torkolat	1515-1497 fkm
Sió torkolat	Sükösd	1497-1493 fkm

A medrek – és benne a szigetek – koordinátahelyes területei és mintázatai a négy vizsgált időszakra nézve lettek rögzítve.

A vízrajz rekonstrukció mellett különös hangsúlyt kapott a – fentiek szerint felosztott – teljes terület geomorfológiai viszonyainak ismertetése. A végső elkészült térkép a jelen állapotokat ábrázolja, de a megelőző időszak medreinek geomorfológiai formáit is feltünteti.

A magyarázó – a mederváltozások okainak taglalása során – mind a természetes mind az antropogén tényezőket bemutatja.

Paleogeomorfológiai értékelés

A munka célja a már ismert paleotalaj szinteknek, mint ebben az esetben egyedül alkalmazható pleisztocén vezetősinteknek a szelvényekben történő azonosítása volt, ezáltal segítve a recens változásokat megelőző – legfiatalabb földtani körülmények által alakított – geomorfológia értelmezését.

A fúrási rétegsorok korábban elkészült dokumentációjának, a nem telephelyi (elsődlegesen a PAET-09 és PAET-12) fúrómagokon végzett újabb vizsgálatoknak, a fúrólukokban végzett karotázs vizsgálatok eredményeinek (kiemelten a mágneses szuszceptibilitás) felhasználásával a fúrások közötti terület mélységi horizontjainak korrelációja volt a feladat, azokban az esetekben, ahol az adatok megbízhatósága és sűrűség ezt lehetővé teszi.

A vizsgálat során felhasznált anyagok és alkalmazott módszerek

A széleskörű vizsgálat során archív adatok felhasználására, az FKP keretében végzett újabb vizsgálatok értékelésére és modern műszeres vizsgálatokra is sor került. Ezeket az alábbi felsorolás foglalja össze:

- Archív adatok: sor került korábbi feltárások, ill. a paksi alapszelvény, mint etalon rétegsor, továbbá a hazai lösz-sztratigráfia jelenlegi ismereteinek felhasználására is.
- Fúrási rétegsorok vizsgálata: Első lépésként az FKP keretében mélyült fúrások szemrevételezése történt meg, majd sorra került a vizsgálatba bevonható fúrások kiválasztása. A kiválasztott fúrások esetében az általánosan elvégzett földtani-tektonikai dokumentáció mellett újabb – a löszkutatásban alkalmazott és jelen vizsgálatokhoz igazított – szemléletű áttekintés is megtörtént. Az elsődlegesen kiválasztott fúrások – elhelyezkedésük és rétegsoruk alapján – a PAET-09 és PAET 12.
- Mintázás: elsősorban paleotalajokból és azok fekü/fedő anyagából történtek mintavételek, ezt kiegészítve optikai lumineszcens kormeghatározás (OSL) céljából is történt mintázás.

Az elvégzett munkák vázlatos bemutatása

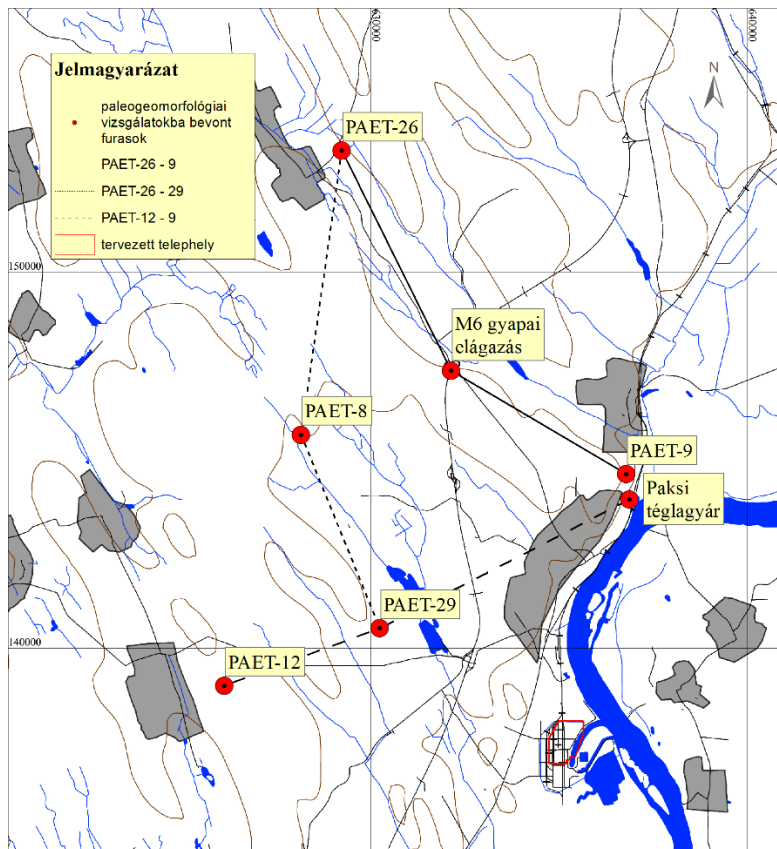
A begyűjtött minták előkészítése után a paleotalaj-vékonycsiszolatok vizsgálatával, ill. a megvett OSL minták elemzésével a dokumentálások során észlelt horizontok azonosítása történt meg.

Megtörtént a fúrások párhuzamosítása egymással és a paksi téglagyári feltárás rétegsorával. Ezek a mágneses szuszceptibilitás görbék és a leírások alapján történtek. Ezt követte a párhuzamosítás eredményeinek értelmezése.

A fúrásleírások összegzése, táblázatok elkészítése: dokumentációs táblázatok készítése a löszkutatásban alkalmazott és jelen vizsgálatokhoz igazított protokoll, illetve a fúrási rétegsorok korábban elkészült dokumentációinak alapján.

Ennek eredményeként előállt a vizsgált terület paleo-horizontjainak rekonstrukciója.

A térbeli kiterjeszhetőség érdekében további fúrások vizsgálata a PAET-09 és PAET-12-hez hasonló módon. A vizsgált fúrások a következők: PAET-03, PAET-08, PAET-26, PAET 29, PAET-34. A vizsgálatba ténylegesen bekerülő fúrásokat és feltárásokat a 11. ábra mutatja.



11. ábra A paleogeomorfológiai vizsgálatba bevont fúrások és feltárások elhelyezkedése, valamint a felvett szelvények lefutása

Az alaptérkép szolgáltatója: © HM Zrínyi Nonprofit Kft. 2015.

Az eredmények paleogeomorfológiai értelmezése, ill. az eredmények bemutatása mellett további kutatási lehetőségek ismertetése zárja a munkát.

Vizek klorid tartalmának változása a jelenkori földrengések vizsgálata szempontjából

A vizsgálat annak lehetőségét állapítja meg, hogy az emberi történelem során dokumentált/feljegyzett földrengések és a mélységi vizekben mérhető, helyenként kiemelkedő Cl⁻-koncentrációk milyen mértékű térbeli korrelációt mutatnak egymással. Továbbá az eredmények fényében az ilyen pozitív Cl⁻-koncentráció anomáliák felhasználhatók-e eddig nem ismert múltbéli epicentrumok indikációjára, ezáltal eddig nem ismert kockázatok feltárására.

A munka magában foglalja a tervezett telephely (EOVY= 635110; EOVS= 137264) középponttal meghatározott 60×60 km élhosszúságú területre vonatkozóan a rendelkezésre álló archív, ill. az FKP keretében nyert új elemzési adatokból származtatott Cl⁻ – koncentráció térképnek és az eredményeket bemutató szöveges állománynak az elkészítését.

Fő cél a területre vonatkozó legújabb mélyszerkezeti ismeretek, ill. az összegyűjtött és feldolgozott Cl⁻ -koncentrációk térinformatikai rendszerben történő együttes értelmezése, szintézisbe helyezve az emberi történelemben észlelt (és kipattanási helyét tekintve megfelelő biztonsággal meghatározható) földrengésekkel.

A vizsgálat során felhasznált anyagok

Számos bemenő adattípus között a munka fő bemenő adatait a meglévő adatbázisokból tételesen összegyűjtött jelenkori és historikus földrengési koordináta és magnitúdó adatok, ill. a fúrásokból ismert vizek klorid-koncentráció adatai képezték. Ezek alapvető statisztikai analízisek végrehajtása mellett földtudományos szemlélet szerint lettek osztályozva. A rendszerezett adatok GIS környezetben végrehajtott eljárásokkal külön-külön független, térképi alapú digitális adatbázisokba kerültek.

Adatfeldolgozás menete

A rendelkezésre álló adatokból 4 *adathalmazt* (földrengésekre, szerkezeti vonalakra, klorid-koncentrációra és földtani egységekre vonatkozó adatok) hoztunk létre, majd ezek előkészítés és alapvető feldolgozás után 2 *témacsoportba* (földrengések témacsoport, klorid-koncentráció témacsoport) kerültek. A rendelkezésre álló témacsoportokból először táblázatos és ARC GIS környezetben térképi alapú digitális adatbázis készült, majd ezeket önmagukban értelmeztük, értékeltük és rendszereztük. A rendszerbe foglalt adatbázisokat ezután egymással is összevetettük.

A két adatbázis jellemzése egymástól függetlenül történt meg. Végül a két adatbázis közötti összefüggések GIS környezetben kerültek vizsgálatra. A kapott eredmények minden részletre kiterjedően digitális térképi formában (.shp), illetve táblázatos formában (.xls) készültek el, ill. az eredmények értelmezését szöveges formában (.doc) megfelelő összesítő ábrák és összesítő táblázatok közlése mellett konklúzióval kerültek bemutatásra. A munka lépései a következők:

- Adatgyűjtés. Adathalmazok létrehozása és témacsoportokba rendezése.
- Digitális adatbázisok előállítása a témacsoportok adathalmazából, az egyes adatbázisok önmagukban történő értelmezése, illetve földtudományos szemléletű osztályozása-rendezése
- Adatbázisok egymással történő összevetése
- Az eredmények kiértékelése, konklúzió(k) levonása

A feladat végrehajtása a természetföldrajz, a szerkezeti földtan, az üledékföldtan, a hidrogeológia, és a geofizika területét is érinti, ennek megfelelően számos tényezőt kellett egyszerre figyelembe venni.

2.1.3 Fúrásos kutatás

A telephely földtani adottságainak értékeléséhez és a létesítmény tervezéséhez szükséges tervezési alapadatok meghatározásához a vizsgált területen fúrásos kutatásra is sor került.

A magfúrásos kutatás célja a telephely tágabb környezetében, és közvetlen közelében elhelyezkedő kutatási területen:

- a harmadidőszaki fekü elérése, melynek feltárásával megtörténhet a terület fejlődéstörténetének rekonstruálása, az aljzat földtani jellemzőinek megismerése, valamint a töredezettségi, törésgeometriai adatok megszerzésével a feszültségtér vizsgálata
- a negyedidőszakot megelőző üledékes ciklus fejlődéstörténetének megismerése a pannóniai (s.l.) képződmények harántolásával, fekjének megismerésével
- a negyedidőszaki képződmények vastagságának, kifejlődésének, korának meghatározása, fekjének feltárása

Az FKP szerint a tervezett fúrások három csoportba sorolhatók:

- a harmadidőszak előtti alaphegység elérését célzó fúrásokra (az FKP-ban 3 db)
- a pannóniai (s.l.) összletet harántoló, a miocén képződményeket elérő fúrásokra (az FKP-ban 7 db)
- a negyedidőszaki képződményeket harántoló, a pannóniai (s.l.) összletig hatoló fúrásokra (az FKP-ban 22 db), melyekből 5 db-ot – továbbfúrás után – mikroszeizmikus mérőállomásnak kell kiképezni (SZMÁ fúrások)

Talpmélység szempontjából az 1.-2. pont alatti fúrások mélyfúrásoknak (>500 m), a 3. pont szerintiék sekélyfúrásoknak (<200 m) tekinthetők, a program végrehajtása során keletkezett dokumentumokban is ezek a megnevezések használatosak.

A kutatási programban bemutatott fúrási pontok helyzete csupán egy előzetes kijelölésnek volt tekinthető. A földtani kutatáshoz tervezett telephelyen kívüli mélyfúrások pontos helyének kijelöléséhez szükség volt a 3D szeizmikus kutatás elvégzésére, illetve eredményeinek felhasználására. Erre a kutatást engedélyező OAH határozat 1.7.B.a. pontja is lehetőséget adott.

A 2014. év második felében, a tervezett új atomerőművi blokkok közel 300 km² területű környezetében felvett 3D szeizmikus adatrendszer előzetes feldolgozása a várakozásoknak megfelelően lényegesen részletesebb és pontosabb képet adott a terület rétegtani és szerkezeti viszonyairól, mint a korábban ismert adatok.

A megismert új információk alapján a Geomega Kft. javaslatot tett a mélyfúrások tervezett mélységeinek, illetve a fúrások helyeinek optimalizálására a „Előzetes jelentés a Paks környéki, nagyfelbontású 3D szeizmikus mérések eredményeiről” című dokumentumban (MÁ/PA2-15-SZ-03 V1).

A módosítási javaslatok szempontrendszere a következő volt:

- az új geológiai ismeretanyag figyelembe vétele,
- az FKP-ban rögzített földtani kutatási célok elérését legnagyobb valószínűséggel biztosító fúrási helyek kiválasztása a 3D szeizmikus kutatás előzetes eredményei alapján,
- a fúrásos megismerés fókuszának áthelyezése a meglévő fúrásokból és geológiai tanulmányokból kellően ismert pannon rétegsorról a pre-pannóniai és az aljzati képződményekre, ezzel együtt több lehetőség az in-situ feszültségmérések elvégzésére,
- a geológiai megismerés egyenletes területi elosztása és diverzifikálása az egyes tektonikai egységekhez igazodva, ugyanakkor a szeizmika alapján jól leképezhető területrészekben fölöslegessé vált fúrások elhagyása.

Az eredetileg tervezetthez képest csökkentett számú, de egyes esetekben megnövelt talpmélységű, a pannóniai (s.l.) fekvő célzó (terv szerint 700 m-es, 1000 m-es) kutatófúrások (PAET-26, -27 és -30), valamint a korábbiakhoz képest nagyobb talpmélységű (terv szerint max. 2000 m-es) mélyfúrások (PAET-29, -34, és -35) már a fenti szempontok szerint lettek telepítve. Az újonnan javasolt helyszíneken mélyült kutatófúrások egyúttal lehetőséget adtak arra, hogy több helyen is elérjék a harmadkor előtti medencealjzatot, ezáltal a teljes rétegsort feltárják.

A földtani célú sekély- és mélyfúrások a javaslat figyelembe vételével valósultak meg (4. táblázat, 12. ábra, 13. ábra, 14. ábra). A mélyfúrások építési engedélykérelmei már a módosított fúrási terv alapján kerültek benyújtásra a bányahatósághoz, amely jóváhagyta őket. A telephelyen kívüli sekélyfúrások esetében a menet közben, a folyamatos feldolgozás során szerzett információk és tapasztalatok alapján 3 fúrás szükségtelenné vált és törlésre került a programból.

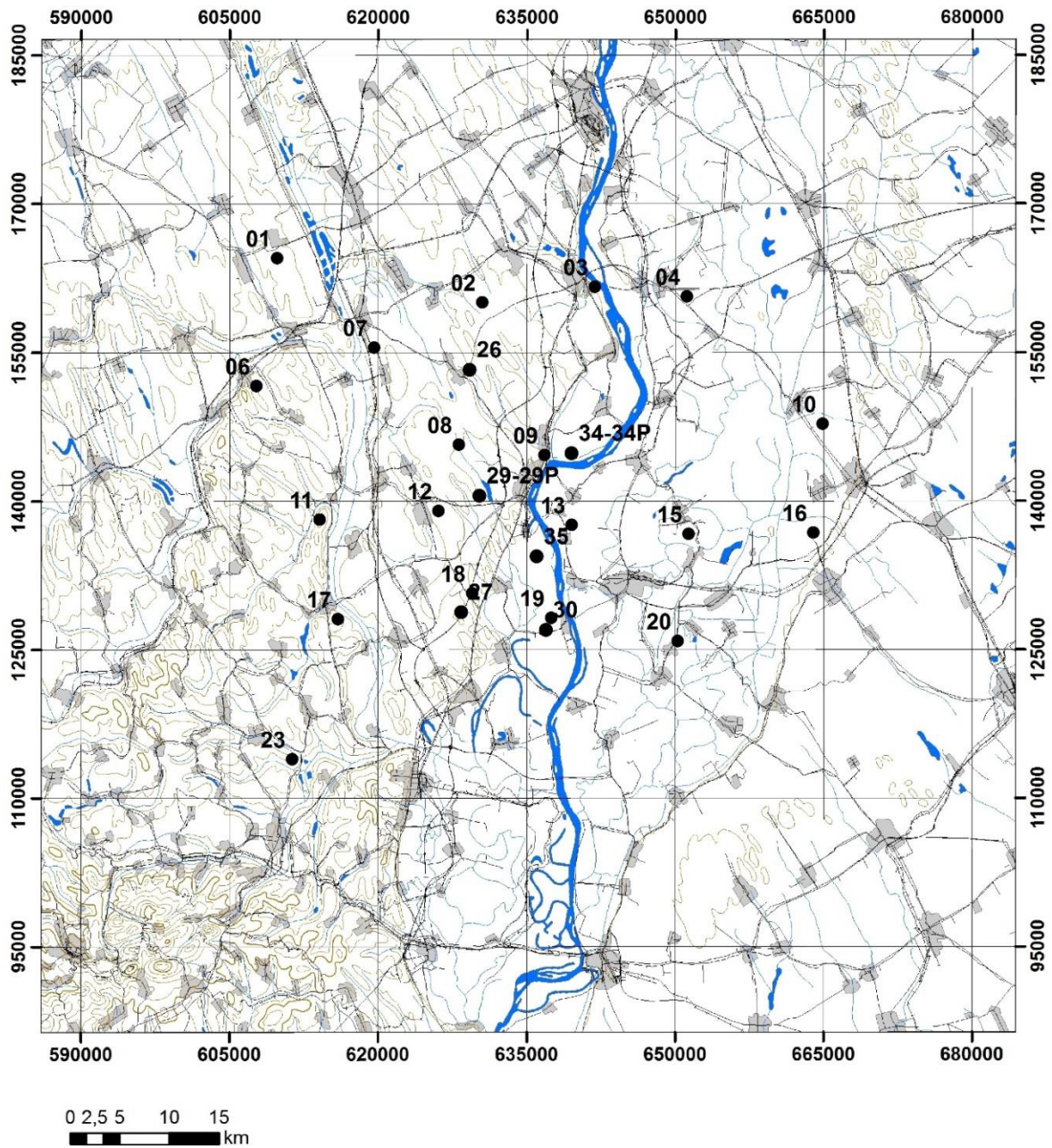
A mélyfúrásokat a ROTAQUA Kft. (Cím: 7673 Kővágószőlős, 0222/22 hrsz.), a sekélyfúrásokat a Fugro Consult Kft. (1115 Budapest, Kelenföldi utca 2.) fúrási kivitelező cégek mélyítették.

A mélyfúrások kiegészítő kivitelezési munkáinál a ROTAQUA Kft. az alábbi alvállalkozókat vonta be:

- Reolervice Olajipari Szolgáltató Kft., (Budapest) – kútfelszámolás, cementezési feladatok,
- Roll-Via Group Kft., (Budapest) – útépítés, rekultivációs feladatok.

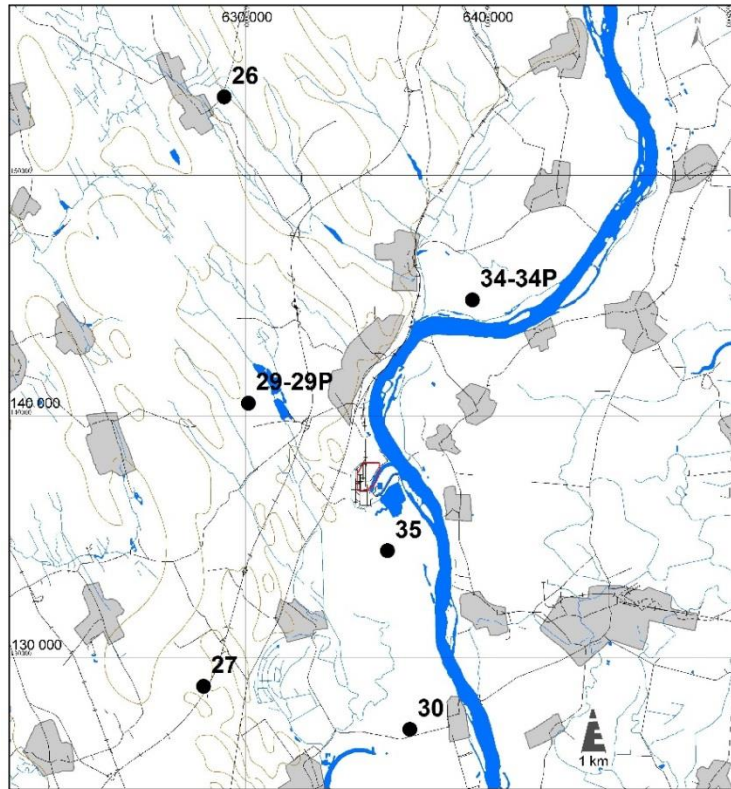
A sekélyfúrások kivitelezésénél a Fugro Kft. az alábbi alvállalkozókat vonta be a munkába:

- Békés-Drén Kft., (Békés) – sekélyfúrások kivitelezése.



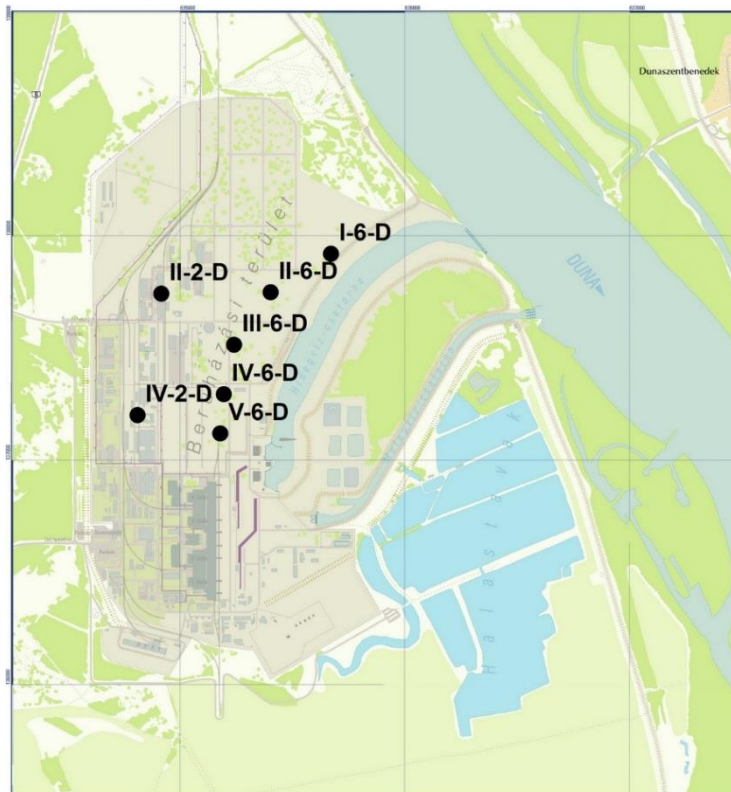
12. ábra A PAET jelű fúrások elhelyezkedése a 30 km sugarú kutatási terület térképén

Az alaptérkép szolgáltatója: © HM Zrínyi Nonprofit Kft. 2015.



13. ábra A PAET jelű mélyfúrások helyzete a 10 km sugarú kutatási terület térképén

Az alaptérkép szolgáltatója: © HM Zrínyi Nonprofit Kft. 2015.



14. ábra A tervezett telephely és 130 m-es fúrások elhelyezkedése

4. táblázat Fúrások alapadatai

	Fúrás jele	Helység név, hrsz.	EOV koordináta (m)			Fúrási tevékenység kezdete, vége		Talpmélység (m)	Teljes szelvény -tól -ig (m)	Magfúrás -tól -ig (m)	Megjegyzés
			X	Y	Z	-tól	-ig				
MÉLYFÚRÁSOK (> 500 m)	PAET-26	Németkér, 0297/31	153248,02	629219,23	150,07	2015.05.28	2015.06.21	560,00	0,00-0,53	0,53-560,00	
	PAET-27	Fadd, 089/26	128806,13	628363,50	100,49	2015.08.17	2016.03.21	919,05	0,00-1,60	1,60-919,05	
	PAET-29	Paks, 0376/9	140540,95	630227,94	133,00	2015.05.05	2015.08.03	1015,40	0,00-610,00	610,00-1015,40	
	PAET-29/1					2015.09.04	2016.01.24	1950,00	710,92-1015,00	1015,00-1950,00	terelt ág
	PAET-29 P					2016.02.18	2016.04.02	620,00	—	0,00-620,00	
	PAET-30	Gerjen, 037/31, 037/2	127019,62	636917,35	90,30	2015.11.10	2016.03.04	601,33	0,00-0,44	0,44-601,33	
	PAET-30/1					2016.03.05	2016.03.15	588,43	490,18-588,43	—	terelt ág
	PAET-34	Madocsa, 0147/73, 0147/74	144834,98	639511,92	91,69	2015.05.11	2015.12.16	1867,8	0,00-690,30	690,3-1867,80	
	PAET-34 P					2016.04.07	2016.05.26	700,00	—	0,00-700,00	
	PAET-35	Paks, 0128/6	134424,21	635983,03	91,35	2015.07.17	2016.04.08	1481,35	0,00-770,00	770,00-1481,35	
PAET-35/1	2016.04.09					2016.04.16	1518,76	—	1441,25-1518,76	terelt ág	
SEKELYFÚRÁSOK (<= 200 m)	PAET-1	Mezőszilas, 0113/79	164499,31	609813,83	155,46	2015.12.17	2016.02.23	101,50	—	0,00-101,50	
	PAET-2	Dunaföldvár, 0530/35	160030,92	630499,58	179,37	2015.08.07	2015.09.23	154,00	100,00-154,00	0,00-100,00	SZMA kút
	PAET-3	Dunaföldvár-Zártkert, 6614/5	161605,07	641873,48	150,22	2015.11.30	2015.12.05	101,50	—	0,00-101,50	
	PAET-4	Solt, 0157/94	160642,99	651165,10	105,28	2015.12.02	2015.12.09	100,00	—	0,00-100,00	

Fúrás jele	Helység	EOV koordináta (m)			Fúrási tevékenység kezdete, vége		Talpmélység (m)	Teljes szelvény -től -ig (m)	Magfúrás -től -ig (m)	Megjegyzés
	név, hrsz.	X	Y	Z	-tól	-ig				
PAET-6	Tolnanémedi, 074/5	151609,40	607714,87	199,01	2015.11.05	2015.11.12	100,00	—	0,00-100,00	
PAET-7	Cece, 0458/9	155473,88	619605,53	117,30	2016.01.13	2016.01.18	101,50	—	0,00-101,50	
PAET-8	Paks, 0724/2	145687,55	628137,81	144,57	2015.11.03	2015.11.07	100,00	—	0,00-101,50	
PAET-9	Paks, 12747	144640,69	636783,52	171,87	2015.09.22	2015.09.24	101,50	—	0,00-100,00	
PAET-10	Akasztó, 076/57	147797,44	664869,29	93,98	2015.09.07	2015.09.15	154,00	100,00-154,00	0,00-154,00	SZMA kút
PAET-11	Sárszentlőrinc, 0217	138122,19	614095,10	196,00	2015.09.03	2015.09.21	101,50	—	0,00-101,50	
PAET-12	Pusztahencse, 040/1	139012,51	626096,97	184,73	2015.07.14	2015.08.08	154,00	100,00-154,00	0,00-100,00	SZMA kút
PAET-13	Dunaszentbenedek, 059/20	137594,42	639541,38	91,68	2015.12.14	2015.12.18	101,50	—	0,00-101,50	
PAET-15	Szakmár, 0149/13	136670,57	651332,91	92,55	2015.12.04	2015.12.15	100,00	—	0,00-100,00	
PAET-17	Kölesd, 2546	128081,83	615942,35	174,35	2015.08.25	2015.09.06	154,00	26,50-154,00	0,00-26,50	SZMA kút
PAET-17/1	Kölesd, 2546	128089,23	615941,38	174,99	2015.09.15	2015.09.17	100,00	—	0,00-100,00	
PAET-18	Dunaszentgyörgy, 048/43	130696,78	629495,45	101,75	2015.09.24	2015.10.05	100,00	—	0,00-100,00	
PAET-20	Homokmégy, 0873	125891,19	650240,54	90,96	2015.11.22	2015.12.03	100,00	—	0,00-100,00	
PAET-21	Fácánkert, 0264/15	123427,07	626143,70	108,09	2015.09.30	2015.10.26	100,00	—	0,00-100,00	
PAET-22	Császártöltés, 0206/21	119935,37	661333,54	110,80	2015.10.26	2015.11.16	156,00	100,00-156,00	0,00-100,00	SZMA kút
PAET-23	Bonyhád, 0470/11	113955,66	611307,72	150,75	2015.10.24	2015.10.27	101,50	—	0,00-101,50	
I-6-D	Paks, 8803/15	137919,56	635671,82	96,50	2015.09.08	2015.09.16	130,00	—	0,00-130,00	telephelyi

Fúrás jele	Helység név, hrsz.	EOV koordináta (m)			Fúrási tevékenység kezdete, vége		Talpmélység (m)	Teljes szelvény -tól -ig (m)	Magfúrás -tól -ig (m)	Megjegyzés
		X	Y	Z	-tól	-ig				
II-2-D	Paks, 8803/15	137741, 25	634916, 29	97,1 6	2015.09.1 3	2015.10.0 1	131,50	—	0,00-131,50	telephelyi
II-6-D	Paks, 8803/15	137747, 62	635402, 82	96,8 7	2015.08.0 3	2015.08.2 8	131,45	—	0,00-131,45	telephelyi
III-6-D	Paks, 8803/15	137514, 18	635240, 05	97,3 3	2015.08.2 7	2015.09.0 7	131,50	—	0,00-131,50	telephelyi
IV-2-D	Paks, 8803/15	137201, 34	634810, 26	97,0 4	2015.11.1 8	2015.11.1 9	130,00	—	0,00-130,00	telephelyi
IV-6-D	Paks, 8803/15	137293, 99	635194, 27	97,2 2	2015.10.0 8	2015.10.1 4	130,10	—	0,00-130,10	telephelyi
V-6-D	Paks, 8803/15	137119, 47	635179, 11	97,0 4	2015.10.1 9	2015.10.2 2	130,00	—	0,00-130,00	telephelyi

5. táblázat A Földtani Kutatási Programban tervezett telephelyen kívüli 19 db sekélyfúrás lemélyítésének indoklása (forrás: FKP)

NÉV	TELEPÜLÉS	INDOKLÁS
PAET-01	Mezőszilas	A Sárvíztől Ny-ra eső löszvidék, a terület ÉNy-i részén
PAET-02	Dunaföldvár	A Mezőföldi löszhát, a terület É-i részén
PAET-03	Dunaföldvár	Paksi-, és Tengelici Formáció tagolása a Mezőföld területén
PAET-04	Solt-Tételhalom	A Dunától K-re eső "löszhalom" feltárása
PAET-06	Tolnanémedi	Tolnai-Hegyhát É-i részének kvarter felépítése
PAET-07	Cece	A Sárvíz K-i oldalán lévő esetleges teraszképződmények feltárása
PAET-08	Paks	A Mezőföld ÉNy-DK-i irányítottaságú futóhomok pászta felépítése
PAET-09	Paks	Paksi Lösz Formáció és feküsképződményeinek feltárása
PAET-10	Akasztó	Solti síkságtól K-re eső kiskunsági futóhomok terület eltárása
PAET-11	Sárszentlőrinc	Ny–K-i szelvény a telephelyen keresztül. A Tolnai-Hegyhát középső blokkjának felépítése
PAET-12	Pusztahencse	Ny–K-i szelvény. Mezőföld ÉNy-DK-i fluvioeolikus pászta tagolása
PAET-13	Dunaszentbenedek	Ny–K-i szelvény. Solti-síkság fonatos alluviális területének feltárása
PAET-15	Szalmár	Ny–K-i szelvény. Solti-síkság fonatos alluviális területének feltárása.
PAET-17*	Kölesd	A Tolnai-Hegyhát D-i blokkjának felépítése
PAET-18	Dunaszentgyörgy	Pleisztocénnal fedett folyóvízi (esetleges dunai) képződmények feltárása.
PAET-20	Homokmégy (FKP-ban Drágszél)	Solti-síkság fonatos alluviális területének feltárása.
PAET-21	Fácánkert	Mezőföld ÉNy–DK-i fluvioeolikus pászta tagolása
PAET-22	Császártöltés	Solti síkságtól K-re eső kiskunsági futóhomok terület feltárása
PAET-23	Bonyhád	Völgység negyedkori rétegsorának feltárása a terület DNy-i részén.

2.1.3.1 Földtani vizsgálatok

A fúrások általában talpig magvétellel mélyültek. Kivételt képeznek ez alól a mikroszeizmikus mérőkutak 100 m alatti szakaszai, valamint a PAET-29, -34 és -35 jelű mélyfúrások felső, a pannóniai (s.l.) talpáig terjedő szakaszai. Utóbbiak az előrehaladás gyorsítása érdekében ikerfúrásnak lettek tervezve, vagyis a felső, teljes szelvényű szakaszon elmaradt magvételt egy külön e célból, az alapfúrás mellé telepített fúrásban pótolták (PAET-29P, -34P, a PAET-35 esetében nem készült ikerfúrás).

A mélyfúrások bányahatóság által engedélyezett tervdokumentációi, a sekélyfúrások tervei, valamint az ezek alapján, a kivitelezéshez elkészített műveleti tervek, utasítások a MVM Paks II. Zrt. –nél, valamint a Mecsekérc Zrt. -nél található meg, papír alapon és digitális formátumban is.

A tervezett telephelyen mélyült, geotechnikai célú 130 m mélységű fúrások esetében a maganyag földtani jellegű feldolgozása, továbbá a bennük elvégzett karotázs mérések a telephelyen kívüli sekélyfúrásokkal gyakorlatilag azonos módon történtek, ezért ezek is itt, a

földtani fejezetben kerülnek tárgyalásra. A Pa-21 és Pa-22 jelű geofizikai szelvények mentén mélyült, ún. „vetőkutató” fúrásokat – speciális feladatokra tekintettel – a 2.1.4 Sekélyföldtani vizsgálatok c. fejezet mutatja be.

2.1.3.1.1 A maganyag dokumentálása

A maganyag dokumentálása a Mecsekérc Zrt. paksi telephelyén kialakított dokumentáló helyiségben, körbejárható dokumentáló asztalokon történt. A dokumentálás első mozzanata a mélységkorrekció volt, majd a magládákról azonos körülmények között ~ 10000 * 4500 pixeles fényképek készültek. A feldolgozás a fúrás tetejétől a talpa felé, két elkülönülő fázisban folyt: földtani (közettani, rétegtani) és tektonikai leírás készült. Az adatok azonnal számítógépre (Excel táblázatba) kerültek. A dokumentálás felbontása 10 cm volt, de rétegtanilag fontos esetekben (szén, lignit, tufa, bentonit stb.) 1 cm vastagságú rétegeket is elkülönítettek. Minden réteg és tektonikai elem egy külön sort képez a táblázatban, amely valamennyi közettípus leírására, valamennyi rétegtani és tektonikai adat rögzítésére alkalmas, de lehetőséget adott egyéb megjegyzések hozzáfűzésére is. A dokumentálás eszközei voltak: geológus kompasz, kalapács, spakli, 10 %-os sósav, vonalzó, magtartó vályú, kézinagyító, fényképezőgép, mérőszalag, kefe, vízpermetező.

Az alaphegységéből származó maganyagról az ImaGeo magszkennerrel palástfotó készült, amelyen a karotázs adatok – legfőképpen a BHTV felvétel – segítségével meghatározták a tektonikai elemek valós térbeli helyzetét. A dokumentálás során részletfotók és rajzok készültek, ekkor kerültek kijelölésre a vizsgálatra szánt minták, amelyeket akkreditált módon később emeltek ki és továbbítottak a megfelelő laboratóriumba.

A dokumentálás módszereinek részletes leírása a „Dokumentációs és laboratóriumi vizsgálati program” című dokumentumban ([223], 123 p.) található meg.

2.1.3.1.2 Földtani vizsgálatok - Mintázás és laborvizsgálatok

A földtani mintavételezési és laboratóriumi vizsgálati program magába foglalja a „PAET” jelű sekély- és mélyfúrások (földtani kutatófúrások), a telephelyi 7 db 130 m-es geotechnikai magfúrás, illetve a felszíni természetes és mesterséges feltárások (térképezéshez kapcsolódó objektumok) képződményeinek mintázását és a kivett minták laboratóriumi vizsgálatát. A mintavétel akkreditált módon történt a MECSEKÉRC Zrt. a NAT által a NAT-1-1370/2015 számon akkreditált Vizsgálólaboratóriumának Minőségügyi Kézikönyvében a geológiai mintavételre rögzített módszerek és szabványok alapján (E-G2: 1995 számú „Mintavétel környezetvédelmi talaj-, geológiai (geokémiai, ásvány-közettani, őslénytani vizsgálatok”; MSZ ISO 5667-11: 2012 és MSZ EN ISO 5667: 2004). Minden kivett mintáról kitöltésre került a MECSEKÉRC Zrt. akkreditált szilárd mintára vonatkozó mintavételi jegyzőkönyve. A minták kezelése, csomagolása, előkészítése, szállítása a különböző vizsgálatokat végző laboratóriumokba, az ezekkel járó adminisztrációs tevékenységek (mintaátadási jegyzőkönyvek elkészítése) akkreditáltan illetve a szabályokban és szabványokban előírtak szerint történt. Ezen előírások, szabályok a dokumentációs és mintavételi tervben („1.1.3. Dokumentációs és laboratóriumi vizsgálati program”; Dokumentum azonosító: MÁ/PA2-15-FT-01) került rögzítésre. Ennek megfelelően a mintázások a különböző dokumentálási fázisok (földtani, tektonikai, geotechnikai), a kiépítéseket jelző tikketták mélységtartományának leellenőrzése és korrigálása és a fotózási tevékenység befejezése után történtek. A megvalósult mintavételi tevékenység a különböző szakterületek szakembereinek szakmai együttműködésének az eredménye, mely magába foglalja az előzetes konzultációkat, a különböző szakterületek közös mintáinak a kijelölését, a

közös mintavételt, a minták megosztását a szakterületek között. Mindez segíti és lehetővé teszi a különböző vizsgálati eredmények komplex értékelését.

A laboratóriumi vizsgálati program a következő vizsgálati módszereket foglalja magába:

- ásvány-kőzettani
- geokémiai
- őslénytani
- abszolút kor vizsgálatok
- paleomágneses mérések

Ásvány-kőzettani vizsgálatok

Ezen vizsgálatcsoport kivitelezésének célja a mély- és sekélyfúrások valamint a felszíni természetes és mesterséges feltárások, valamint a kutató létesítmények (árkok) által feltárt képződmények (formációk) ásványos összetételének, az egyes ásványok kémiai összetételének, szerkezetének, kőzettani jellegének, az átalakulások mértékének és módjának a jellemzése és ezen keresztül a vizsgált képződmények közötti korreláció elősegítése, megvalósítása. A vizsgálat csoport a következő vizsgálatokat foglalja magába:

- teljes kőzetpor minták röntgendiffrakciós (XRD) vizsgálata
- a minták (első sorban agyagos jellegű képződmények) 2 mikron alatti frakciójának röntgendiffrakciós (XRD) vizsgálata az agyagásványok pontosabb meghatározása céljából
- termikus vizsgálat (teljes kőzet illetve a leválasztott 2 mikron alatti frakció)
- vékonycsiszolatos vizsgálat kőzetből
- vékonycsiszolatos vizsgálat talajból
- elektronmikroszkopos vizsgálat
- szemeloszlás vizsgálat
- kalcit- és dolomittartalom meghatározás (gazometriás Ca, Mg vizsgálat)
- mikromineralógia

Geokémiai vizsgálatok

Ezen vizsgálatcsoport kivitelezésének célja a feltárt képződmények (formációk) geokémiai jellegének a megismerése, az esetleges elemdúsulások feltárása. Az ásványtani vizsgálatokhoz hasonlóan a vizsgált képződmények közötti korreláció elősegítése, megvalósítása. A következő vizsgálatok kerültek kivitelezésre:

Teljes kémiai elemzés, mely a következő fő oxidos alkotók meghatározását foglalja magába SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 total, FeO , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , MnO , TiO_2 és P_2O_5 . Ezek meghatározása az FeO és az Fe_2O_3 kivételével röntgenfluoreszcenciás módszerrel (továbbiakban XRF) készült. A vizsgált képződmények oxidációs állapotának a jellemzését szolgálja a ferro- és ferrivas mennyiségének az ismerete. A ferrovas-oxid (FeO) meghatározás kémiaiag (titrometria) került meghatározásra a MÁFI 11.14: 2005 eljárás alkalmazásával. A ferrivas-oxid (Fe_2O_3) a mért Fe_2O_3 total és FeO komponensekből számított paraméter. A CO_2 -tartalom a CaO és a MgO mellett a vizsgált minták karbonáttartalmának a pontosabb meghatározását teszi lehetővé, meghatározása a MÁFI 11.1: 2001 eljárás alapján készült. A főoxidos alkotók mennyiségi arányainak meghatározásához szükség van a minták $1050\text{ }^\circ\text{C}$ -on mért izzítási veszteség adataira is. Az izzítási veszteség adatok tartalmazzák minták mindazon komponenseinek mennyiségét, melyek az $1050\text{ }^\circ\text{C}$ -ra való felfűtés és azon tartás során

elbomlanak és gázként eltávoznak, pl. karbonátok, szervesanyag, szulfidok, ásványok kristályvize, stb.).

Nyomelem vizsgálatok. A következő elemek kerültek meghatározásra: As, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn, Y, Zr, Nb, Sb, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Tl, Th, U, Sc, Rb, Ga, Sn, Se, Bi, Sr, Ba, Cs, Li. Ez az elemegyüttes magába foglalja mindazon elemeket, melyek lehetővé teszik a megismert magmás, üledékes és metamorf képződmények genetikájának, képződési környezetének, a végbement átalakulási folyamatok jellegének a megismerését. Elemzésük ICP-AES és ICP-MS módszerrel történt. A Li meghatározása a minták HF tartalmú savkeverékkel történő feltárás után (MÁFI 9.6: 2004 előkészítő művelet), míg a többi elem meghatározása a minták lítium-metaboráttal történő feltárása majd oldatba vitele után (MÁFI 9.1: 2001 előkészítő művelet) történt, tehát az össz elemtartalmak kerültek meghatározásra.

Szerves geokémiai vizsgálat, mely TOC (teljes szerves széntartalom) és a vitrinit reflexiós mérést foglalja magába. A vitrinit reflexió értékeinek a meghatározása különösen fontos információkat szolgáltat az idősebb képződményekre átalakultsági fokára, illetve a tektonikai zónákban lezajlott folyamatok mértékére és ezáltal lehetőség adódik a formációk közötti korreláció megvalósítására.

Őslénytani vizsgálatok

Ezen vizsgálatcsoport kivitelezésének célja a feltárt és megmintázott képződmények (formációk) képződmények korának, képződési környezetének a megismerése, a vizsgált képződmények közötti korreláció elősegítése, megvalósítása. A csomag keretében a következő vizsgálatok kerültek kivitelezésre:

- palinológiai vizsgálatok
- molluszka meghatározás
- egyéb őslénytani vizsgálatok, melyek magukba foglalják az Ostracoda, Foraminifera és egyéb gerinces maradványok meghatározását

Kormeghatározási vizsgálatok

Ezen vizsgálatcsoport kivitelezésének célja a feltárt és megmintázott képződmények (formációk) abszolút korának a megismerése, a vizsgált képződmények közötti korreláció elősegítése, megvalósítása. A csomag keretében a következő vizsgálatok kerültek kivitelezésre:

- OSL,
- radiokarbon (^{14}C) kormeghatározási vizsgálatok
- U-Th korvizsgálat karbonát fázisokból
- K-Ar korvizsgálat
- kormeghatározás cirkonból U/Pb és U/Th módszerrel
- kormeghatározás gránátból Sm/Nd módszerrel
- paleomágneses mérések

Ezen korvizsgálatok együttesen egy komplex csomagot képeznek, egymást kiegészítik, együttes alkalmazásuk az egyes módszerekkel kapott korok helyességének az ellenőrzését is biztosítják, lehetővé teszik a legfiatalabb, illetve a legidősebb képződmények vizsgálatát (korbesorolását). Az eredményeket összevetve az őslénytani vizsgálatokkal lehetővé vált a képződmények még pontosabb rétegtani besorolása és korrelálása.

Ezen „alap” vizsgálatokon túl a PAET-27 és PAET-35 jelű fúrásokban feltárt tektonikai zónák és a zónákat kitöltő ásvány-együttes (elsősorban karbonátok) vizsgálata során a következő speciális vizsgálati módszerek kerültek még alkalmazásra:

- folyadékzárvány vizsgálat
- $\delta^{13}\text{C}$ és $\delta^{18}\text{O}$ a kitöltések karbonát fázisaiból
- H_2O , δD és $\delta^{18}\text{O}$ mérések a folyadékzárványok esetén
- katódlumineszcens mikroszkópia

Az „alap” vizsgálatokkal (ásvány-kőzettani, K-Ar korvizsgálat) történő együttes alkalmazásuk lehetőséget biztosít a tektonikai zónák korának, a zónákban áramló a kitöltő ásvány együttest létrehozó fluidumok kémiai jellegének, hőmérsékletének, a zónákban lezajló ásványátalakulásoknak, a vetőmozgások esetleges felújulásának a megismerése.

A vizsgálatok kivitelezésében akkreditált laboratóriumok (teljes kémiai és nyomelemzés, korvizsgálatok), akadémiai kutató intézetek, egyetemi tanszékek működtek közre valamint a szakterületek elismert szakemberei. Közreműködő laboratóriumok és intézmények: MFGI (ásvány-kőzettani, geokémiai, OSL korvizsgálat), MTA CsFK Földtani és Geokémiai Intézet (ásvány-kőzettani vizsgálatok), ISD DUNAFERR Zrt. Anyagvizsgáló és Kalibráló Laboratóriumok Igazgatósága Spektrometriai Anyagvizsgáló Főosztály (teljes kémiai vizsgálat), Isotoptech Zrt. (radioakarbon kormeghatározás), MTA ATOMKI (K-Ar kormeghatározás), Cat-Science Bt. (öslénytani vizsgálatok), AUGEN CONSULTING Kft. (ásvány-kőzettani és vitrint reflexió képesség vizsgálatok), MTA Támogatott Kutatócsoportok Irodája (ásvány-kőzettani, geokémiai és korvizsgálatok) és MECSEKERC Zrt. Vizsgálólaboratóriuma (mintavétel, mintaelőkészítés, teljes kémiai vizsgálat), Utrechti Egyetem (Hollandia) (magnetosztratigráfia).

A program keretében a bemutatott vizsgálatok változó darabszámban kerültek kivitelezésre, teljes mennyiségük meghaladja az 5000 darabot, a vizsgálatonkénti darabszámot lásd az 6. táblázat számú táblázatban. Az FKP-ban vizsgálatonként meghatározott darabszámot a program végrehajtása során értelemszerűen a feltárt képződmények jellegéhez, összetételéhez igazították (pl. a vártnál több vulkáni, és kevesebb üledékes kőzet).

6. táblázat: A földtani fúrások mintában elvégzett vizsgálatok darabszámjai

Vizsgálat	Mintaszám
Szemeloszlás	900
Kalcit-, dolomittartalm	900
Mikromineralógia (könnyű- és nehézásványok)	48
Röntgendiffrakció (teljes porminta)	234
Röntgendiffrakció (0,002 alatti frakció)	157
Termikus vizsgálat (eredeti+leválasztott)	135
Teljes kémiai elemzés	237
Nyomelem meghatározás (ICP-OES)	192
Szerves geokémia	14
Vékonycsiszolat (kőzet)	135
Vékonycsiszolat (talaj)	7
Pollenvizsgálat	200

Vizsgálat	Mintaszám
Molluszka vizsgálat	304
Egyéb őslénytani vizsgálatok (Ostracoda, foraminifera, csont)	215
OSL	40
Egyéb abszolútkor-meghatározások	0
K-Ar	30
¹⁴ C	35
U-Th	0
Kormeghatározás cirkonból (U/Pb, U/Th)	11
Kormeghatározás gránátból (Sm/Nd)	2
Elektronmikroszkopos vizsgálat	24
Paleomágneses mérések	1080
Folyadékzárvány vizsgálat	4
δ^{13} és δ^{18} O mérés karbonátból	11
H ₂ O és δ D és δ^{18} O mérések folyadékzárványok esetén	11
Katódlumineszcens mikroszkópi vizsgálat	4

2.1.3.2 A fúrásos kutatás eredményeinek rövid összefoglalása


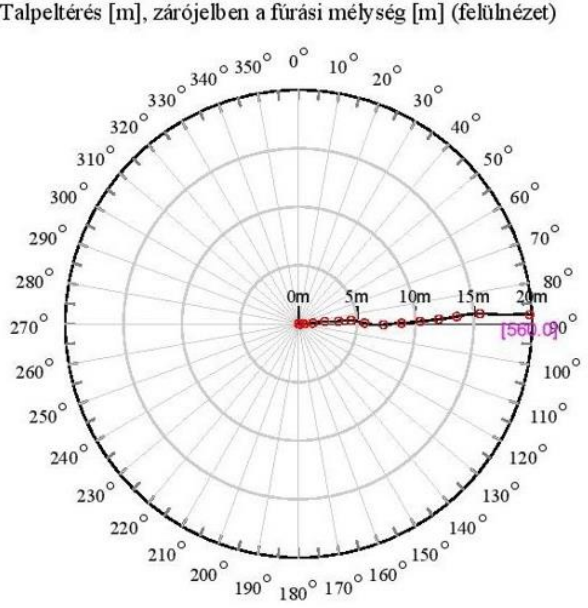
A fúrásos kutatás egyrészt teljesítette az FKP megfogalmazta, fentebb ismertetett követelményeket, másrészt a kutatás közben megszerzett újabb információk alapján módosítva a kiviteli tervet, további, elsősorban szerkezetföldtani ismeretek megszerzését tette lehetővé.

A mélyfúrások fő kutatási célja az alaphegység elérése, közettani, geotechnikai mintázása, aktuális feszültségadatainak a meghatározása, valamint legalább egy törésvonal szerkezetének a megismerése volt. A kristályos alaphegységet elérte a PAET-26 (15. ábra) és a PAET-34 (20. ábra) jelű fúrás, mezozoos képződményeket harántolt a PAET-27 (16. ábra) és PAET-30 (19. ábra). A PAET-35-ös (és 35/1-es) fúrás (22. ábra) pedig a Kapos-vonal és a Dunaszentgyörgy – Harta törésvonal kereszteződésének zónájában mélyült, adatokat szolgáltatva annak felépítéséről, kőzetmechanikai állapotáról, hidrogeológiai viszonyairól. A PAET-29-es (és 29/1-es) mélyfúrás nem érte el az alaphegységet, alsó-miocén vulkanitban állt le, de rétegsora alapján tovább javult a terület földtani felépítésének ismeretessége és pontosítható volt a 3D szeizmika alapján felépített geofizikai modell.

Hasonlóképpen eredményes volt a sekélyfúrásos program a 5. táblázatban felsorolt célok elérésében. A sekélyfúrások rövid rétegsorát a 7. táblázat tartalmazza.

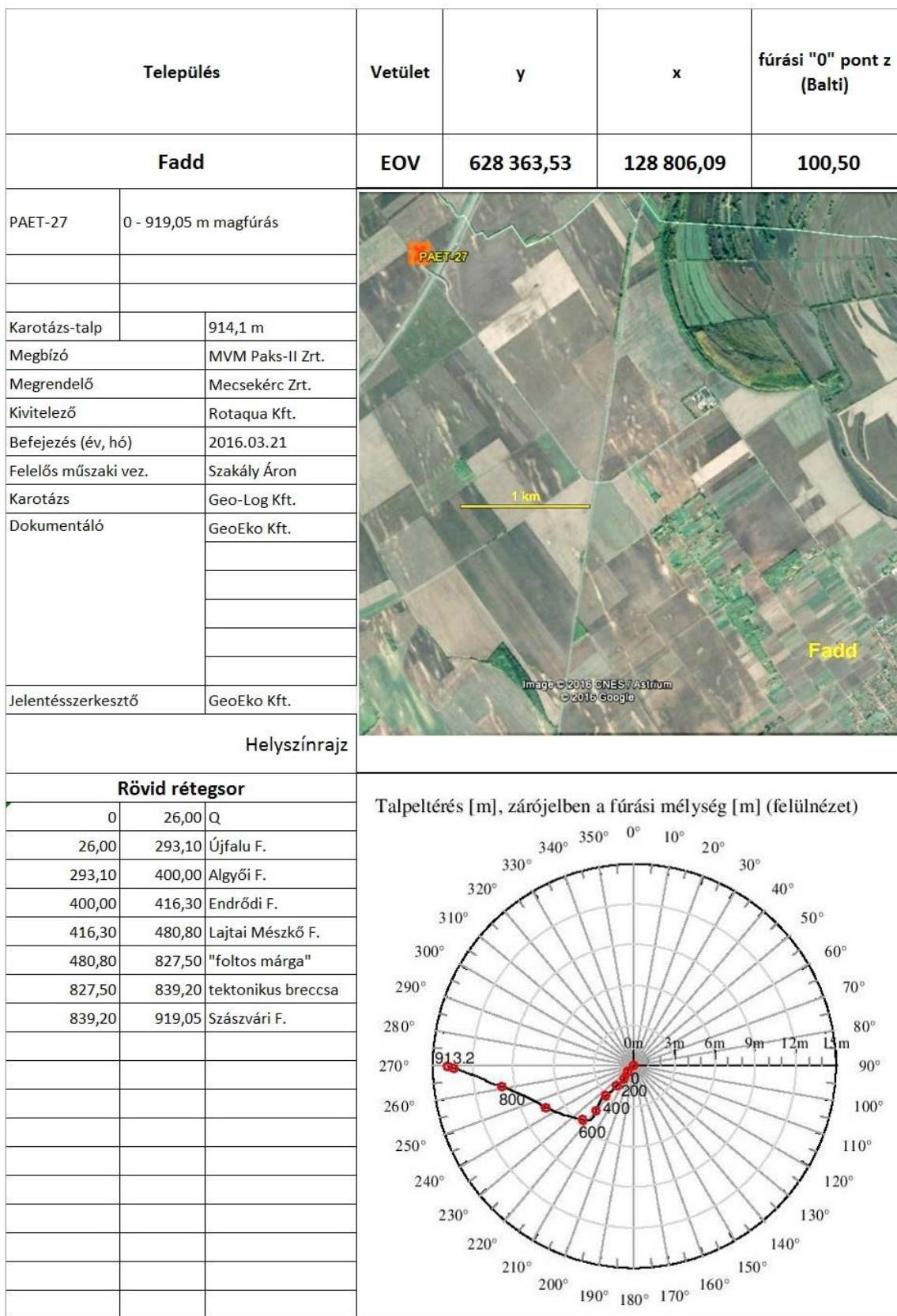
A kutatófúrásokból nyert adatok felhasználásra kerültek a terület földtani modelljének megalkotásában (3.1.1. fejezet), a geotechnikai (3.2. fejezet) és a vízföldtani (3.3. fejezet) értékelésben.

PAET-26

Település		Vetület	y	x	fúrési "0" pont z (Balti)
Németkér		EOV	629 219,23	153 248,02	150,07
PAET-26	0 - 560,00 m magfúrás				
Karotázs-talp	560,3 m				
Megbízó	MVM Paks-II Zrt.				
Megrendelő	Mecsekérc Zrt.				
Kivitelező	Rotaqua Kft.				
Befejezés (év, hó)	2015.06.21				
Felelős műszaki vez.	Szakály Áron				
Karotázs	Geo-Log Kft.				
Dokumentáló	GeoEko Kft.				
Jelentésszerkesztő	GeoEko Kft.				
Helyszínrajz					
					
Rövid rétegsor			Talpeltérés [m], zárójelben a fúrési mélység [m] (felülnézet)		
0	13,70	Q			
13,70	118,70	Újfalui F (Toronyi T.)			
118,70	336,50	Újfalui F (Tihanyi T.)			
336,50	438,00	Újfalui F (Somlói T.)			
438,00	500,6	Algyői. F.			
500,6	560	variszkuszi metamorfit			


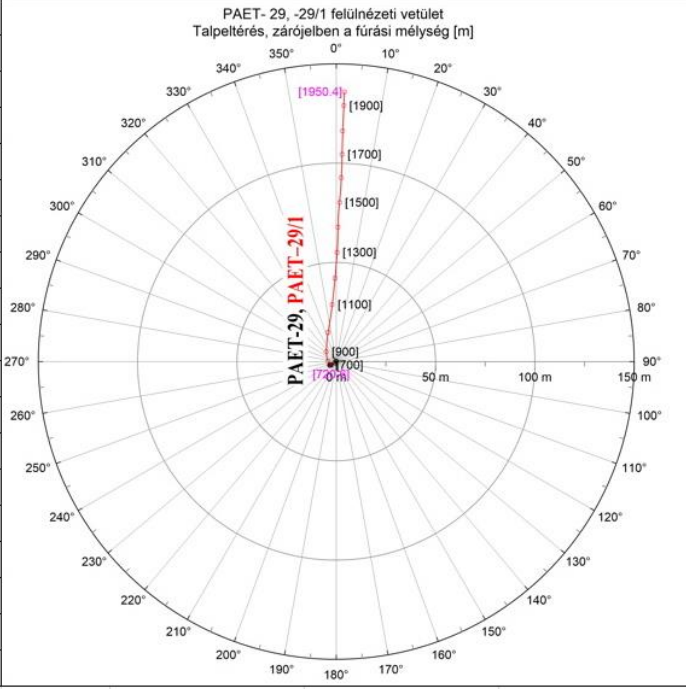
15. ábra A PAET-26 jelű fúrás legfontosabb adatai

PAET-27



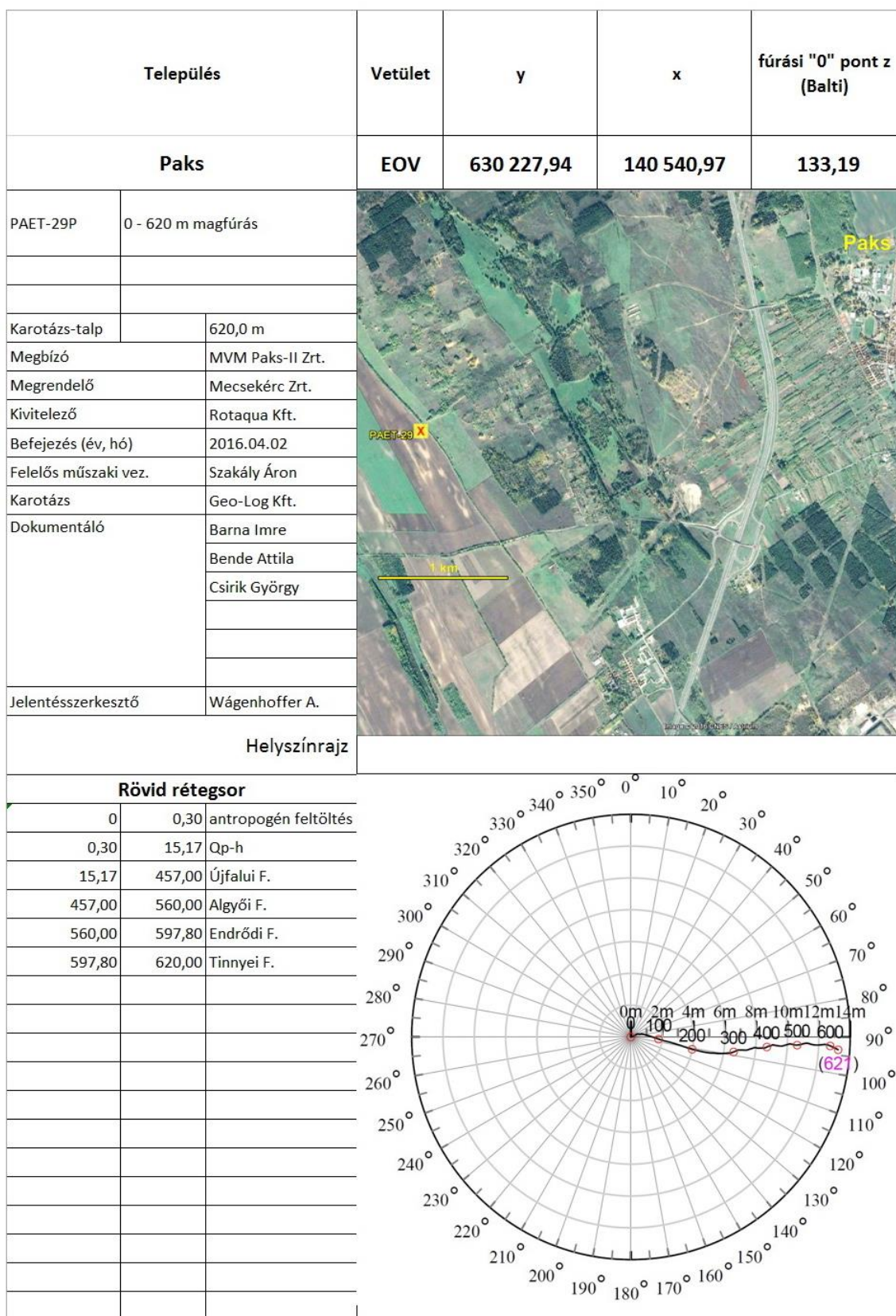
16. ábra A PAET-27 jelű fúrás legfontosabb adatai

PAET-29, -29/1

Település		Vetület	y	x	fúrási "0" pont z (Balti)																																																																																				
Paks		EOV	630 227,94	140 540,97	133,19																																																																																				
PAET-29	0 - 611,30 m teljes szelvényű																																																																																								
PAET-29	611,30 - 1015,40 magfúrás																																																																																								
PAET-29/1	1015,00 - 1950,00 magfúrás																																																																																								
Karotázs-talp	1952,50 m																																																																																								
Megbízó	MVM Paks-II Zrt.																																																																																								
Megrendelő	Mecsekérc Zrt.																																																																																								
Kivitelező	Rotaqua Kft.																																																																																								
Befejezés (év, hó)	2016.01.24																																																																																								
Felelős műszaki vez.	Szakály Áron																																																																																								
Karotázs	Geo-Log Kft.																																																																																								
Dokumentáló	Benei Balázs																																																																																								
	Halász Amadé																																																																																								
	Konrád Gyula																																																																																								
	Magyar Levente																																																																																								
	Sebe Krisztina																																																																																								
Jelentésszerkesztő	Konrád Gyula																																																																																								
Helyszínrajz																																																																																									
																																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Rövid rétegsor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>611,30</td> <td>teljes szelvényű</td> </tr> <tr> <td>611,30</td> <td>636,85</td> <td>Tinnyei Formáció</td> </tr> <tr> <td>635,85</td> <td>723,60</td> <td>Lajtai Mészkö F.</td> </tr> <tr> <td>723,60</td> <td>729,58</td> <td>Mecseki And. (tufa)</td> </tr> <tr> <td>729,58</td> <td>1 950,00</td> <td>Mecseki Andezit</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>						Rövid rétegsor			0	611,30	teljes szelvényű	611,30	636,85	Tinnyei Formáció	635,85	723,60	Lajtai Mészkö F.	723,60	729,58	Mecseki And. (tufa)	729,58	1 950,00	Mecseki Andezit																																																																		
Rövid rétegsor																																																																																									
0	611,30	teljes szelvényű																																																																																							
611,30	636,85	Tinnyei Formáció																																																																																							
635,85	723,60	Lajtai Mészkö F.																																																																																							
723,60	729,58	Mecseki And. (tufa)																																																																																							
729,58	1 950,00	Mecseki Andezit																																																																																							
																																																																																									

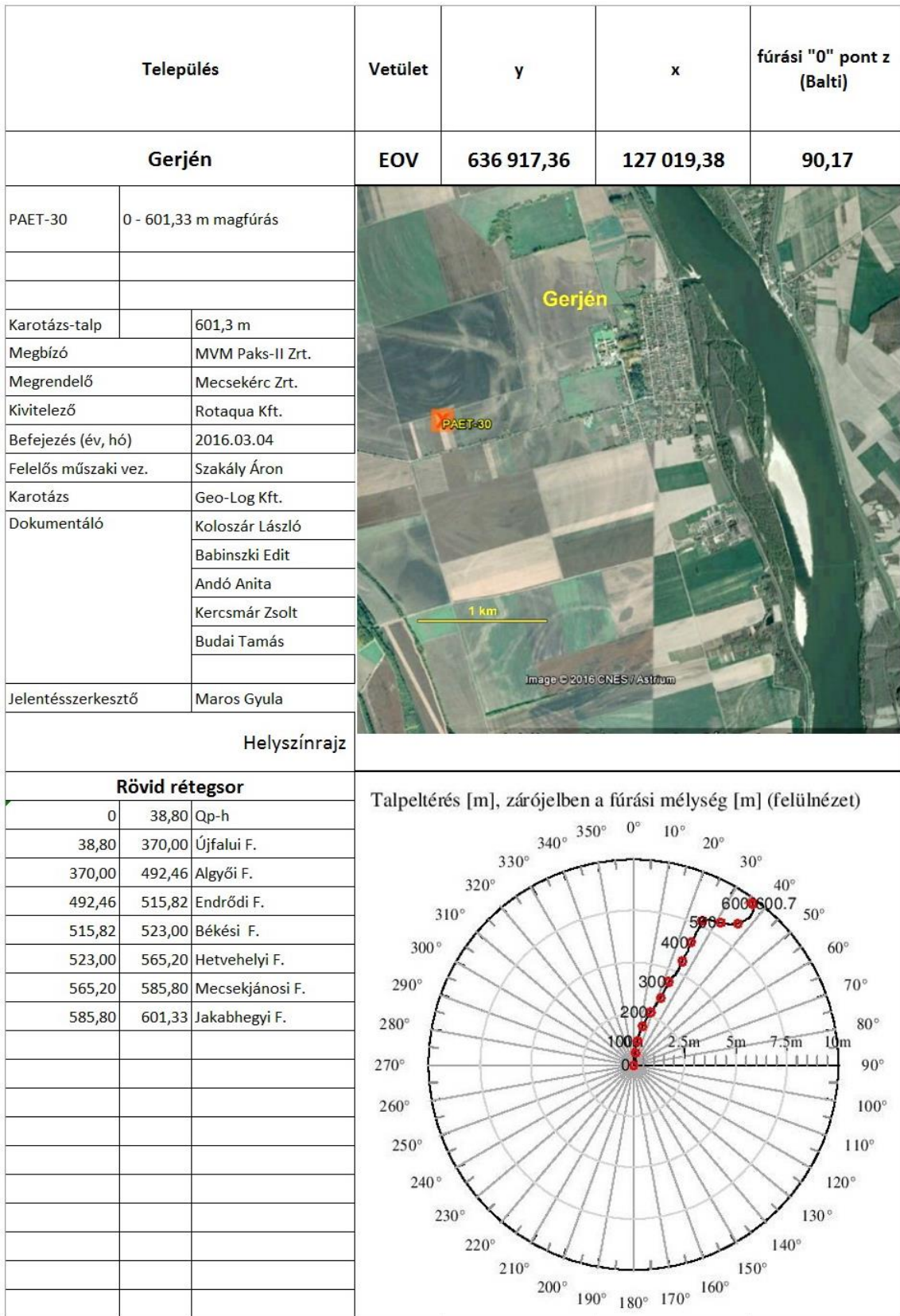
17. ábra A PAET-29 jelű fúrás legfontosabb adatai

PAET-29P



18. ábra A PAET-29P fúrás legfontosabb adatai

PAET-30




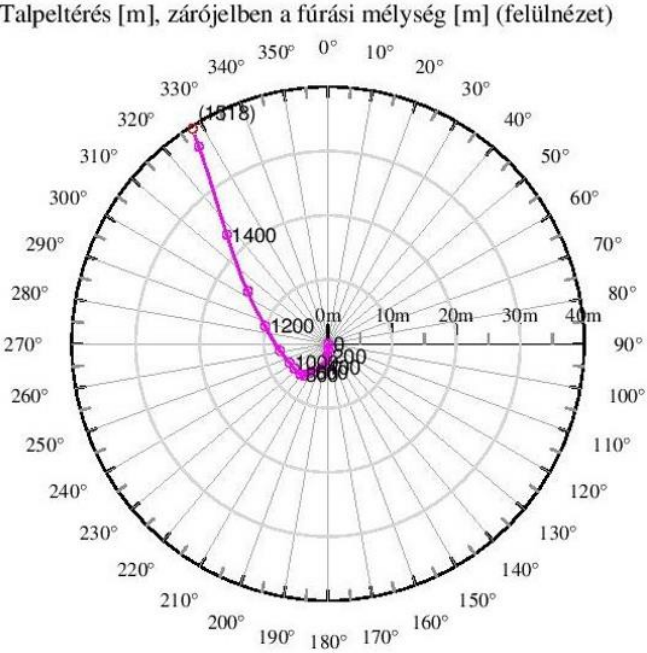
19. ábra A PAET-30 jelű fúrás legfontosabb adatai

PAET-34

Település		Vetület	y	x	fúrési "0" pont z (Balti)
Madocsa		EOV	639 511,92	144 834,98	92,60
PAET-34	0 - 690,30 m teljes szelvényű				
PAET-34	690,30 - 1867,8 magfúrás				
Karotázs-talp	1870,0 m				
Megbízó	MVM Paks-II Zrt.				
Megrendelő	Mecsekérc Zrt.				
Kivitelező	Rotaqua Kft.				
Befejezés (év, hó)	2015.12.16				
Felelős műszaki vez.	Szakály Áron				
Karotázs	Geo-Log Kft.				
Dokumentáló	Selmeczi Ildikó Kercsmár Zsolt Babinszki Edit Andó Anita				
Jelentésszerkesztő	Maros Gyula				
Helyszínrajz					
Rövid rétegsor			Talpeltérés [m], zárójelben a fúrás mélység [m] (felülnézet)		
0	690,30	teljes szelvényű			
690,30	699,55	Lajtai Mészke F.			
699,55	1 224,90	Mecseki Andezit F.			
1 224,90	1 498,40	Szászvári F.			
1 498,40	1 499,20	Gyulakeszi F.			
1 499,20	1 526,20	Szászvári F.			
1 526,20	1 546,17	Gyulakeszi F.			
1 546,17	1 786,70	Szászvári F.			
1 786,70	1 832,46	Gyulakeszi F.			
1 832,46	1 832,95	breccsa			
1 832,95	1 867,80	variszk. metamorfit			

20. ábra A PAET-34 jelű fúrás legfontosabb adatai

PAET-35, -35/1

Település		Vetület	y	x	fúrési "0" pont z (Balti)
Paks		EOV	635 983,01	134 424,26	91,37
PAET-35	0 - 770,60 m teljes szelvényű				
PAET-35	770,60 - 1482,36 magfúrás				
PAET-35/1	1441,25-1518,76 magfúrás				
Karotázs-talp	1517,0 m				
Megbízó	MVM Paks-II Zrt.				
Megrendelő	Mecsekérc Zrt.				
Kivitelező	Rotaqua Kft.				
Befejezés (év, hó)	2016.04.16				
Felelős műszaki vez.	Szakály Áron				
Karotázs	Geo-Log Kft.				
Dokumentáló	GeoEko Kft				
Jelentésszerkesztő	GeoEko Kft.				
Helyszínrajz					
					
Rövid rétegsor					
0	770,60	teljes szelvényű			
770,60	847,70	Endrődi F.			
847,70	879,20	Lajtai Mészkö F.			
879,20	915,40	Budafai F.			
915,40	1518,76	Szászvári F.			
Talpeltérés [m], zárójelben a fúrási mélység [m] (felülnézet)					
					

22. ábra A PAET-35 jelű fúrás legfontosabb adatai

7. táblázat. A PAET jelű sekélyfúrások rövid rétegsora

Jel	EOV_Y	EOV_X	Képződmény	Litosztratigráfia	Rétegtető	Rétegtalp	Vastagság	Fúrástalp
PAET-1	609 818.08	164 501.12	tQh		0	0.73	0.73	101.5
PAET-1	609 818.08	164 501.12	eQpl	Paksi Lössz F.	0.73	22	21.27	101.5
PAET-1	609 818.08	164 501.12	eldQppt	Paksi Lössz F.	22	35.58	13.58	101.5
PAET-1	609 818.08	164 501.12	eQpl	Paksi Lössz F.	35.58	53.22	17.64	101.5
PAET-1	609 818.08	164 501.12	eldQppt	Paksi Lössz F.	53.22	56.02	2.8	101.5
PAET-1	609 818.08	164 501.12	eQpl	Paksi Lössz F.	56.02	58.3	2.28	101.5
PAET-1	609 818.08	164 501.12	fPI-Qp1	Tengelici F.	58.3	61.78	3.48	101.5
PAET-1	609 818.08	164 501.12	eldPI-Qp1	Tengelici F.	61.78	67.49	5.71	101.5
PAET-1	609 818.08	164 501.12	fPI-Qp1	Tengelici F.	67.49	80.5	13.01	101.5
PAET-1	609 818.08	164 501.12	fPI-Qp1	Tengelici F.	80.5	83.61	3.11	101.5
PAET-1	609 818.08	164 501.12	eldPI-Qp1	Tengelici F.	83.61	90.5	6.89	101.5
PAET-1	609 818.08	164 501.12	fPI-Qp1	Tengelici F.	90.5	92.5	2	101.5
PAET-1	609 818.08	164 501.12	eldPI-Qp1	Tengelici F.	92.5	101.5	9	101.5
PAET-2	630 505.01	160 031.85	tQh		0	1.25	1.25	100
PAET-2	630 505.01	160 031.85	eQpl	Paksi Lössz F.	1.25	31.6	30.35	100
PAET-2	630 505.01	160 031.85	eQph	Paksi Lössz F.	22.5	31.5	9	100
PAET-2	630 505.01	160 031.85	eldQppt	Paksi Lössz F.	31.6	32.5	0.9	100
PAET-2	630 505.01	160 031.85	eQpl	Paksi Lössz F.	32.5	34.5	2	100
PAET-2	630 505.01	160 031.85	eldQppt	Paksi Lössz F.	34.5	35.8	1.3	100
PAET-2	630 505.01	160 031.85	eQpl	Paksi Lössz F.	35.8	42.5	6.7	100
PAET-2	630 505.01	160 031.85	eldQp	Paksi Lössz F.	42.5	51	8.5	100
PAET-2	630 505.01	160 031.85	eldPI-Qp1	Tengelici F.	51	62	11	100
PAET-2	630 505.01	160 031.85	M3	Újfalui F.	62	100	38	100
PAET-3	641 872.97	161 605.55	tQh		0	0.25	0.25	101.5
PAET-3	641 872.97	161 605.55	eQpl	Paksi Lössz F.	0.25	23.5	23.25	101.5
PAET-3	641 872.97	161 605.55	eldQppt	Paksi Lössz F.	23.5	23.95	0.45	101.5
PAET-3	641 872.97	161 605.55	eQpl	Paksi Lössz F.	23.95	24.4	0.45	101.5
PAET-3	641 872.97	161 605.55	eldQppt	Paksi Lössz F.	24.4	25.3	0.9	101.5
PAET-3	641 872.97	161 605.55	eQpl	Paksi Lössz F.	25.3	28.32	3.02	101.5
PAET-3	641 872.97	161 605.55	eldQppt	Paksi Lössz F.	28.32	29.4	1.08	101.5
PAET-3	641 872.97	161 605.55	eQpl	Paksi Lössz F.	30	32.5	2.5	101.5
PAET-3	641 872.97	161 605.55	eldQppt	Paksi Lössz F.	32.5	33.95	1.45	101.5
PAET-3	641 872.97	161 605.55	gQp-h		33.95	53	19.05	101.5
PAET-3	641 872.97	161 605.55	eldPI-Qp1	Tengelici F.	53	62.5	9.5	101.5
PAET-3	641 872.97	161 605.55	M3	Újfalui F.	62.5	101.5	39	101.5
PAET-4	651 165.06	160 643.20	tQh		0	1.7	1.7	100
PAET-4	651 165.06	160 643.20	eldPI-Qp1	Tengelici F.	1.7	2.2	0.5	100
PAET-4	651 165.06	160 643.20	gQp		2.2	5.5	3.3	100
PAET-4	651 165.06	160 643.20	eQpl		5.5	9.7	4.2	100

PAET-4	651 165.06	160 643.20	eldQp		9.7	11.4	1.7	100
PAET-4	651 165.06	160 643.20	M3	Újfalui F.	11.4	100	88.6	100
PAET-6	607 716.29	151 609.06	tQh		0	0.8	0.8	100
PAET-6	607 716.29	151 609.06	eQpl	Paksi Lösz F.	0.8	14.3	13.5	100
PAET-6	607 716.29	151 609.06	eldQppt	Paksi Lösz F.	14.3	17.15	2.85	100
PAET-6	607 716.29	151 609.06	eQpl	Paksi Lösz F.	17.15	19.5	2.35	100
PAET-6	607 716.29	151 609.06	eldQppt	Paksi Lösz F.	19.5	21.6	2.1	100
PAET-6	607 716.29	151 609.06	eQpl	Paksi Lösz F.	21.6	23.6	2	100
PAET-6	607 716.29	151 609.06	eldQppt	Paksi Lösz F.	23.6	25.2	1.6	100
PAET-6	607 716.29	151 609.06	eQpl	Paksi Lösz F.	25.2	41.7	16.5	100
PAET-6	607 716.29	151 609.06	eldQppt	Paksi Lösz F.	41.7	42.5	0.8	100
PAET-6	607 716.29	151 609.06	eQpl	Paksi Lösz F.	42.5	44.5	2	100
PAET-6	607 716.29	151 609.06	eldQppt	Paksi Lösz F.	44.5	47	2.5	100
PAET-6	607 716.29	151 609.06	eQpl	Paksi Lösz F.	47	49.6	2.6	100
PAET-6	607 716.29	151 609.06	eldQppt	Paksi Lösz F.	49.6	51.7	2.1	100
PAET-6	607 716.29	151 609.06	eQpl	Paksi Lösz F.	51.7	55.2	3.5	100
PAET-6	607 716.29	151 609.06	eldQppt	Paksi Lösz F.	55.2	57	1.8	100
PAET-6	607 716.29	151 609.06	M3	Újfalui F.	57	100	43	100
PAET-7	619 598.98	155 468.80	tQh		0	0.7	0.7	100
PAET-7	619 598.98	155 468.80	eQp-hh		0.7	5.3	4.6	100
PAET-7	619 598.98	155 468.80	fQp-h		5.3	10.75	5.45	100
PAET-7	619 598.98	155 468.80	eQpl		10.75	19.8	9.05	100
PAET-7	619 598.98	155 468.80	eldPI-Qp1	Tengelici F.	19.8	27.4	7.6	100
PAET-7	619 598.98	155 468.80	M3	Újfalui F.	27.4	100	72.6	100
PAET-8	628 140.44	145 688.45	tQh		0	0.2	0.2	101.5
PAET-8	628 140.44	145 688.45	eQp-hh		0.2	7.5	7.3	101.5
PAET-8	628 140.44	145 688.45	gQp-h		7.5	9.1	1.6	101.5
PAET-8	628 140.44	145 688.45	M3	Újfalui F.	9.1	101.5	92.4	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	tQh		0	1.2	1.2	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	eQpl	Paksi Lösz F.	1.2	11.8	10.6	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	eldQppt	Paksi Lösz F.	11.8	16.4	4.6	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	eQpl	Paksi Lösz F.	16.4	30	13.6	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	eldQppt	Paksi Lösz F.	30	30.8	0.8	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	eQpl	Paksi Lösz F.	30.8	41.5	10.7	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	eldQppt	Paksi Lösz F.	41.5	42.6	1.1	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	eQpl	Paksi Lösz F.	42.6	49	6.4	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	eldQppt	Paksi Lösz F.	49	49.85	0.85	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	eQpl	Paksi Lösz F.	49.85	53.5	3.65	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	eldQppt	Paksi Lösz F.	53.5	54	0.5	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	eQpl	Paksi Lösz F.	54	72.8	18.8	101.5

PAET-9	636 788.61	144 644.06	eldQppt	Paksi Lösz F.	72.8	76	3.2	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	eQpl	Paksi Lösz F.	76	76.9	0.9	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	eldQppt	Paksi Lösz F.	76.9	79.5	2.6	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	eldQp	Paksi Lösz F.	79.5	80.6	1.1	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	eldQppt	Paksi Lösz F.	80.6	85.2	4.6	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	eldPI-Qp1	Tengelici F.	85.2	97.2	12	101.5
PAET-9	636 788.61	144 644.06	M3	Újfalui F.	97.2	100	2.8	101.5
PAET-10	664 873.53	147 796.04	fQp-h		0	93	93	100
PAET-10	664 873.53	147 796.04	M3	Újfalui F.	93	100	7	100
PAET-11	614 096.31	138 121.12	tQh		0	0.41	0.41	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eQpl	Paksi Lösz F.	0.41	8.2	7.79	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	8.2	8.3	0.1	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eQpl	Paksi Lösz F.	8.3	8.55	0.25	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	8.55	9.33	0.78	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eQpl	Paksi Lösz F.	9.33	18.5	9.17	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	18.5	19.1	0.6	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eQpl	Paksi Lösz F.	19.1	20.5	1.4	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	20.5	21.5	1	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eQpl	Paksi Lösz F.	21.5	21.73	0.23	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	21.73	25.3	3.57	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eQpl	Paksi Lösz F.	25.3	30.2	4.9	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	30.2	37	6.8	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eQpl	Paksi Lösz F.	37	43.5	6.5	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	43.5	45.4	1.9	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eldqp	Paksi Lösz F.	45.4	47	1.6	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	47	48.5	1.5	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eQpl	Paksi Lösz F.	48.5	49.9	1.4	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	49.9	51.36	1.46	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eQpl	Paksi Lösz F.	51.36	60.54	9.18	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	60.54	61	0.46	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eQpl	Paksi Lösz F.	61	62.6	1.6	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	62.6	65.47	2.87	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eQpl	Paksi Lösz F.	65.47	68.65	3.18	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	68.65	70.7	2.05	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eQpl	Paksi Lösz F.	70.7	72.6	1.9	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	72.6	73.6	1	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	eldPI-Qp1	Tengelici F.	73.6	78.9	5.3	101.5
PAET-11	614 096.31	138 121.12	M3	Újfalui F.	78.9	101.5	22.6	101.5
PAET-12	626 098.82	139 004.65	tQh		0	1.5	1.5	100
PAET-12	626 098.82	139 004.65	eQpl	Paksi Lösz F.	1.5	13.1	11.6	100

PAET-12	626 098.82	139 004.65	eldQppt	Paksi Lösz F.	13.1	14.4	1.3	100
PAET-12	626 098.82	139 004.65	eQpl	Paksi Lösz F.	14.4	22	7.6	100
PAET-12	626 098.82	139 004.65	eldQppt	Paksi Lösz F.	22	24.4	2.4	100
PAET-12	626 098.82	139 004.65	eQpl	Paksi Lösz F.	24.4	28.2	3.8	100
PAET-12	626 098.82	139 004.65	eldQppt	Paksi Lösz F.	28.2	30	1.8	100
PAET-12	626 098.82	139 004.65	eQpl	Paksi Lösz F.	30	32.8	2.8	100
PAET-12	626 098.82	139 004.65	eldQppt	Paksi Lösz F.	32.8	34.1	1.3	100
PAET-12	626 098.82	139 004.65	eQpl	Paksi Lösz F.	34.1	35.5	1.4	100
PAET-12	626 098.82	139 004.65	eldQppt	Paksi Lösz F.	35.5	36.5	1	100
PAET-12	626 098.82	139 004.65	eQpl	Paksi Lösz F.	36.5	40.3	3.8	100
PAET-12	626 098.82	139 004.65	eldQppt	Paksi Lösz F.	40.3	47.4	7.1	100
PAET-12	626 098.82	139 004.65	M3	Újfalui F.	47.4	100	52.6	100
PAET-13	639 543.29	137 590.19	tQh		0	0.9	0.9	101.5
PAET-13	639 543.29	137 590.19	eQp-hh		0.9	3.57	2.67	101.5
PAET-13	639 543.29	137 590.19	fdQp-h		3.57	4.5	0.93	101.5
PAET-13	639 543.29	137 590.19	fQp-h		4.5	29.2	24.7	101.5
PAET-13	639 543.29	137 590.19	M3	Újfalui F.	29.2	101.5	72.3	101.5
PAET-15	651 333.63	136 674.99	tQh		0	0.4	0.4	100
PAET-15	651 333.63	136 674.99	eQp-hh		0.4	1.95	1.55	100
PAET-15	651 333.63	136 674.99	fQp-h		1.95	16.15	14.2	100
PAET-15	651 333.63	136 674.99	fdQp-h		16.15	17	0.85	100
PAET-15	651 333.63	136 674.99	fQp-h		17	18.12	1.12	100
PAET-15	651 333.63	136 674.99	fdQp-h		18.12	19.1	0.98	100
PAET-15	651 333.63	136 674.99	fQp-h		19.1	20.95	1.85	100
PAET-15	651 333.63	136 674.99	lQp-h		20.95	21.1	0.15	100
PAET-15	651 333.63	136 674.99	fQp-h	Újfalui F.	21.1	86	64.9	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	tQh		0	0.55	0.55	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eQpl	Paksi Lösz F.	0.55	12.1	11.55	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eldQppt	Paksi Lösz F.	12.1	12.65	0.55	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eQpl	Paksi Lösz F.	12.65	29	16.35	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eldQppt	Paksi Lösz F.	29	32.05	3.05	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eQpl	Paksi Lösz F.	32.05	37.8	5.75	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eldQppt	Paksi Lösz F.	37.8	40.2	2.4	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eQpl	Paksi Lösz F.	40.2	48.8	8.6	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eldQppt	Paksi Lösz F.	48.8	50.8	2	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eQpl	Paksi Lösz F.	50.8	54.8	4	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eldQppt	Paksi Lösz F.	54.8	56.2	1.4	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eQpl	Paksi Lösz F.	56.2	58.2	2	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eldQppt	Paksi Lösz F.	58.2	61	2.8	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eQpl	Paksi Lösz F.	61	63.2	2.2	100

PAET-17	615 943.07	128 085.50	eldQppt	Paksi Lösz F.	63.2	66.1	2.9	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eQpl	Paksi Lösz F.	66.1	71.4	5.3	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eldQppt	Paksi Lösz F.	71.4	73.6	2.2	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eQpl	Paksi Lösz F.	73.6	75.8	2.2	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eldQppt	Paksi Lösz F.	75.8	76.8	1	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eQpl	Paksi Lösz F.	76.8	78.8	2	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	eldPI-Qp1	Tengelici F.	78.8	80.3	1.5	100
PAET-17	615 943.07	128 085.50	M3	Újfalui F.	80.3	100	19.7	100
PAET-18	629 494.89	130 695.82	tQh		0	0.62	0.62	100
PAET-18	629 494.89	130 695.82	eQp-hh		0.62	9	8.38	100
PAET-18	629 494.89	130 695.82	gQp-h		9	13.65	4.65	100
PAET-18	629 494.89	130 695.82	fQp-h		13.65	30.55	16.9	100
PAET-18	629 494.89	130 695.82	M3	Újfalui F.	30.55	100	69.45	100
PAET-20	650 240.45	125 891.19	tQh		0	0.4	0.4	100
PAET-20	650 240.45	125 891.19	eQp-hh		0.4	3.5	3.1	100
PAET-20	650 240.45	125 891.19	fQp-h		3.5	81.7	78.2	100
PAET-20	650 240.45	125 891.19	M3	Újfalui F.	81.7	100	18.3	100
PAET-21	626 143.79	123 427.14	tQh		0	2.1	2.1	100
PAET-21	626 143.79	123 427.14	eQph		2.1	9.8	7.7	100
PAET-21	626 143.79	123 427.14	eQpl	Paksi Lösz F.	9.8	12.5	2.7	100
PAET-21	626 143.79	123 427.14	eldQppt	Paksi Lösz F.	12.5	14.23	1.73	100
PAET-21	626 143.79	123 427.14	eQpl	Paksi Lösz F.	14.23	15.5	1.27	100
PAET-21	626 143.79	123 427.14	eldQppt	Paksi Lösz F.	15.5	17	1.5	100
PAET-21	626 143.79	123 427.14	eQpl	Paksi Lösz F.	17	21.5	4.5	100
PAET-21	626 143.79	123 427.14	eldQppt	Paksi Lösz F.	21.5	32.98	11.48	100
PAET-21	626 143.79	123 427.14	eQpl	Paksi Lösz F.	32.98	38.36	5.38	100
PAET-21	626 143.79	123 427.14	eldPI-Qp1	Tengelici F.	38.36	62.5	24.14	100
PAET-21	626 143.79	123 427.14	M3	Újfalui F.	62.5	100	37.5	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	tQh		0	0.19	0.19	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	eQhh		0.19	2.07	1.88	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	tQh		2.07	3.8	1.73	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	eQp-hh		3.8	7.14	3.34	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	fdQp-h		7.14	12.19	5.05	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	eQph		12.19	19	6.81	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	fQp		19	21	2	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	gQp		21	22.53	1.53	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	lQp		22.53	26.66	4.13	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	eldQp		26.66	26.84	0.18	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	fQp		26.84	48	21.16	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	lQp		48	48.53	0.53	100

PAET-22	661 330.17	119 942.16	fQp		48.53	52.5	3.97	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	lQp		52.5	55.5	3	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	fQp		55.5	58.5	3	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	lQp		58.5	63	4.5	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	fQp		63	69.5	6.5	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	lQp		69.5	70.5	1	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	fQp		70.5	76.87	6.37	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	lQp		76.87	81.62	4.75	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	fQp		81.62	87	5.38	100
PAET-22	661 330.17	119 942.16	M3	Újfalui F.	87	100	13	100
PAET-23	611 308.00	113 954.12	tQh		0	2.34	2.34	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eQpl	Paksi Lösz F.	2.34	7.22	4.88	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	7.22	8.56	1.34	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eQpl	Paksi Lösz F.	8.56	19.81	11.25	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	19.81	20.4	0.59	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	gQp	Paksi Lösz F.	20.4	21.5	1.1	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eQpl	Paksi Lösz F.	21.5	26.83	5.33	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	26.83	27.64	0.81	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	gQp	Paksi Lösz F.	27.64	28.6	0.96	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eQpl	Paksi Lösz F.	28.6	28.86	0.26	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	gQp	Paksi Lösz F.	28.86	29.44	0.58	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eQpl	Paksi Lösz F.	29.44	31.27	1.83	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	31.27	31.5	0.23	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eQpl	Paksi Lösz F.	31.5	38.5	7	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	38.5	41.61	3.11	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eQpl	Paksi Lösz F.	41.61	43.9	2.29	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	43.9	48.4	4.5	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eQpl	Paksi Lösz F.	48.4	49	0.6	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	49	52.74	3.74	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eQpl	Paksi Lösz F.	52.74	60.5	7.76	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eldQppt	Paksi Lösz F.	60.5	62	1.5	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	eldPI-Qp1	Tengelici F.	62	71.4	9.4	101.5
PAET-23	611 308.00	113 954.12	M3	Újfalui F.	71.4	101.5	30.1	101.5

Táblázat magyarázat:

- eldPI-Qp1: pliocén-alsó pleisztocén eluviális-deluviális üledék
- eldQp: pleisztocén eluviális-deluviális üledék
- eldQppt: pleisztocén eluviális-deluviális üledék, paleotalaj
- eQhh: holocén eolikus (futóhomok) üledék
- eQph: pleisztocén-holocén eolikus üledék
- eQp-hh: pleisztocén-holocén eolikus (futóhomok) üledék
- eQpl: pleisztocén eolikus (lösz) üledék
- fdQp-h: pleisztocén-holocén folyóvízi-deluviális üledék
- flPI-Qp1: pliocén-alsó pleisztocén folyóvízi-limnikus üledék
- fPI-Qp1: pliocén-alsó pleisztocén folyóvízi üledék
- fQp: pleisztocén folyóvízi üledék
- fQp-h: pleisztocén-holocén folyóvízi üledék

- gQp: pleisztocén gravitációs üledék
- gQp-h: pleisztocén-holocén gravitációs üledék
- lQp: pleisztocén limnikus üledék
- lQp-h: pleisztocén-holocén limnikus üledék
- M3: felső miocén üledékek
- tQh: holocén talaj

2.1.3.3 A mélyfúrás-geofizika feladatai, módszerei, eszközei, a projekten belül végzett feladatok és elért eredmények

A tervezett telephely alkalmassággal kapcsolatos földtani kutatás során a tervezett telephelyen és tágabb (30 km sugarú területen) az egyéb kutatási tevékenység mellett földtani, hidrogeológiai, szeizmológiai és geotechnikai célú kutatófúrások mélyültek.

A 2.1.3 fejezet bevezetőjében ismertetett, különböző célú fúrásos kutatások során a fúrásokban és az azokból kialakított kutakban a mélyfúrás-geofizikai és kútszerkezet vizsgálati méréseket a Geo-Log Kft. végezte.

A vizsgálatok a következő dokumentum azonosítóval ellátott műveleti tervek alapján történtek:

- mélyfúrás-geofizikai műveleti terv (PA2-15-GF-06)
- közepes fúrások (100-150 m) mélyfúrás-geofizikai műveleti terve (PA2-15-GF-08)

A mélyfúrás-geofizikai mérések célja fúrási, geofizikai, földtani, tektonikai, hidrogeológiai, geotechnikai információk szolgáltatása a társ szakterületek részére. A mélyfúrás-geofizika feladata az elkészült fúrásokban és kutakban, a megadott időpontban teljes körűen és szakszerűen elvégezni a kijelölt méréseket, a méréseket feldolgozni, magas színvonalon kiértékelni és az eredményeket a tervek és a társ szakterületek elvárásai szerinti formában dokumentálni és továbbítani.

A fúrások a kutatás célja szerint különböző mélységgel (15 métertől 1 980 méterig) létesültek, ettől függően más-más méréseket kellett bennük végezni. A fúrások helye és mélysége az egyes kutatási szakterületek előzetes tervei alapján lett meghatározva, a fúrások adatait és az elvégzett méréseket az alábbi táblázatok (8. táblázattól – 10. táblázatig) tartalmazzák.

A Geo-Log Kft. a tervezett telephelyen belüli, geotechnikai célú kutak vizsgálatát 2015. július 10. és 2016. február 3. között végezte el. Egy nap – egy - két eset kivételével – 2 - 3 kút vizsgálatával lett kész. Több esetben előfordult, hogy a kútszerkezet ellenőrző mérésekre és a dinamikus vizsgálatokra két külön napon került sor. A mérés kezdetére a kutakból a Dataqua vízszintregisztrálók kiépítették, hogy a szondák akadálytalanul beemelhetők legyenek a kútba. A statikus mérések elvégzése után a dinamikus mérések következtek a szivattyús termelés mellett. A 15 m-es kutakban nem készültek áramlásmérések, mivel a kutak kis talpmélysége és a mélyen lévő nyugalmi vízszint miatt a szivattyút csak a szűrőzött szakaszra lehetett volna beépíteni.

8. táblázat A nagymélységű fúrások főbb adatai

Fúrás neve	Y (EOV)	X (EOV)	Z (mBf)	Fúrt mélység (m)	Mérés dátuma	Elvégzett mérésfajták
PAET-26	629219,23	153248,02	150,07	560,0	2015.05.12.– 2015.07.04.	Alap+ DIP/ABI,SGR
PAET-27	628363,5	128806,13	99,39	919,1	2015.09.28.– 2016.03.26.	Alap+ DIP/ABI,SGR
PAET-29	630227,94	140540,95	132,81	1950,0	2015.05.07.– 2016.04.15.	Alap+ IND,DIP/ABI,SGR
PAET-29P	630221,81	140551,12	132,96	620,0	2016.02.21.– 2016.04.02.	DIP
PAET-30	639917,35	127019,62	90,63	601,3	2015.11.14.– 2016.01.25.	Alap+ IND,DIP/ABI,SGR
PAET-34	639511,89	144834,98	92,02	1867,8	2015.05.16.– 2016.02.08.	Alap+ IND,DIP/ABI,SGR
PAET-34P	639503,73	144830,07	91,69	700,0	2016.04.13.– 2016.05.27.	DIP
PAET-35	635983,03	134424,21	90,13	1518,8	2015.07.18.– 2016.04.21.	Alap+ DIP/ABI

A DIP és ABI méréseket-egymást kiegészítve alkalmazták. SGR mérés egy esetben sem a fúrás teljes hosszán készült.

9. táblázat A telephely tágabb körzetében mélyült sekély mélységű (100-150 m mély) fúrások főbb adatai

Fúrás jele	Bemért X	Bemért Y	Bemért Z	Talpmélység (m)	Mérés dátuma*	Elvégzett mérésfajták
PAET-1	164499,31	609813,83	155,46	101,5	2016.01.23.	Alap+IND
PAET-2 SZMA	160030,92	630499,58	179,37	154,0	2015.09.16., 09.22.	Alap+INC,DI R,CBL
PAET-3	161605,07	641873,48	150,22	101,5	2015.12.06.	Alap +IND
PAET-4	160642,99	651165,10	105,28	100,0	2015.12.09.	Alap +IND
PAET-6	151609,40	607714,87	199,01	100,0	2015.11.12.	Alap +IND
PAET-7	155473,88	619605,53	117,30	100,0	2016.01.19.	Alap +IND
PAET-8	145687,55	628137,81	144,57	101,5	2015.11.07.	Alap +IND
PAET-9	144640,69	636783,52	171,87	101,5	2015.09.24.	Alap
PAET-10 SZMA	147797,44	664869,29	93,98	154,0	2015.09.15., 09.24.	Alap+INC,DI R,CBL
PAET-11	138122,19	614095,10	196,00	101,5	2015.09.22.	Alap
PAET-12 SZMA	139012,51	626096,97	184,73	154,0	2015.08.05., 08.11.	Alap+INC,DI R
PAET-13	137594,42	639541,38	91,68	100,0	2015.12.18.	Alap
PAET-15	136670,57	639332,91	92,55	100,0	2015.12.15.	Alap
PAET-17 SZMA	128081,83	615942,35	174,35	153,0	2015.09.01.	Alap+INC,DI R,CBL
PAET-18	130696,78	629495,45	101,75	100,0	2015.10.05.	Alap
PAET-20	125891,19	650240,54	90,96	100,0	2015.12.03.	Alap+IND
PAET-21	123427,07	626143,70	108,09	100,0	2015.10.26.	Alap
PAET-22 SZMA	119935,37	661333,54	110,80	156,0	2015.11.10., 11.17.	Alap+INC,DI R,CBL
PAET-23	113955,66	611307,72	150,75	100,0	2015.10.28.	Alap

* A második dátum a cementezés utáni cementpalást vizsgálat időpontja.

10. táblázat A sekélyföldtani vizsgálatokhoz kapcsolódó fúrások főbb adatai

Fúrás neve	Y (EOV)	X (EOV)	Z (mBf)	Talpmélység (m)	Mérés dátuma	Elvégzett mérésfajta
PA-21-A	136168,62	634378,13	95,48	40,0	2016.07.01.	Alap+IND
PA-21-B	136132,73	634407,29	95,23	40,0	2016.07.01.	Alap+IND
PA-21-C	136063,83	634462,56	95,29	38,0	2016.06.23.	Alap +IND
PA-21-D1	136075,08	634452,51	95,23	40,0	2016.07.01.	Alap +IND
PA-21-E1	136329,66	634245,94	94,74	40,7	2016.07.01.	Alap +IND
PA-21-F3	135923,95	634661,97	96,15	50,5	2016.07.08.	Alap +IND
PA-21-G4	135905,32	634767,84	96,39	40,0	2016.07.08.	Alap +IND
PA-22-A	138167,99	637019,32	91,38	40,2	2016.07.31.	Alap +IND
PA-22-B	138160,34	637025,62	91,28	39,8	2016.07.28.	Alap +IND
PA-22-C	138151,91	637031,85	91,11	40,4	2016.07.26.	Alap +IND

A hidrogeológiai-, geotechnikai célú fúrásokban elvégzett mérések adatai a 2.2.3. fejezetben kerülnek bemutatásra.

Számszerű adatok:

- összesen 125 fúrásban végeztek méréseket
- kivonulások száma: 222 db
- a mért össz hossz: 33 640 fm
- elmaradt mérési hossz (fúrástechnikai okokból): ~200 fm (7 szakasz)
- DIP mérési hossz: ~3 400 méter
- ABI mérési hossz: 3 878,6 méter
- SGR mérési hossz: 1 781,1 méter
- technikai mérések hossza: 9 935,2 m

A mérések során összesen 21 mérési módszert alkalmaztak. A méréseket több mérőberendezéssel végezték a feladat (mélyfúrás vagy sekélyfúrás), illetve a feladatok egyidejűsége függvényében. Az alkalmazott szondák száma 60 db, amit az egyidejű mérések, váratlan mérés megrendelések, a fúrások nagy átmérő tartománya, valamint a különböző okok (pl.: magas hőmérséklet, szorulás, stb.) miatti meghibásodások indokoltak.

A kutatási tervben, illetve a szerződésben meghatározott valamennyi módszerhez rendelkezésre állt megfelelő eszközpark, illetve a DIP (rétegdőlésmérés) és SGR (spektrál-gamma) eszközt kifejezetten a projekt érdekében szerezték be. Az eszközöket a projekt felkészülési időszakban és szükség szerint a projekt közben is kalibrálták az eszközre vonatkozó eljárásrend szerint.

Minden fúrástípusban (azok céljától és mélységétől függően) különböző mérési összeállítások szerint végezték méréseket az alábbiak szerint.

Alapmérések:

- potenciál típusú ellenállás,
- természetes potenciál
- mikroellenállás
- mágneses szuszceptibilitás
- lyukátmérő
- természetes gamma

- hőmérséklet
- akusztikus hullámkép
- neutronporozitás
- sűrűség

Az Alapméréseket az összes nagymélységű és sekélymélységű fúrásban elvégezték (beleértve a vágatkutatáshoz kapcsolódó fúrásokat is), valamint a telephelyen belüli kis mélységű fúrások közül a D és a CH jelűekben.

Néhány fúrásban az FKP-ben nem megkövetelt indukciós ellenállást is mértek. A szuszceptibilitás mérést több esetben olyan kombinált szondával végezték, amelyik indukciós ellenállás csatornát is tartalmaz, ezért a kis mélységű fúrások és a mélyfúrások felső szakaszán indukciós ellenállásmérés is történt.

Speciális mérések:

- rétegdőlésmérés (DIP)
- akusztikus lyukfalleképezés (ABI)
- spektrál-gamma

A speciális méréseket kizárólag a nagymélységű fúrásokban végezték el, de — különböző okokból — nem a teljes fúráshosszakban.

Rétegdőlésmérést (DIP) a mélyfúrások felső, kevésbé konszolidált szakaszán mértek, ami jellemzően a pannóniai és fiatalabb üledékeket jelenti.

ABI mérést csak konszolidált, kemény kőzetben lehet mérni, a mérés által szolgáltatott eredmény (180 irány, jobb vertikális felbontás, stb.) azonban sokkal részletesebb, mint a DIP mérésé, ezért — ahol csak lehet — az ABI mérést részesítették előnyben. Néhány fúrásban átfedő szakaszok is voltak (pl. a PAET-26-os fúrásban, amely az első, kísérleti szelvényezés volt, abból a szempontból, hogy melyik mérés hol alkalmazható és mennyire használhatók a mérési eredmények).

Spektrál-gamma mérések a terv szerint a fúrások azon szakaszán voltak, ahol a fúrás miocén összetétet harántolt.

Technikai mérések:

- lyukátmérő ellenőrzés
- hőmérsékletmérés
- ferdeségmérés
- cementpalást ellenőrzés

Ezek a mérések — általában — nem földtani kutatási jellegűek, hanem a nyitott, vagy csövezett fúrások technikai adatait (átjárhatóság, talpmélység, csövezés mélysége, lyukferdeség, cementezés minősége) hivatottak ellenőrizni, illetve pontosítani, vagy valamilyen különleges — nem minden fúrásban szükséges — művelet elvégzését jelentik (pl. mélységi vízmintavétel, áramlásmérés, hőmérsékletmérés, hidropesztés ellenőrzése).

A technikai mérésekről készült rajzok és kiértékelések a nagymélységű fúrások esetében az egyedi fúrásjelentés mellékleteit képezik, a geotechnikai célú fúrások esetében a kútvizsgálati mérésekről készült, „A telephelyen belüli kútvizsgálati mérések dokumentálása és értékelése” című jelentés mellékleteiként található meg, míg a sekélymélységű fúrások

esetében a „Sekély mélységű kutatófúrások egységes összefoglaló jelentése (1.3.2.)” című jelentés mellékleteiként szerepelnek.

Kútvizsgálati mérések

Csőbelső átmérő, természetes gamma, hőmérséklet, szűrőhely-ellenőrzés (elektromos mérés, kamerázás vagy OBI), áramlás- és hőmérsékletmérés: kútvizsgálati méréseket kizárólag a telephelyen belüli fúrásokban végeztek. A kútvizsgálati mérésekről önálló jelentést készítettek, „A telephelyen belüli kútvizsgálati mérések dokumentálása és értékelése” címmel.

Nagy kihívás volt a mélyfúrások FKP-ban tervezett maximális mélységének 1 500 m-ről 2 000 m-re való növelése (2.1.3), ugyanis a paksi kutatási területen van az ország egyik legnagyobb hőmérsékleti gradiense, így 1900 m-ben a talphőmérséklet már egyes fúrásokban elérheti a 130°C-ot. Ez a hőmérséklet tartomány már felül van a nagyhőmérsékletre készült eszközök működési tartományán. Mindezek ellenére a méréseket még ebben a tartományban is sikeresen elvégezték.

A PAET-29, 34 és 35 jelű fúrások kezdő átmérője 400 mm felett volt, itt néhány mérést nem volt értelme elvégezni (ezeket a párhuzamosan mélyült, „P” jelű ikerfúrásokban pótoltuk). A PAET-29 fúrás legalsó, NQ (76 mm)-re csökkent átmérőjű szakaszán szintén teljes körű méréseket tudtak végezni.

A fúrások műszaki állapota miatt nehézségek adódtak a PAET-35 és 30-as fúrások szelvényezésekor, az omlások miatt több esetben csak a fúrórudazaton keresztül lehetett mérést végezni, így elmaradtak az akusztikus és elektromos módszerek. Ezen túl a kavernásság miatt a lyukátmérő helyenként meghaladhatta a béléscső belső átmérőjét, ilyen esetben több eszközt nem lehetett megfelelően központosítani.

A munkák kivitelezése során nagyon lényeges eltérés volt a DIP és az ABI mérések aránya. Előzetesen jóval több DIP mérés volt tervezve, mint ABI, de a kivitelezés során — a konszolidált, keményebb kőzetek harántolásakor — sokkal több esetben — és az előzetesen vártnál kisebb mélységtől — tudtuk az ABI szondát alkalmazni, így az arány eltolódott az ABI mérés javára. Ez azért volt szerencsés, mert az ABI mérés részletesebb képet ad a lyukfalról, több irányba (max. 180) mér átmérőt, mint a DIP (2 irány), így az ABI mérés sokkal informatívabb (pl. breakout).

A megrendelő kérésére a tervezett 4000 fm spektrál mérés mennyisége a felére csökkent, végül 1781 méteren történt mérés.

Mérésadatgyűjtő típusa	Gyártó
NEW MOLE	Geo-Log
ALT Logger	ALT (Advanced Logic Technology , Luxemburg)

A mélyfúrás geofizikai mérések és a belőlük szerkesztett komplex szelvények segítettek a földtani dokumentációt. A szelvényeken kijelölték a réteghatárokat, a magleírások felhasználásával geofizikai rétegsort értelmeztek minden fúrásra, valamint megadták a görbék alapján kijelölhető földtani egységek, korok határait.

A fúrásokban végzett ferdeségméréseknek több célja volt, egyrészt fúrástechnikai információ szerzése, másrészt a fúrásokban mért adatok pontos helyének meghatározása,

végül a crosshole-mérések során a minél pontosabb sebességértékek meghatározásához elengedhetetlen a fúrások trajektóriájának ismerete.

A nagymélységű PAET fúrásokban mért sűrűségi-szelvény és az akusztikus hullámképből meghatározott V_p és V_s közetsebesség szelvények egyrészt a szeizmika idő-mélység összefüggésének pontosításához, ellenőrzéséhez volt felhasználható, másrészt a hőmérséklet méréssel kiegészülve a geodinamikai modellhez voltak nélkülözhetetlen adatok. Ehhez a modellhez a sebesség és sűrűség adatokból rugalmas paramétereket számítottunk földtani egységekre (pannon – miocén – aljzat) külön-külön átlagolva az adatokat. A nyíróhullám sebességre félempirikus formulát alkottunk, hogy az akusztikus szempontból lassú kőzeteknél is becsülhető legyen.

A közepes és a nagy mélységű PAET fúrásokra a neutronporozitás, a sűrűség, a közetsebesség (V_p) és a természetes gamma szelvényekből a kvarter és a pannon összletre hidrogeológiai paramétereket számítottak (effektív porozitás, szivárgási tényező). Ezek az adatok a terület regionális vízföldtani modelljének megalkotásához voltak fontosak. A telephelyen belül végzett kútvizsgálati mérésekből számított paraméterek pedig a lokális hidrogeológiai kép megismeréséhez, modell alkotásához járultak hozzá.

A mélyfúrásokban végzett rétegdőlés mérés elsősorban a pannon, de helyenként az idősebb miocén kőzetekben is alkalmasnak bizonyult a rétegdőlés meghatározására. A 4 padon mért mikroellenállásgörbékéből kétfajta módszerrel állítottak elő dőlésértékeket. A feldolgozó szoftver segítségével előre meghatározott (ez esetben 2 m, 1 m-es lépésközzel) hosszúságú szakaszonként vetették össze a mikroellenállásgörbék hasonlóságát a sokcsatornás akusztikus mérések kiértékelésénél is használatos automata semblance-módszer segítségével („semblance korreláció”) valamint kézi kijelölést is alkalmaztak.

Az akusztikus lyukfaltelevíziós felvételek feldolgozása, értelmezése során a felvételeken bejelölték a fúrólyukat metsző síkokhoz tartozó sinusokat, majd az akusztikus futásidő és az amplitúdószelvényen látható követhetőségük és vastagságuk alapján osztályozták őket. Ezek után — általában a harántolt formációk, esetleg a lyukgeofizikai görbék trendjei alapján — mélységtartományonként Schmidt-hálón, déli félgömbre vetített pólusdiagramon tanulmányozható a síkpopulációk irányeloszlása. Az értékelés során külön figyelmet fordítottak a réteghatárok azonosítására is. A breakoutok és a hidrorepszteésekkel indukált repedések lyukfaltelevíziós felvételeken észlelt irányai általában jó összhangban voltak egymáshoz, és a korábbi ismeretek alapján a területre elvárt irányokhoz képest is; ezek mind fontos információval szolgáltak a geodinamikai modellezéshez.

Spektrálgamma mérés több fúrás változó hosszúságú és mélységű szakaszán készült. Mivel a harántolt geológia szintén változatos (magmás, metamorf, üledékes kőzetek, evaporit), a számított K, Th, és U szelvényeken tapasztalt anomáliák a kőzetminőség ismeretében bizonyultak helyesen értelmezhetőnek.

A telephelyen belüli 100 m-es fúrások geofizikai mérései alapján korrelálták a kvarter–pannon rétegeket két kereszt-szelvény mentén, majd egyéb, archiv fúrások adataival kiegészítve építettek egy 3D modellt a területre.

A két árkolásnál szintén elkészítették a fúrások korrelációját a lyukgeofizikai görbék alapján, a magleírásokkal egyeztetve. E mérések és értelmezéseik a kvarter rétegtan és a kvarter vastagságtérképek előállításához nagyban hozzájárultak.

2.1.3.4 Hidrogeológia

2.1.3.4.1 Hidrodinamikai vizsgálatok

A hidrodinamikai vizsgálatok célja

A hidraulikai vizsgálatok célja általánosságban a kutatási terület földtani képződményeinek és szerkezeteinek vízföldtani jellemzése a kutatófúrások maggal mélyülő szakaszán. Az egyedi mérések alapján meg lehet határozni a vizsgált fúrólúkszakasz vízvezető képességét, ill. a formációvíz nyugalmi hidraulikus potenciálszintjét.

A rövid időtartamú termeltetési vizsgálatok a fúrólúk néhány méter sugarú környezetének vízvezető képességéről adtak információt. A hidraulikus potenciálszint megbízható meghatározásához hosszabb idejű mérésre volt szükség, amely a fúrólúk távolabbi környezetére és az áramlás jellegére, geometriájára is szolgáltatott információt. Az alacsonyabb vízáteresztő képességű szakaszok jellemzésére a „slug” tesztek szolgáltak.

A víztermeléseket követően megvett vízminták a vízkémiai jellemzők mellett a vízáramlási kép pontosításához nyújtottak segítséget.

Alkalmazott vizsgálati módszerek és eszközök

A hidrodinamikai tesztek előtt minden esetben meghatározták a vizsgált szakasz nyugalmi nyomásszintjét. Ez, a műszaki tartalomban meghatározott SEBA típusú kézi vízszintmérővel történt, 1 cm-es pontossággal. Néhány teszt esetében DATAQUA típusú automata vízszintregisztrálót is beépítettek a gyakoribb mérések érdekében.

Mindegyik termeltetési vizsgálatához 2"-os GRUNDFOS SQ 2-55 típusú bűvárszivattyút használtak, folyamatosan állandó hozamra törekedve. A tesztek során mérték a vízszint változását, valamint a kifolyó víz helyszíni fizikokémiai paramétereit (hőmérséklet, fajlagos elektromos vezetőképesség, pH, redoxpotenciál és oldott oxigén tartalom). A vízhozam meghatározása vízórával, illetve köbözéssel történt. Az üzemi vízszint beállása után került a sor az esetleges vízmintavétel(ek)re, majd a szivattyú leállítását követően visszatöltődés mérés zajlott.

Kisebb hidraulikus vezetőképességű szakaszok esetében végeztek nyeletési „slug” teszt(ek)et. Ezeknél a tesztekkel a kezdeti vízszint meghatározása után a fúrólúkat vízzel feltöltötték, majd mérték a vízszint csökkenését egészen a nyugalmi szint eléréséig.

A mért eredmények kiértékelése a HydroSOLVE Inc. AQTESOLV Pro 4.5 verziójú programjával történt meg. Az eredmények rövid ismertetése a 3. fejezetben található.

A vizsgálatok helye és ideje

A kutatási program során 3 mélyfúrásban összesen 5 slug és/vagy termeltetési (pakker nélküli) hidraulikai vizsgálatot végeztek el (

11. táblázat). A tesztek a Mecsekérc Zrt. végezte.

11. táblázat A 3 mélyfúrásban végzett hidraulikai vizsgálatok adatai

Vizsgált mélyfúrás	Teszt típusa	Vizsgált szakasz teteje m t.a.	Vizsgált szakasz alja m t.a.	Vizsgálat kezdete	Vizsgálat vége
PAET-27	slug	620,41	703,75	2016.02.22	2016.02.23
PAET-27	termeltetési	703,75	732,16	2016.03.09	2016.03.10
PAET-34	termeltetési	687,24	690,00	2015.07.19	2015.07.21
PAET-35	termeltetési	81,10	90,00	2015.08.08	2015.08.09
PAET-35	slug és termeltetési	770,60	781,89	2015.08.23	2015.08.26

2.1.3.4.2 Pakkeres vizsgálatok mélyfúrásokban

A pakkeres vizsgálatok során alkalmazott módszerek

Az egyes pakkeres tesztek típusát a helyszínen, operatív módon határozza meg a méréseket irányító mérnök, a rendelkezésre álló előzetes ismeretek, valamint a teszt közben tapasztalt nyomásváltozások alapján. Ennek érdekében a méréseket a nyomás- és hőmérsékletadatok azonnali felszíni megjelenítésével végzik el.

A teszt metodikájának szempontjából (a lyukfal stabilitásának megóvása érdekében) elsősorban nyeletési tesztek terveztek, de a fúrófalon kiüledő lepény ellenállása miatt végül is termeléses tesztek hajtottak végre.

A pakkeres eszközrendszer be- és kiépítését követően a tesztek megelőzően, a pakkerek kiültetésekor a gyűrűstér rátöltésével győződtek meg a pakkerek megfelelő zárásáról. Amennyiben a pakkerrel elkülönített fúrólyukszakaszok között közvetlen hidraulikai kapcsolat mutatkozott, a pakker kiültetését megismételték, vagy az észlelőrendszert – a rendelkezésre álló magdokumentáció és geofizikai adatok alapján – más, megfelelőbb helyre ültették ki. A pakkeres mérést csak megfelelően záró pakkerrel kezdték meg.

A mérések végzése a következő sorrendben történt:

- kezdeti nyomáskiegyenlítődési szakasz (PSR);
- aktív fázis (ami lehet SI/SW, HI/HW, vagy RI/RW);
- záró nyomáskiegyenlítődési szakasz (ami lehet SIS/RIS/HIS).

Az eszközrendszer tervezett helyre történő beépítését és a pakkerek kiültetését követően a teszt egy hőmérséklet-kiegyenlítődési fázissal (Compliance period, COM) kezdődött. Különösen az alacsonyabb vízvezető képességű lyukszakaszok vizsgálatánál lényeges, hogy a kőzetkörnyezet és a fúrólyukban lévő öblítővíz hőmérséklete között ne legyen pár foknál nagyobb különbség. Ezt követően az aktív teszt egy kezdeti nyomáskiegyenlítődési fázissal (Pressure Static Recovery, PSR) folytatódott, amikor a mélységi csőzáró szelepet bezárják, hogy a vizsgálati szakasz és közvetlen kőzetkörnyezetének hidraulikus nyomása kiegyenlítődhessen. A PSR fázis végén a tesztrudazatban a vízszintet különböző víztermelési módszerekkel csökkentik (termeléses teszt), vagy a tesztrudazatba vizet töltenek (nyeletési teszt).

A PSR fázis befejezését követően, a csőzáró szelep kinyitásakor, a vizsgálati szakaszban hirtelen nyomásváltozást idéztek elő. A hirtelen nyomásváltozás hatására vízáramlás következik be a pakkerekkel határolt vizsgálati szakasz és a kőzetkörnyezet között, amelynek mértéke és jellege alapján lehet jellemezni a képződmények vízvezető

képességét (transzmisszivitását). A hirtelen nyomásváltozás következtében meginduló vízáramlást nyeletéses vagy termeléses szlagtesztnek (Slug Injection, SI vagy Slug Withdrawal, SW) nevezzük.

Abban az esetben, ha a képződmények igen rossz (10^{-10} m²/s-nál kisebb) vízvezető képessége miatt a vízáramlás nagyon kismértékű, a csőzáró szelepet néhány másodpercen belül újra bezárják. Ilyenkor a vizsgálati szakasz és kőzetkörnyezete között csak nyomáskiegyenlítődésként történik, amelyet nyeletéses vagy termeléses impulzustesztnek (Pulse Injection, PI vagy Pulse Withdrawal, PW) neveznek. A tesztek során alkalmazható injektálásos teszt is, állandó nyomáson (Constant Head Injection, HI fázis), vagy állandó hozammal (Constant Rate Injection, RI fázis). A HI fázisok esetében a vizsgálati szakasz nyomását a PSR fázis végén mért értékhez képest 2–7 barral megemelték, és ezt az állandó értéket az injektálás hozamának fokozatos csökkentésével őrizték meg. Az RI fázis esetében az injektálás hozamát tartották állandó értéken. Az injektálás befejezésekor a csőzáró szelepet ismét bezárták. A vizsgálati szakasz nyomása ekkor kezdetben viszonylag gyorsan, majd egyre lassuló ütemben csökkenni kezd (injektálást követő nyomáscsökkenési fázis, Rate Injection Shut-in, RIS fázis). Az RIS fázis elsődleges célja a vizsgálati szakasz nyugalmi nyomásának meghatározása, ezért a nyomáscsökkenést annyi ideig észlelték, hogy lehetőség szerint az adatok extrapolálásával a nyugalmi potenciálszintet 1-2 m pontossággal meg tudják határozni.

Az alkalmazott eszközök bemutatása

A pakkeres hidraulikai vizsgálatokhoz az alábbi mélységi és felszíni eszközök alkalmazására került sor:

- hidraulikus pakkerek
- tesztrudazat
- mélységi csőzáró szelep
- nyomás- és hőmérsékletszondák, adatgyűjtők
- felfújó vezetékrendszer
- víztermelő eszközök (dugattyú, csavarmélyszivattyú, bűvárszivattyú, szifonos leürítő rendszer)
- mélységi vízmintavevő eszközök
- felszíni hidraulikus rendszeresemlék
- felszíni elektromos rendszeresemlék

Pakkeres vizsgálat esetén a fúróluk vizsgálni kívánt szakaszát egy vagy két felfújható pakkerral különítik el a fúróluk többi részétől. A hidraulikus pakkereket a tervezett beépítési mélységben vízzel működtetik. A víz nyomását a pakkereket a felszínnel összekötő nylon vezetékeken keresztül szabályozzák.

A HQ átmérőjű fúrólukszakaszokon BASKI MD 86 mm típusú pakkert használtak. A pakkerek beépítése 2"-os alumíniumból vagy 2 3/8"-os acélból készült tesztrudazatra építve történt. Közvetlenül a felső pakkerek fölé a tesztrudazatba ún. mélységi csőzáró szelepet illesztettek, amellyel szabályozható a rudazat belseje és a vizsgálati szakasz közötti hidraulikai kapcsolat. A csőzáró szelep a felszínről működtethető nitrogéngáz vagy víz segítségével. A csőzáró szelepet (a nyomásszondákkal együtt) kompakt szondatartóba szerelve működtetik. A csőzáró szelep szintén BASKI típusú. A pakkerek és a csőzáró szelep vezetékrendszerét a beépítés előtt nyomáspróbának vetették alá.

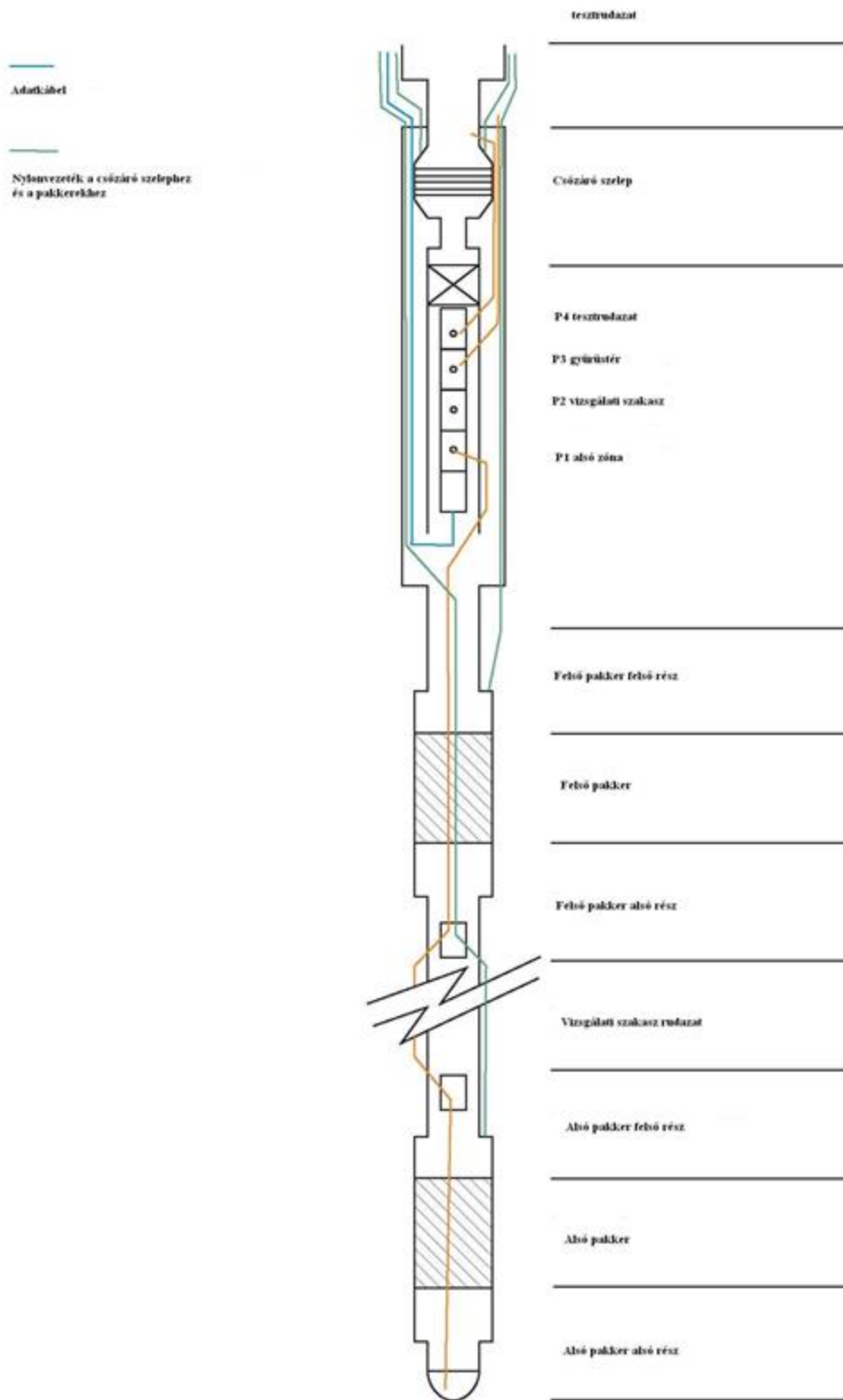
A pakkerekkel elkülönített vizsgálati szakasz, ill. az alatta és fölötté elhelyezkedő fúróluk szakaszok (az ún. alsó szakasz és a gyűrűstér) nyomásviszonyait alapvetően három mélységi szondával mérték. Egypakkeres rendszer esetén az alsó szakasz nyomása megegyezik a vizsgálati szakaszéval. Ezen túl még egy nyomássonza érzékeli a tesztrudazat (a csőzáró szelep fölötti) térrész nyomását. A vizsgálati szakasz hőmérsékletét a szondatartó csőben elhelyezett nyomás- és hőmérsékletszonda méri. A csőzáró szelepet is tartalmazó szondatartó elem a felső pakker felett helyezkedik el. A szondákat nylonvezeték köti össze a mért intervallummal. A nyomássonzók AquiTronic típusúak; az adatgyűjtési gyakoriság a felszínről szabályozható elektromos kábelen keresztül.

Az AquiTronic szondákhoz közvetlenül kapcsolódik az adatgyűjtő egység, amely a felszínről kapja az energiát. Az adatgyűjtő memóriája energia-kimaradás esetén is megőrzi a korábban mért adatokat. Az adatok a tápkábelen keresztül, digitális formában jutnak a felszínre. A mérési eredmények akár 5 másodpercenkénti rögzítését és azonnali megjelenítését a felszínen számítógép végzi, AquiPro szoftver segítségével.

Az azonnali megjelenítés lehetővé teszi a mélységi eszközök működésének folyamatos ellenőrzését, a kútvizsgálat metodikájának és optimális időtartamának operatív meghatározását. A nyomássonzók működését a beépítés előtt, illetve beépítés közben ellenőrizték. A beépítés után, ha a vízszint megbízhatóan mérhető, a nyomássonzók a vízszinthez kalibráltak. A pakkerek felfújása és leeresztése, továbbá a mélységi csőzáró szelep működtetése ¼"-os nylon vezetékekkel történt. A vezetékeket vagy önmagukban külön-külön, vagy rugalmas műanyag csőbe (flatpack vezeték) ágyazva, az elektromos vezetékkel egy rendszerben építették be. Nagyobb mélységben szükség esetén rozsdamentes acél vezeték alkalmazása történt a pakkerek és a csőzáró szelep működtetéséhez.

A pakkeres észlelőrendszer felszín alatti elemeinek elvi elrendezését a 23. ábra mutatja. A termeléses szlagtesztek (SW) esetén a tesztrudazat vízszintjének csökkentéséhez dugattyú alkalmazására került sor. A dugattyú egy gumigyűrűvel tömített fejjel ellátott nehéz rúd, amelyet drótkötél segítségével eresztenek a tesztrudazat belsejébe. Ilyenkor a mélységi csőzáró szelep zárt állapotban van. A leeresztés során a tesztrudazatban lévő víz a dugattyú fejében lévő golyós szelepen keresztül a dugattyú fölé áramolhat. Kihúzáskor a golyós szelep lezár, és – a dugattyú fején lévő gumigyűrűk tömítésének köszönhetően – a rúd fölé jutott víz a felszínre emelhető. Ezt követően, a mélységi csőzáró szelep nyitáskor megindul a vízáramlás a vizsgálati szakaszból a tesztrudazatba. Az injektálás során átfolyásmérővel mérhető a vízhozam.

A pakkeres észlelőrendszer fűrésbe telepített eszközeinek működtetése a felszíni hidraulikus rendszerrel történt. A fúrólukból kijövő nylon vezetékek egy felszíni irányító panelhez csatlakoztak, amin keresztül megvalósítható a pakkerek, a mélységi csőzáró szelep, és a tesztrudazatba épített mélységi mintavevő működtetése. Az irányító panel és a fűrés között külön kábeldobokon, vagy egybe kiöntött kábelrendszeren keresztül elektromos meghajtással rendelkező egységen futnak a vezetékek. A működtetéshez az irányító panelhez csatlakozó nitrogén palack biztosította a szükséges nyomást. Az aktív tesztek és a tartós víztermelés alatt a tesztrudazat tetejéhez kútféj rögzíthető, amin keresztül a termelt víz elvezetése megoldható.



23. ábra A hidraulikai vizsgálatok eszközrendszerének felszín alatti elemei

A felszíni elektromos rendszer elemek biztosították a fúrásban lévő szondákkal és adatgyűjtővel a kommunikációt. A felszínen az elektromos kábelek egy energiaellátó egységhez csatlakoztak. A rendszer energiaellátását 2 db 12 V-os műszerakkumulátor biztosította. Az egységhez kiolvasó kábelen keresztül csatlakozott a terepi számítógép, amelyen keresztül online nyomon követhetőek és grafikusan megjeleníthetőek voltak a mért hőmérséklet- és nyomás-adatok, valamint szabályozható volt az adatgyűjtési gyakoriság, illetve a mérési adatokról biztonsági másolatot lehetett készíteni.

A vizsgálatok helye és ideje

Az FKP végrehajtása során 5 mélyfúrásban összesen 17 hidraulikai teszt került végrehajtásra a Golder Zrt. kivitelezésében. Ezeknek a tesztek helyét és idejét a következő táblázat foglalja össze (12. táblázat, 27. ábra):

12. táblázat A hidraulikai tesztek helye és ideje

Kút neve	Teszt száma	Vizsgált szakasz teteje <i>m t. a.</i>	Vizsgált szakasz alja <i>m t. a.</i>	Vizsgálat kezdete	Vizsgálat vége
PAET-26	PAET26t1	504.46	560.00	2015.06.24	2015.06.30
PAET-26	PAET26t2	531.94	560.00	2015.06.30	2015.07.02
PAET-34	PAET34t1	1031.72	1056.81	2015.09.08	2015.09.09
PAET-34	PAET34t2	906.26	931.35	2015.09.09	2015.09.10
PAET-34	PAET34t3	800.36	825.45	2015.09.10	2015.09.11
PAET-34	PAET34t4	947.99	1108.30	2015.09.17	2015.09.20
PAET-29	PAET29t1	1320.03	1344.86	2015.11.04	2015.11.05
PAET-29	PAET29t2	1170.14	1194.97	2015.11.05	2015.11.07
PAET-29	PAET29t3	1030.10	1054.93	2015.11.07	2015.11.08
PAET-30	PAET30t1	532.20	548.61	2016.01.10	2016.01.15
PAET-34	PAET34t5	1824.46	1867.80	2016.01.19	2016.01.20
PAET-34	PAET34t6	1648.90	1867.80	2016.01.20	2016.01.21
PAET-34	PAET34t7	1474.01	1867.80	2016.01.22	2016.02.13
PAET-27	PAET27t1	666.35	707.02	2016.03.02	2016.03.03
PAET-27	PAET27t2	597.58	622.51	2016.03.03	2016.03.04
PAET-27	PAET27t3	754.77	779.71	2016.03.27	2016.03.28
PAET-27	PAET27t4	830.33	919.05	2016.03.29	2016.03.29

Ezen kívül három fúrásban, összesen 528 óra időtartamban végeztek hosszú idejű víztermelést, vízminta vétele céljából. Ezek a hosszú idejű víztermelési időtartamok a következők voltak:

- a PAET-34 jelű fúrás 947,99-1108,30 m t.a. mélységből, 46 óra időtartamban 2015. szeptember 17. és 20. között. A víztermelést 2-14 l/p-el végezték (átlag 10 l/p)
- a PAET-30 jelű fúrásban 532,2-548,61 m t.a. mélységek között, 59 óra időtartamban, 2016. január 10. és 15. között. A víztermelés 19-22 l/p-es hozammal végezték (átlag 20,5 l/p)
- a PAET-34 jelű fúrásban 1474, 01-1867,8 m t.a. mélységek között 423 óra időtartamban 2016. január 22. és február 13. között. A víztermelés 0,5-11 l/p-es hozammal végezték (átlag 4,1 l/p)

2.1.3.4.3 *Vízmintavételek, vízkémiai vizsgálatok mélyfúrásokban*

Az FKP keretében létesült telephelyen kívüli mélyfúrásokból is történtek mintavételek és laborvizsgálatok. A műszaki lehetőségekhez igazodva mintavételek történtek mélységi mintavétellel, kifolyó vízből, tisztítószivattyúzással valamint a dugattyúzott vízből egyaránt (12 db). A telephelyen kívüli fúrásokból történt mintavételeket az alábbi táblázat (13. táblázat) tartalmazza.

A mintázott paraméterek listáját, valamint mérési módszereiket és szabványukat a 2.5.8 „Vízmintavételek, vízkémiai vizsgálatok” fejezet tartalmazza.

13. táblázat Telephelyen kívüli PAET fúrásokból történt mintavételek

Minta származási hely	Minta kód	Mintavételi mélység m-től m-ig (csőperemtől mérve)
PAET-26	A-52683	503- 560
PAET-27	A-52985	703,75-732,16
PAET-30	A-53924	532,20-548,61
PAET-34	A-53938	1473,91-1867,8
PAET-34	A-53945	1473,91-1867,8
PAET-34	A-53946	1473,91-1867,8
PAET-34	A-55471	1473,91-1867,8
PAET-34	A-52747	687,27-690,30
PAET-34	A-52748	687,27-690,30
PAET-34	A-52749	687,27-690,30
PAET-34	A-53817	947,99-1108
PAET-35	A-53492	81,10-90,00

2.1.3.5 **Kőzetmechanikai dokumentálás és az elvégzett mérések**

Jelen módszerleírás a Dokumentációs és laboratóriumi vizsgálati program [223] című dokumentum rövidített lényegi kivonata. A módszertan részletei abban a dokumentumban olvashatók.

2.1.3.5.1 *Az alkalmazott standard kőzetmechanikai minősítési módszerek általános ismertetése*

A maggal mélyült fúrások standard módszerekkel elvégzendő repedezettség-elemzését a leginkább elterjedt kőzetmechanikai minősítő vizsgálatok közé sorolhatjuk, amelyet a telephely-minősítési programokban is kiterjedten alkalmaznak. Az elvégzett repedezettség-elemzések általában egy nagyobb, több paramétert is figyelembe vevő osztályozási rendszer részét képezik, amelyben különböző súllyal veszik azokat figyelembe. A többparaméteres empirikus minősítő módszerek közül elsősorban azon az alapon célszerű választani, hogy melyek a vizsgálandó kőzettípusok kőzetmechanikai adottságait leginkább meghatározó paraméterek, és ezek hogyan illeszkednek az egyes minősítő módszerek belső logikájához.

A számításba vehető empirikus minősítő eljárások közül az *RMR*-módszer az, amelyik a vizsgált kőzetek tulajdonságaihoz leginkább illeszkedik. A területértékelés és -összehasonlítás

szempontjából is az *RMR*-módszer mutatkozik a legalkalmasabbnak, mivel ez szolgáltatja a legkiterjedtebb adatrendszert.

A *Q* módszerhez tartozó alapparaméterek közül a dokumentálás során a közettest nyírószilárdságára jellemző paraméterek (*Jr* és *Ja*) közvetlenül meghatározásra kerültek.

A későbbi numerikus modellezéshez szükséges a Hoek-Brown törési határgörbe közettestekre történő alkalmazása, amelyhez a *GSI* módszerrel történő közettest osztályozást végezték el – közvetett meghatározással.

A kőzetmechanikai magdokumentáció során a fúrások maganyagán elvégezték a fúrómagok előzetes átnézését és Schmidt-kalapácsos minősítését (tekintettel a maganyag épségének megőrzési szempontjára). Csak ezután lehetett elkezdni a tényleges dokumentálási munkát a kijelölt magszakaszon. A fúrásban *RMR*-rendszerű empirikus közettest-minősítést végezték, benne *RQD*-, illetve *Kiruna*-rendszerű standard repedezettség-elemzést. Ezen túlmenően a *GSI* érték több szempontú meghatározása érdekében *Q*-rendszer szerinti repedésfelület minősítést is végezték.

Repedezettségelemzés *RQD*-tényező és *Kiruna* (C)-tényező meghatározásával

A tagoltság mértékének megállapítására és annak számszerűsítésére a nemzetközileg legáltalánosabban alkalmazott *RQD*-módszert (*RQD* = *Rock Quality Designation*) alkalmazták, melyet a legtöbb közettest-osztályozási eljárás alapadatként használ fel. Az *RQD*-érték még rossz magkihozatal esetén is reális képet ad, mivel megfelelő fúrási és magkezelési technológia mellett a rossz magkihozatal alapvető oka a nagyon gyenge kőzetminőség. Az *RQD* mellett a *Kiruna*-módszer alapján is jellemezték a közettest repedezettségét. Alkalmaztuk az ún. C-tényező számítási módszerét, mely minden fúrási átmérő esetén használható. A C-tényező kiszámítása bonyolultabb, mint az *RQD*-érték meghatározása, viszont a részletes vizsgálatok szerint a C-tényező a gyakorlat szempontjából jobban megfelel az elvárt követelményeknek. A módszerek részletes leírása megtalálható a Dokumentációs és laboratóriumi vizsgálati program [223] című dokumentumban.

Az *RMR*-rendszerű és a *GSI*-rendszerű kőzetmechanikai minősítés

A maggal mélyített kutatófúrások minősítésére, dokumentálására és értékelésére az *RMR*-rendszert alkalmazták. Viszonylagos egyszerűsége ellenére objektív és megfelelő minőségű geotechnikai prognózisok készítését teszi lehetővé. Az *RMR*-módszer hat alapvetően fontos, de viszonylag könnyen meghatározható paraméter alapján jellemzi a közettest várható viselkedését (ép kőzet egytengelyű nyomószilárdsága; *RQD*-tényező vagy *Kiruna*-érték; a repedések egymástól való átlagos távolsága; a repedések állapota, kitöltésének jellege; vízáramlási, vízbelépési viszonyok és a repedések iránya, orientációja).

A közettestek leírásának, modellezésének elterjedt módszere a Geológiai Szilárdsági Index (*GSI*) meghatározása. Mivel a közettest szerkezetét leíró paraméterek (*RQD*-érték, *Kiruna*-érték) két különböző megközelítésből is felvételezésre kerültek, felmerült az igény arra, hogy a repedésfelületek minőségét is több szempontból minősítsük. Az *RMR*-típusú repedésfelület-minősítés mellett ezért az adatlapokon felvettük a *Q* közettest osztályozáshoz tartozó, a repedésfelület nyírószilárdságát jellemző paramétereket is.

A kőzetmechanikai dokumentálás folyamata

A dokumentálás első lépése a maganyag helyzetének ellenőrzése volt. Ez azért szükséges, mert az elfogadott gyakorlat szerint a magládákban a fúráspontnál elhelyezett tikették nem feltétlenül a maganyag, hanem a fúrószerszám aktuális pozícióját jelzik. Amennyiben ez szükséges volt, az elsődleges tikettázási adatokat ellenőrizni lehetett a magszkennelési és a BHTV mérésekből egyeztetetten meghatározott mélységadatokkal.

A helyes pozíció-adatok ismeretében kijelöltük a repedezettségi intervallumokat. Ezek általában 1 és 3 m közötti hosszúságban felveendő magszakaszok, melyeket az határoz meg, hogy az intervallumon belül a maganyag repedezettségi állapota viszonylagosan állandónak tekinthető legyen. Egy erre a célra készített formanyomtatványon rögzítettük a magláda számát, a magátmérőt, a repedezettségi szakasz sorszámát, kezdeti- és végpontjának helyét, valamint az egyes szakaszokon belül a fragmentumok helyét és hosszát. Ezen kívül jelöltük a javasolt RMR intervallumokat is. Az imént felsorolt adatok az RQD és a Kiruna értékek számításához, valamint a későbbi mintázás tervezéséhez voltak szükségesek.

A kőzetmechanikai dokumentálás során ezen kívül rögzítettük az adott fúrómag szakasz közötti típusát (kőzetnév és szín), becsült egytengelyű nyomószilárdságát, az intervallumban jellemző repedésirányok magtengelyre merőleges síkhoz viszonyított és átlagos repedéstávolságát, a szakaszban megjelenő repedéskitöltő anyagokat, a repedések megnyíltságát, valamint a repedésfelületek érdességét és mállottságát.

A kutatás során lemélyítendő kutatófúrások maganyagának szisztematikus mintázásával biztosítani kellett, hogy a kutatási tervben előírányzott kőzetmechanikai vizsgálatokhoz megfelelő mennyiségben és minőségben, a feltárt kőzettesteket jól reprezentáló mintaanyag álljon rendelkezésre. A kőzetmechanikai mintázás végrehajtásának pontos szabályait azonban sem az ISRM vonatkozó ajánlásai [363], sem pedig hazai szabványok nem írják elő egyértelműen.

A mintavételi helyek kijelölésének alapelveit részletesen a dokumentációs és laboratóriumi vizsgálati programban ismertettük [223]. A mintázáskor kiemelkedő szempont volt, hogy a legfontosabb kőzetváltozatokból egyaránt megfelelő mennyiségű intakt minta álljon rendelkezésre, ezzel volt biztosítható ugyanis, hogy az elvégzett kőzetmechanikai laborvizsgálatok reprezentatív eredményeket adjanak a vizsgált szakaszokra.

A kőzetmechanikai célú mintázás során figyelembe kellett venni az adott fúrási maganyag minősítése kapcsán a más szakterületek által közölt specifikus információkat is.

Az információvesztés elkerülése érdekében egy adott hosszúságú fúrólyukszakasz kőzetmechanikai célú mintázására csak az adott szakasz magszkennelését, illetve a részletes kőzetmechanikai, földtani, tektonikai dokumentáció teljes körű lezárását követően kerülhetett sor. A mintázási műveleteket a korábban elvégzett repedezettségi alapfelvételezés adatrendszerére kellett alapozni, mivel a repedezettségi felvételezés során mindazon ép, hengeres magdarabok (fragmentumok) hossza és helyzete is meghatározásra került, amelyek szabványos laboratóriumi mintatestek kialakításához egyáltalán felhasználhatók lehettek. Ez alapján történt meg a minták előzetes kijelölése. A szükséges, megfelelő mintamennyiség előzetes kiválasztása során figyelemmel kellett lenni a maganyag legteljesebb mértékű megőrzendőségének és az egyéb vizsgálati programokkal történő összehangolás szempontjaira is. A mintázáskor szem előtt tartandó szempontokat a dokumentációs és laboratóriumi vizsgálati programban részleteztük [223].

Az így elvégzett előzetes minta-kiválasztási tevékenység során még nem szabadott a mintákat a magládából kivenni és bezacskózni. Az elkészített előzetes mintalista csak egy mintázási javaslatnak tekintendő lista volt. Az azon szereplő adatokat a tényleges mintázás előtt egyeztetni kellett a Mecsekérc Zrt. mintázásokért kijelölt felelős vezetőjével. Amennyiben valamely mintáról az egyeztetés során kiderült, hogy az bármilyen ok miatt nem vehető ki, úgy azt az előzetes kiválasztási listáról törölni kellett és helyette – ugyanazzal az azonosítóval – új mintát kellett kiválasztani.

A tényleges mintázásra csak a fentiek szerinti egyeztetési folyamat lezárása után, a Mecsekérc Zrt. akkreditált mintavételezésekre vonatkozó szabályzatának maradéktalan figyelembe vételével kerülhetett sor. A mintázás eredményeként, az előzetes mintakiválasztás során alkalmazott formanyomtatványban rögzített adatok alapján el kellett készíteni az egységesített szerkezetű és tartalmú végleges mintalista (ennek tartalmi követelményeit a dokumentációs és laboratóriumi vizsgálati program rögzítette [223]).

Amennyiben valamely előzetesen kijelölt minta akár a mintázás, akár pedig a szabványos laboratóriumi mintatest előkészítése során tönkrement, és így pótmintázás vált szükségessé.

A mintázás után véglegesített mintalista 1-1 példányát elektronikus és nyomtatott formátumban is át kellett adni a Megrendelőnek. Ugyancsak 1 példányban át kellett adni minden egyes mintáról a mintavételi jegyzőkönyvet, valamint a nyers mintákról készült digitális fotódokumentációt is. A fúrásoként dokumentált hosszakat és a minták számát a 14. táblázat tartalmazza.

14. táblázat A kőzetmechanikai dokumentálás és mintázás mennyisége fúrásoként

Fúrás neve	Dokumentált hossz (m)	Minták száma (db)
PAET-26	59,40	22
PAET-27	437,90	100
PAET-29	713,20	67
PAET-29/1		57
PAET-30	77,46	24
PAET-34	1142,86	149
PAET-35	546,90	63
PAET-35/1	78,36	18
Összesen	3056,08	500

2.1.3.5.2 Kőzetmechanikai labormérések általános ismertetése

A mintázás folyamatát követően a kiválasztott magdarabok a Kőmérő Kft. kővágószőlősi laboratóriumába kerültek, ahol megkezdődött a minták előkészítése. Az egyes tesztek eltérő előkészítést igényelnek, az eljárás főbb lépéseit a dokumentációs és laboratóriumi vizsgálati programban ismertettük [223]. A kialakított és beazonosított minták jellemzőit (hossz, átmérő, tömeg) felvezettük a mintalista. Az elkészült, mérésre alkalmas laboratóriumi mintatestekről – szintén egységes méretarányban, színskála és az azonosító adatokat tartalmazó cédula alkalmazásával – digitális fotódokumentáció készült.

A mintákon elvégzett különböző típusú vizsgálatok részletes leírását, elméleti alapjait a dokumentációs és laboratóriumi vizsgálati programban mutattuk be [223], ezért itt csak rövid ismertetésük szerepel.

Dilatációs rezonanciafrekvenciás teszt

A dilatációs rezonanciafrekvenciás mérések az anyag rugalmassági paramétereinek dinamikus módszerekkel való meghatározására végzett, roncsolásmentes vizsgálatok. A vizsgálat során a minta mechanikai kőzetanyagának rugalmassági tulajdonságaira és ismert geometriájára jellemző fd dilatációs rezonanciafrekvencia értékét határoztuk meg. E ékből, valamint a kőzetminta geometriai adataiból, tömegéből és Poisson-tényezőjéből számíthatók a kőzetminta dinamikus rugalmassági paraméterei (dinamikus Young-modulus és nyírási modulus).

Standard deformációméréssel (oldható deformációmérő elemekkel) és kétirányú mérőbélyeges deformációméréssel végzett egytengelyű nyomószilárdság vizsgálat

A kőzettömb egyirányú (vagy uniaxiális) nyomószilárdsági értéke (Uniaxial Compressive Strength – UCS) a kőzetmechanikában az egyik legfontosabb minősítő érték, tervezési paraméter, valamint az RMR módszer egyik bemenő paramétere. Az egytengelyű nyomószilárdság vizsgálat során a hengeres mintatestet a megfelelő kapacitású, automatikus terhelőberendezés segítségével axiális terhelés alkalmazásával törésig terheljük. A terhelés közben a standard deformációméréssel végzett tesztek során oldható, újrafelhasználható (induktív) tapintószenzorokkal, a mérőbélyeges mérés során pedig a hossz-, és keresztirányban felragasztott 2-2 db nyúlásmérő bélyeggel mértük a hossz-, illetve keresztirányú elmozdulást. A tesztek programozott, állandó terhelésfelfutási sebességgel, a pillanatnyi erő- és a kétirányú deformációmérési adatok folyamatos, automatikus gyűjtésével hajtottuk végre. Az intakt minta egytengelyű nyomószilárdsága (UCS) a geometriából (terhelt felület) és a törőerőből számítható, míg a rugalmassági paramétereket (Young-modulus, Poisson-tényező) az elmozdulás értékekből generált deformáció adatok alapján adjuk meg.

Tönkrementeli határgörbe meghatározása egymintás, MFS (Kovári) módszerrel végzett triaxiális méréssel

A Kovári Kálmán által kifejlesztett Multiple Failure State (MFS – többszörös tönkrementeli állapot) teszt az ISRM által javasolt újszerű, egyetlen kőzetmintán végrehajtható módszer a tönkrementeli határgörbe meghatározására [363]. A vizsgálat szintén a mintára hossz, illetve keresztirányban felragasztott 2-2 db nyúlásmérő bélyeggel történik. Kiértékeléskor a Mohr-Coulomb és a Hoek-Brown tönkrementeli kritérium szerint az adott minta mérési eredményeit legjobban közelítő tönkrementeli határegyenes és határgörbe egyenleteit, valamint az azokból levezethető fontosabb paramétereket határozzuk meg.

Brasil húzószilárdság-vizsgálat

A kőzetmechanikai gyakorlatban elfogadott, sőt az ISRM által kifejezetten ajánlott módszer szerint a kőzetminták húzószilárdságát nem közvetlen húzó igénybevétel alkalmazásával, hanem közvetett módon, a hengeres minta két szemközti palást-alkotóján ható, törésig fokozott nyomó igénybevétellel kell meghatározni [363]. Ebben a geometriában a tönkrementelt a terhelési síkra merőlegesen jelentkező húzófeszültség váltja ki. A geometriát tekintve, a Brasil húzóvizsgálatra szánt minták esetében az L/D (hossz/átmérő) = 1.

Magmintán mért nyírószilárdság-vizsgálat

E méréstípus esetében csak egy irányú, nyomó jellegű igénybevételt alkalmazunk, ami a mintatestre már nyíróerővé konvertálódva hat. A Kőmérő Kft. laboratóriumában ezeket a tesztek egy speciális nyírószerszám segítségével végeztük el, kettős nyírás módszerével. A minta nyírószilárdsága a tönkremenetelt előidéző nyomóerő és a geometria (nyírt felület) ismeretében számítható. A nyírószilárdság ismerete már a tönkremeneteli határgörbék megléte nélkül is előzetes tönkremeneteli becsléseket tesz lehetővé.

Nyíródobozos vizsgálat

A vizsgálati módszerre hazai és európai (EN) szabvány még nem áll rendelkezésre, ezért az ISRM ajánlásai és módszertani útmutatójának megfelelően végeztük el a vizsgálatokat. Kísérleti elrendezés részét képezi egy, a kőzetek nyírószilárdságának mérésére kifejlesztett nyírócella. A cellában a próbatesttel változó mértékű, de periódusonként állandó normálerőt közlünk. A normálerő mellett egyre fokozódó nyíróerőt adunk, amelynek eredményeképpen a próbatest a közvetlen nyírás hatására eldeformálódik. A kísérlet során folyamatosan mérjük a normálerőt, a nyíróerőt és a próbatest több irányú deformációját az idő függvényében. A kísérlet hosszadalmas, a mintától és az alkalmazott erőktől függően változó ideig tarthat.

Az elvégzett mérések számát a 15. táblázat mutatja be fúrásonként és összefoglalóan.

15. táblázat A kőzetmechanikai dokumentálás és mintázás mennyisége fúrásonként

Fúrás neve	UCS - standard	UCS – mérőbélyeges	MFS- (Kovári) mérés	Brasil húzó-szilárdság vizsgálat	Nyíró-szilárdság-vizsgálat	Nyíró-dobozos vizsgálat	Rugalmassági paraméterek dinamikus meghatározása
PAET-26	5	4	2	5	3	3	14
PAET-27	23	17	21	15	16	8	77
PAET-29	16	14	13	11	11	2	54
PAET-29/1	8	16	11	10	9	3	44
PAET-30	3	4	4	5	4	4	15
PAET-34	31	30	30	22	24	12	115
PAET-35	11	12	16	10	10	4	49
PAET-35/1	3	3	3	2	3	4	12
Összesen	100	100	100	80	80	40	380

2.1.3.5.3 In situ közetfeszültség-meghatározás hidrorepszéssel

A hidrorepszétes vizsgálatok célja

A hidrorepszétes vizsgálatok célja a primer feszültségteret jellemző horizontális főfeszültség-komponensek nagyságának és irányának meghatározása, és a befogadó kőzet mechanikai tulajdonságainak pontosítása.

A hidrorepszteses vizsgálatok előkészítése

A hidrorepszteses vizsgálat az adott fúrési szakasz befejezését követően zajlott le. A repszteses vizsgálatok előtt elvégezték a lyukgeofizikai méréseket, majd a pakkeres hidraulikai vizsgálatok következtek.

A hidrorepszteses vizsgálatokat lehetőleg repedésmentesnek ítélt lyukszakaszokon végezték el. Ennek kiválasztása a magok megtekintése, a komplex geofizikai szelvények és a repsztes előtti akusztikus lyukfal televíziós (BHTV) felvételek értékelése alapján történt.

A 3-5 mérést tartalmazó kampány megkezdése előtt a Beruházó, a Fővállalkozó és a Kivitelező szakmai képviselője pontosították a hidrorepszteses vizsgálatok metodikáját, sorrendjét, a mérések irányát az adott fúróluk nyitott szakaszában, továbbá az egyes szakaszok pontos helyét.

Minden hidrorepsztest speciális pakkerekkel (Fracker) közrefogott, kb. 1,3 m hosszú vizsgálati szakasszal hajtottak végre.

A repsztes módszere

A hidraulikus repsztes során két fő alapelvet veszünk figyelembe. Az első elv azt feltételezi, hogy a hidraulikusan létrehozott repedés a minimális főfeszültségre (S_h) merőleges irányban fog terjedni. Az úgynevezett záró vagy zárási nyomás a hidraulikus repedésben azt a feszültséget jelenti, amely ahhoz kell, hogy pont bezáródjon vagy kinyíljon a repedés, ezért ez a jellemző értéke a repedésre terjedési irányára merőleges feszültségnek, vagyis a legkisebb elsődleges feszültségnek (S_h). A másik fő elv, hogy a repedés meg fog nyílani, azaz a kőzet „eltörik” amikor a fúróluk vizsgálati szakaszában létrehozott nyomás meghaladja a kőzet szakítószilárdságát és a legkisebb érintő feszültség a fúróluk falán van. A legkisebb érintő feszültség függ mind a fúrólukra merőleges legnagyobb helyi feszültségtől, mind a legkisebb helyi feszültségtől. A zárófázisból megismert nyomás (amely magába foglalja a szakítószilárdságot és a minimális főfeszültséget) meghatározása lehetővé teszi, hogy kiszámoljuk a fúrólukra merőleges maximális főfeszültséget (S_H) is.

Az ISRM és ASTM szabványainak megfelelően a hidraulikus repsztes során a kívánt mélységben egy rövid (kb. 1,3 m hosszú) szakaszt a fúróluk nyitott szakaszában pakkerek segítségével lezártak. Megfelelően alacsony hozammal vizet injektáltak a lezárt térrészbe, tovább növelték a hidraulikus nyomást és így hidraulikus repsztest végeztek a fúróluk falán. A hidraulikailag indukált repedés akkor jön létre, amikor a pakkerek által lehatárolt szakaszon a folyadék nyomása elér egy kritikus szintet, az úgynevezett ”törési nyomást” (P_c). A törés pillanatában, a feszültség alatt lévő repedések folyadékvesztést és nyomáscsökkenést szenvednek.

A törés bekövetkezésének pillanatában az injektálást leállították, azaz a vizsgálati szakaszt ellátó hidraulika vezeték szelepét elzárták. A nyomás azonnal csökkent, először nagyon gyorsan, majd lassuló mértékben. Ahogy a repedés bezáródik, az egyetlen folyadékvesztés a fúróluk falán (a „mátrixon”) át a kőzetbe való elszivárgásból adódik. A zárónyomás (P_{SI}) átmenet a gyors és a lassú nyomáscsökkenés között, és a repedés bezáródását jelzi. Néhány perccel a zárás után a vizsgálati szakaszban a nyomás lecsengett, és az első fázis ezzel befejeződött. A hidraulikus repszteses vizsgálat során, általában öt nyomási ciklust alkalmaztak (repsztesi vagy breakdown, újrainítási vagy reopening 1-es és

2-es fázisa, jacking és végül reopening 3-as fázis). A tesztek során a nyomást és az injektált hozamot folyamatosan (on-line) ellenőrizték és elektronikusan gyűjtötték, rögzítették.

A hidrorepszítéshez használt eszközök

A hidrorepszítéses vizsgálatok során hasonló eszközrendszert használtak, mint a hidraulikai mérések során. A tervezett vizsgálati szakaszt itt is kétpakkeres rendszerrel izolálták a fúróluk többi részétől. A vizsgálati szakasz hossza, a fentebbieknek megfelelően, kb. 1,3 m. A lényegi különbség az eszközök nyomástűréséből adódik. A repszítések során nagy nyomásokat használtak, az eszközrendszer is ennek megfelelően került kialakításra.

A hidrorepszítéses vizsgálatokat a következő eszközökkel végezték:

- pakkerek (Fr 3.3 nagy nyomású pakkerek) felszínről üzemeltethető víz segítségével
- nagynyomású felfújó (7 mm belső átmérőjű) tömlők
- adatgyűjtők és nyomássonidák a vizsgálati intervallumban (max. 600 bar)
- acél rudazat a nagynyomású víz injektálásához és a rendszer vázaként
- nagy nyomású szivattyú (max. 350 bar és 20 l/perc hozam)
- felszíni szabályzó egység, amely szabályozza az injektált hozamot a pakker felfújásához és a vizsgálati szakasz injektálásához
- felszíni nyomássonidák (max. 400 bar), amelyekkel ellenőrizni lehet a pakker ültetési nyomását és a vizsgálati szakasz nyomását
- érzékeny hozammérő (0.2 - 20 l/perc és 0.01 – 2 l/perc), amely az injektált hozam mérésére, ellenőrzésére szolgál
- online adatrögzítő rendszer, az adatgyűjtést 5 Hertz-re állították minden információs csatornán (pakkernyomás, vizsgálati szakasz nyomása (online és memória), valamint az injektált hozam)

A hidrorepszítés eredményeinek dokumentálása

A horizontális síkban ébredő főfeszültségeket a nyomásokból (P_c , P_{SI} és P_r) és a közet húzószilárdságából számították ki a tesztek befejezését követően. A mérést fázisokra bontva értékelték (breakdown, reopening 1, 2 és 3, valamint jacking ciklusok), majd a minimális főfeszültséget számos analitikai modell (nyomás idő szerinti deriváltja, a nyomás alakulása az idő négyzetgyöke szerint, a nyomásnak az idő szerinti deriváltja) alkalmazásával számították. A maximális főfeszültséget szintén az egyes fázisokban mért nyomások felhasználásával, kétféle módszerrel számították ([125] és [39]).

A függőleges főfeszültséget a geofizikai sűrűségsszelvény integrálértékének segítségével lehetett kiszámítani.

A helyi feszültség iránya a fúróluk falán előidézett hidraulikus repedés rajzolatának viselkedéséből határozható meg. Az új repedések irányát a repszítéses vizsgálatok előtt és után készített akusztikus lyukfaltelevíziós felvételezés összehasonlításával kaptuk meg. Ez a vízszintes síkban ébredő maximális főfeszültség irányát mutatta.

A vizsgálati eredményeket egy-egy mérési kampányra vonatkozóan, „Mérési gyorsjelentésekben” rögzítettük.

2.1.4 Sekélyföldtani kutatások

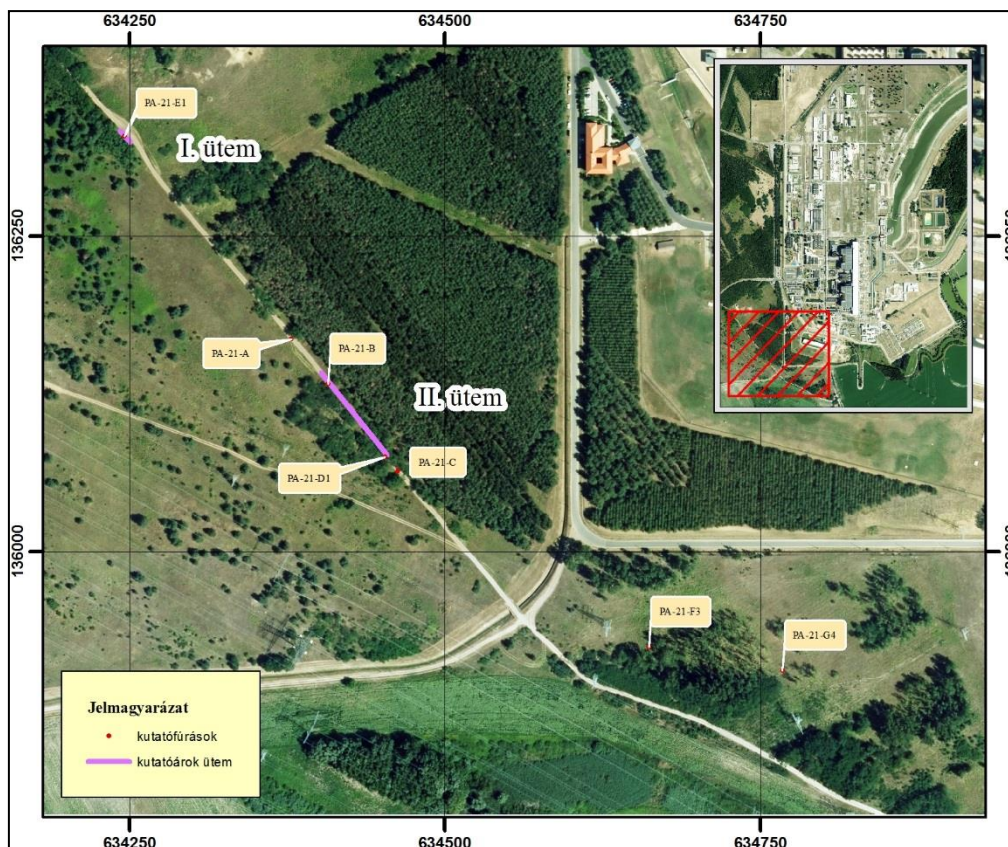
A Paks II. telephely alkalmasságot vizsgáló Földtani Kutatási Program (FKP) egyik legfontosabb feladata megállapítani, hogy a vizsgált területen történtek-e a negyedidőszak során tektonikus elmozdulások. A P- és S-hullám mérések, a földtani térképezés eredményei, valamint geomorfológiai megfontolások arra utaltak, hogy a 3D szeizmikus képből megismert vetők egyes területeken a felszínközelbe hatolnak [24]. Ezeknek a területeknek a további szűrését szolgálták a multielektrodás mérések [184]. Végül két olyan terület volt kijelölhető, ahol az aljzatban kimutatott vetők a felszínközelben is nyomozhatók lehetnek: a Pa-21-es és -22-es szeizmikus szelvény nyomvonala. A szerkezeti képet pontosítandó, 30-50 m talpmélységű „vetőkutató” fúrások mélyültek, részben maggal, részben teljes szelvényvel. A fúrások feladata volt tisztázni, hogy a lyukgeofizikai módszerekkel is kimutatható negyedidőszaki feküszintben vannak-e különbségek; a maganyag hagyományos földtani feldolgozása, továbbá computer tomográfias (CT) vizsgálata pedig a harántolt szerkezeti elemek felismerését szolgálta. Először a Pa-21 szelvény mentén mélyültek le a sekélyfúrások (24. ábra), melyek alapján a Vállalkozó javaslatot tett a szelvény két szakaszának árkolásos kutatására (Ált/1104-1/2016, kelt ez év július 12-én). A Pa-22 szelvény menti 3 db fúrás (17. táblázat) 2016. július 31-ére készült el, a feldolgozásuk pedig – a laborvizsgálatok kivételével – augusztus 5-ére.

2.1.4.1 Kutatófúrások

A Pa-21 szelvény mentén telepített sekélyfúrásokat a területen húzódó nagyfeszültségű elektromos távvezetékek és az ingatlanviszonyok miatt többször át kellett helyezni. A fúrások közül az E1 jelű kezdetben ütvefúrásos technológiával mélyült, de a lassú előrehaladás miatt Geobor-S fúrásmóddal mélyült tovább. Ezzel a módszerrel viszont a talajvízszint (5-6 m) alatti, laza, cementálatlan, homokos-kavicsos üledékekből nem sikerült megfelelő minőségű magot venni, ezért a technológia úgy módosult, hogy a homokos-kavicsos összlet aljáig teljes szelvényvel, védőcső folyamatos lesüllyesztése mellett történt a fúrás, majd onnan tovább a talpig Geobor-S magfúrással (16. táblázat).

16. táblázat A Pa-21 szelvény mentén lemélyült 7 db kutatófúrás műszaki adatai

Fúrás jele	1. magfúrásos szakasz	teljes szelvényű szakasz	2. magfúrásos szakasz
Pa-21-A	-	0,00-28,00 m	28,00-40,00 m
Pa-21-B	-	0,00-28,00 m	28,00-40,00 m
Pa-21-C	0,00-6,07 m	-	6,07-37,90 m
Pa-21-D1	-	0,00-25,90 m	25,90-40,00 m
Pa-21-E1	0,00-4,61 m	4,61-24,36 m	24,36-40,73 m
Pa-21-F3	-	0,00-35,50 m	35,50-50,50 m
Pa-21-G4	-	0,00-28,00 m	28,00-40,00 m

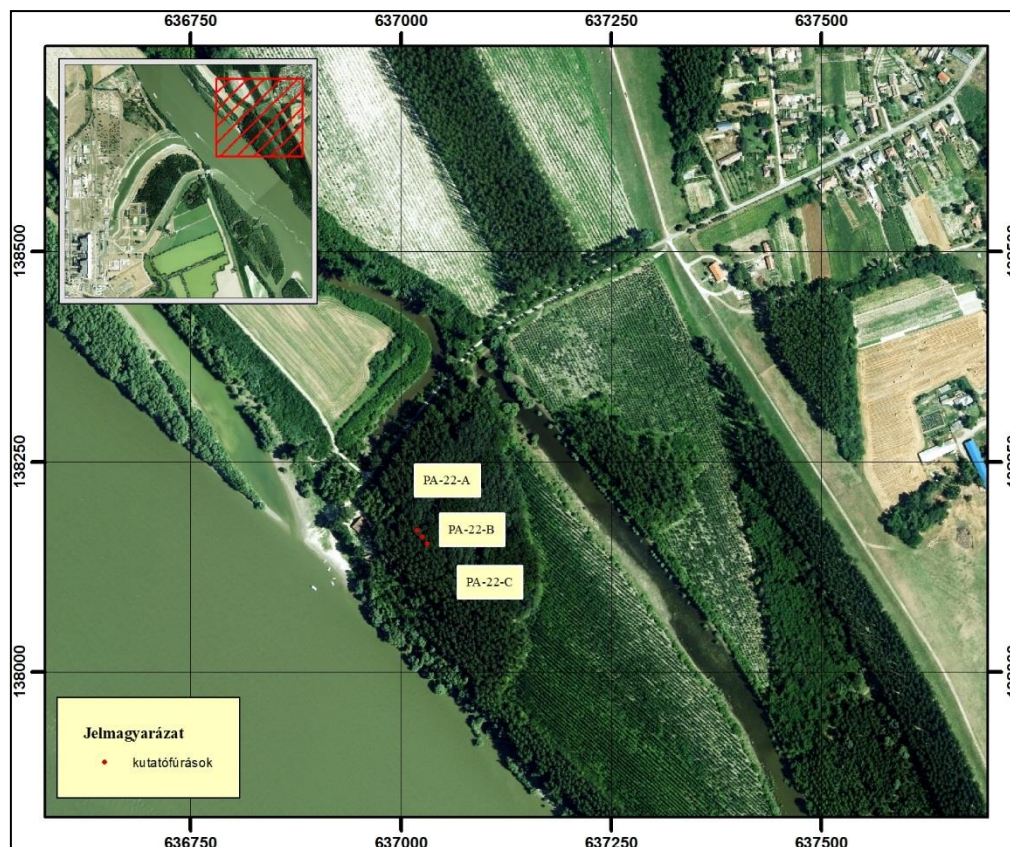


24. ábra A Pa-21 szelvény mentén mélyült fúrásponatok és a kutatóárkok térbeli elhelyezkedése

A Pa-22 szelvény menti fúrások (25. ábra) 4-6 m-es mélységig öblítés nélküli, spirál magfúrással (HSA), ez alatt Geobor-S fúrással mélyültek, védőcső folyamatos lesüllyesztése mellett. A Pa-21 szelvény fúrásaihoz hasonlóan, a talajvízszint alatti, laza, cementálatlan, homokos-kavicsos üledékekből kb. 24 m-es mélységig nem sikerült megfelelő minőségű magot venni, ezért ezeken a szakaszokon a Geobor-S szerszámra felhelyezett teljes szelvényű fúróval haladt tovább a fúrás, de innen is rendelkezésre állnak a zacskózott furadékminták. Ez alatt a kőzetanyag konszolidáltabbá vált, így ismét lehetőség volt a Geobor-S magvételre, egészen talpig. A Pa-22 jelű fúrások műszaki adatait a 17. táblázat tartalmazza.

17. táblázat A szelvény mentén lemélyült 3 db kutatófúrás műszaki adatai

Fúrás jele	1. magfúrási szakasz	teljes szelvényű szakasz	2. magfúrási szakasz
Pa-22-A	0,00-4,60 m	4,60-24,36 m	24,36-40,50 m
Pa-22-B	0,00-4,35 m	4,35-24,36 m	24,36-40,50 m
Pa-22-C	0,00-15,20 m	15,20-24,20 m	24,20-40,57 m



25. ábra A Pa-22 szelvény mentén mélyült kutatófúrások térbeli elhelyezkedése

2.1.4.1.1 A kutatófúrások vizsgálata

A fúrásokban komplex karotázsmérés készült, a PAET sekélyfúrásokban alkalmazott karotázs komplexummal azonos mérési csomaggal. A karotázs használhatóságát kisebb mértékben korlátozta a jellemzően 28-29 m-es mélységig lerakott védőcső (elektromos mérések elmaradása ezen a szakaszon), de a mérések jelentős része így is elvégezhető és értékelhető volt.

Valamennyi kutatófúrás maganyagáról CT felvétel készült a Pécsi Tudományegyetem Diagnosztikai Központjában. Ezzel a módszerrel még a fúrómagokat tartalmazó PVC csövek felvágása előtt, bolygatás nélkül lehetett a kőzetek belső szerkezetét vizsgálni, ami fontos szempont olyan esetben, amikor zavart zónák azonosítása, esetleges tektonikai jelenségek kimutatása a cél.

A CT mérések után került sor a PVC csövek felvágására, a maganyag fényképezésére és a fúrások litológiai-tektonikai dokumentációjának elkészítésére [295]. A teljes szelvényű fúrási szakaszokról vett furadékminták is leírásra kerültek, ezek esetében a megállapított réteghatárok bizonyos hibával (jellemzően néhány deciméter) terheltek.

A Pa-22 szelvényben mélyült három fúrás (Pa-22-A, -B, -C) (25. ábra) karotázs szelvényeinek, maganyagának és CT felvételeinek az együttes értékelése alapján a rétegsor felső harminc méterében tektonikus zavar nem volt kimutatható [25], ezért azon a területen a vetőkutatás befejeződött.

A Pa-21 szelvényben mélyült hét fúrás (Pa-21-A, -B, -C, -D1, -E1, -F1, G4; 24. ábra) rétegsora között mind a lyukgeofizika, mind a maganyag vizsgálata olyan különbségeket mutatott ki, amelyek a negyedidőszaki fekü határát is érintő tektonikus eseményre engedtek következtetni (18. táblázat). A Pa-21-B fúrás harántolta Tengelici Formációban 29,8 m mélységben oldaleltolódást dokumentáltak, továbbá az E1 jelű fúrásban a CT felvétel utalt tektonikus elmozdulásra – 1,7 m mélységben. Mindezek felderítésére egy 12 m hosszúságú, a felszíntől számítva ~3 m mélységű kutatóárok (Pa-21-I) létesült a Pa-21-E1 fúráson keresztül, ÉNy-DK-i csapással és egy 84 m hosszú, 322°-142° csapású, 3 m mélységű, a Pa-21-B és a Pa-21-D1 jelű fúrások között (Pa-21-II)(24. ábra).

18. táblázat A Pa-21 és Pa-22 jelű „vetőkutató” fúrások koordinátái és vázlatos rétegsoruk

P A - 2 1	EOV_X	EOV_Y	Z(m Bf)	Képződm ény	Rétegtani egység	Rétegt ető	Rétegt alp	Vastags ág	Fúrást alp
A	634 368,13	136 168,62	95,4 8	Qh2		0,00	3,00	3	40
A	634 368,13	136 168,62	95,4 8	Qh1		3,00	6,00	3	40
A	634 368,13	136 168,62	95,4 8	Qp3		6,00	28,00	22	40
A	634 368,13	136 168,62	95,4 8	eldPI- Qp1	Tengelici F.	28,00	40,00	12	40
B	634 407,29	136 132,73	95,2 3	Qh2		0,00	3,00	3,00	40
B	634 407,29	136 132,73	95,2 3	Qp3		3,00	28,10	25,1	40
B	634 407,29	136 132,73	95,2 3	eldPI- Qp1	Tengelici F.	28,10	40,00	11,9	40
C	634462,5 6	136063,83	95,2 9	Qh2		0,00	3,2	3,2	37,9
C	634462,5 6	136063,83	95,2 9	Qh1		3,20	8,57	5,37	37,9
C	634462,5 6	136063,83	95,2 9	Qp3		8,57	28,61	20,04	37,9
C	634462,5 6	136063,83	95,2 9	eldPI- Qp1	Tengelici F.	28,61	33,47	4,86	37,9
C	634462,5 6	136063,83	95,2 9	M3	Újfalui F.	33,47	37,9	4,43	37,9
D 1	634 452,51	136 075,08	95,2 3	Qh2		0,00	3	3	40
D 1	634 452,51	136 075,08	95,2 3	Qh1		3	11	8	40
D 1	634 452,51	136 075,08	95,2 3	Qp3		11	28,59	17,59	40
D 1	634 452,51	136 075,08	95,2 3	eldPI- Qp1	Tengelici F.	28,59	35	6,41	40
D 1	634 452,51	136 075,08	95,2 3	M3	Újfalui F.	35	40	5	40
E 1	634 245,94	136 329,66	94,7 4	Qh2		0,00	2,95	2,95	40
E 1	634 245,94	136 329,66	94,7 4	Qh1		2,95	6,1	3,15	40
E 1	634 245,94	136 329,66	94,7 4	Qp3		6,1	24,36	18,26	40

P A - 2 1	EOV_X	EOV_Y	Z(m Bf)	Képződm ény	Rétegtani egység	Rétegt ető	Rétegt alp	Vastags ág	Fúrást alp
E 1	634 245,94	136 329,66	94,7 4	M3	Újfalui F.	24,36	40	15,64	40
F 3	634 661,97	135 923,95	96,1 5	Qh2		0,00	3	3	50,5
F 3	634 661,97	135 923,95	96,1 5	Qp3		3,00	33,00	30	50,5
F 3	634 661,97	135 923,95	96,1 5	M3	Újfalui F.	33,00	50,50	17,5	50,5
G 4	634 767,84	135 905,32	96,3 9	Qh2		0,00	3,00	3	40
G 4	634 767,84	135 905,32	96,3 9	Qp3		3,00	28,10	25,1	40
G 4	634 767,84	135 905,32	96,3 9	M3	Újfalui F.	28,10	40,00	11,9	40

P A - 2 2	EOV_X	EOV_Y	Z(m Bf)	Képződm ény	Rétegtani egység	Rétegt ető	Rétegt alp	Vastags ág	Fúrást alp
A	637 019,32	138 167,99	91,3 8	Qh		0,00	7,96	7,96	40,50
A	637 019,32	138 167,99	91,3 8	Qp3		7,96	23,00	15,04	40,50
A	637 019,32	138 167,99	91,3 8	M3	Újfalui F.	23,00	40,50	17,50	40,50
B	637 025,62	138 160,34	91,2 8	Qh		0,00	4,35	4,35	40,50
B	637 025,62	138 160,34	91,2 8	Qp3		4,35	24,00	19,65	40,50
B	637 025,62	138 160,34	91,2 8	M3	Újfalui F.	24,00	40,50	16,50	40,50
C	637031,8 5	138151,91	91,1 1	Qh		0,00	3,92	3,92	40,57
C	637031,8 5	138151,91	91,1 1	Qp3		3,92	22,70	18,78	40,57
C	637031,8 5	138151,91	91,1 1	M3	Újfalui F.	22,70	40,57	17,87	40,57

2.1.4.2 A kutatóárkok kivitelezése

2.1.4.2.1 Pa-21 kutatóárkok

A kutatóárkok a Paks 088/1 hrsz.-ú kivett közúton kerültek kialakításra a jóváhagyott kiviteli terv és műveleti utasítás szerint [295]. A kivitelezést a BAU-TEAM Építőipari és Vállalkozási Korlátolt felelősségű társaság (Székhely: 7100 Szekszárd, Kölcsey lakótelep 6.) végezte . 2016 július 22 – augusztus 10. között.

Az Pa-21-I kutatóárkok a Pa-21-E1 jelű fúráspontra keresztül haladt, egyben a Pa-21 geofizikai szelvény nyomvonalában. Az árok mélyítésének megkezdése előtt az útfelületről 0,75 m vastag humuszleszedés történt. Az árkolás, a fúrástól mindkét irányban 6-6 m hosszban, 1,5 m szélességben, 3x0,66 m = összesen 2 m mélységben került kivitelezésre. A

felszínközeli, nem kötött homokrétegekben biztonsági okokból - az árok állékonyságának és megfelelő dokumentálhatóságának megőrzése végett - a kutatóárokot 3 mélyítési fogásban alakították ki, 0,66 m-es szeletek egymás utáni mélyítésével. Az első mélyítési fogás finom gépi-, majd kézi földmunkával került kialakításra, a 2. és 3. fogás csak kézi földmunkával készült. Az 1. fogás kialakítása után az árokfal dokumentálása következett, majd ezután fa dúcszerkezettel biztosítás beépítése (26. ábra). A 2. fogásnál végzett műveletek hasonlóak, a 3. fogás 0,66 métere már nem volt biztosított, dokumentálását a betemetés követte.

A földtani-tektonikai dokumentálás ([223], 123 p.) előírásai szerint folyt.

Az árok kialakítása és dokumentálása után, az árok ellenőrzött, mért visszatömedékelése, tömörítése történt, majd befejező műveletként elvégezték a humusz visszaterítését.

A Pa-21-II. kutatóárok a Pa-21-B jelű fúrástól ÉNy-ra, 10,76 m-re kezdődött, és 84 m hosszon halad DK-i irányban, a szelvény mentén (a földúton), pontosan a Pa-21-D1 fúrásig. Az árok kialakításának módja, paraméterei megegyeznek az I. ütemével. A mélyítést megelőző humuszleszedés 0,5-0,9 m mélységben történt.



26. ábra A kutatóárok mélyítésének és dokumentálásának módszerei a PA-21-II árok példáján

A tereprendezés és a humusz eltávolítása után történt meg az első 66 cm mélységű szakasz mélyítése majd dokumentálása (l. balra, hátsó árokszakas). Ezután került beépítésre a biztosító ácsolat (l. balra, az előtér árokszakasát). A dokumentált jelenségek térbeli helyzetének rögzítése a kezdőponttól való távolság és a felszíntől való mélység, valamint az oldalfal (K-i vagy Ny-i) megadásával történt (l. jobbra).

2.1.4.2.2 Pa-22 kutatóárok

A Pa-22 szelvény mentén kutató árok mélyítése nem volt indokolt, mivel sem közvetlen, a fúrások maganyagán végzett észlelések (dokumentálás, CT), sem pedig közvetett jelek – marker horizontok szintje – nem utalnak negyedidőszakon belüli tektonikai folyamatokra [25].

2.1.4.3 A sekélyföldtani kutatás eredményei

A fokozatos, egymásra épülő sekélyföldtani kutatási fázisok alapvető eredménnyel jártak: olyan fiatal (késő-negyedidőszaki) szeizmotektonikus aktivitás nyomai váltak ismertté, amelyek meggyőzően bizonyítják, hogy felszínig hatoló, felszíni elmozdulással járó, azaz kapabilis vetők a területen nem fejlődtek ki a vizsgált időszakban.

2.2 Geofizika

2.2.1 3D szeizmikus mérés a telephely környezetében

A tervezett telephelyen a földtani kutatási program részeként 2014. nyarán-őszén lemérésre került a közel 300 km² kiterjedésű Paks 3D szeizmikus adatrendszer. A szeizmikus adatrendszer feldolgozását a Mecsekérc Zrt.-vel kötött szerződés értelmében a Geomega Kft. végezte. Az elvégzett feladatokról részletesen a 2015. szeptember 15-én teljesített „Értékelő jelentés a 3D szeizmikus kutatás eredményeiről” című jelentésben adtak számot [378]. A feldolgozás fő célkitűzése az volt, hogy a legkorszerűbb feldolgozási eljárások alkalmazásával olyan szeizmikus adattömb kerüljön előállításra, amely lehetővé teszi a terület harmad- és negyedidőszaki képződményei elterjedésének minél pontosabb megismerését, valamint a korábbi geofizikai adatok elemzése alapján már részben ismert vetőzónák kiterjedésének pontosabb meghatározását.

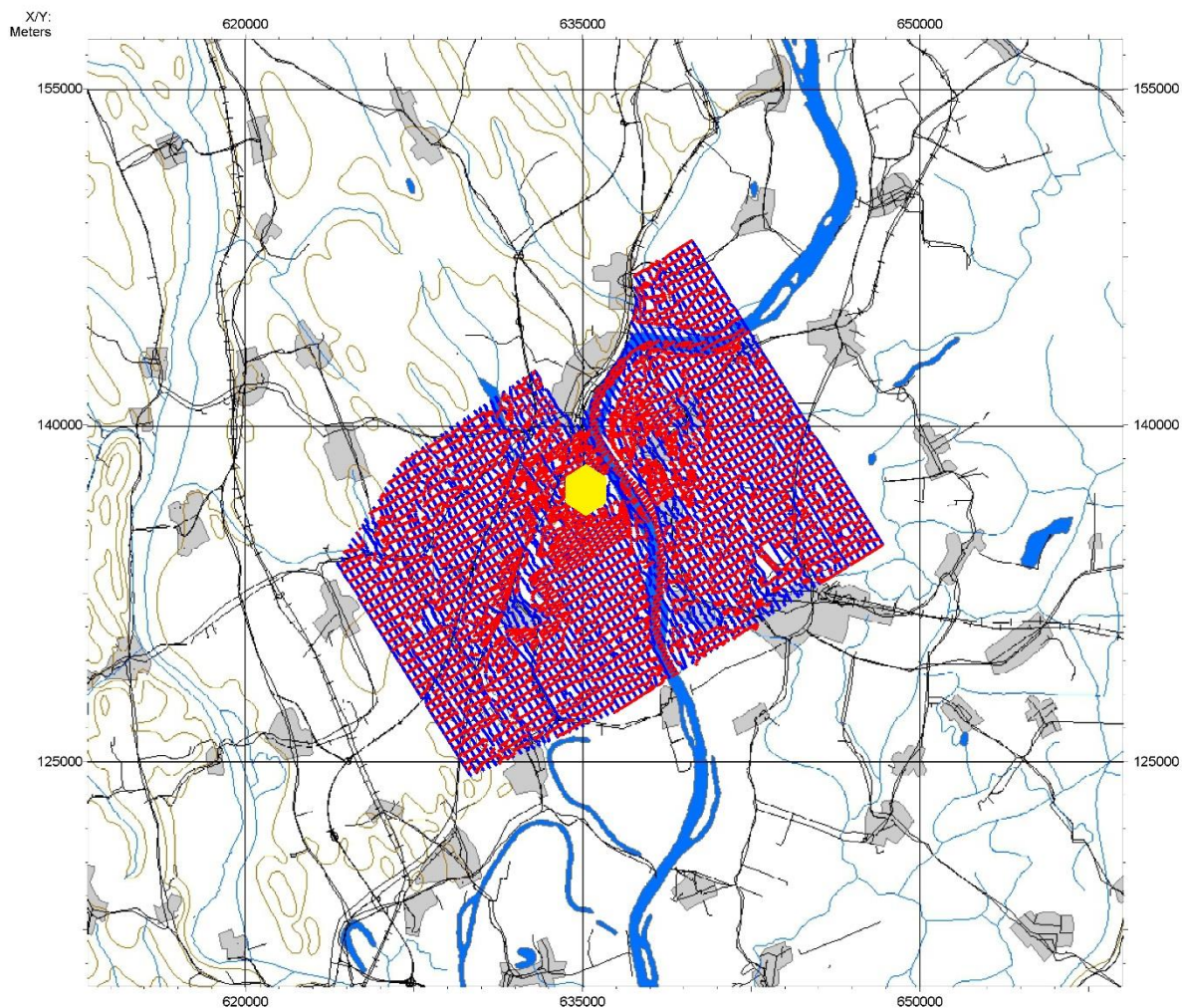
2.2.1.1 Bemenő adatok

A 3D szeizmikus mérés befejezését követően a teljes terepi adatok (egyedi felvételek, tesztek, sekély refrakciós mérések, uphole mérések, geometriát leíró fájlok, dokumentációk, terepi előfeldolgozás eredményei) digitális formában hiánytalanul átadásra kerültek. A terepi munka igen erős minőségellenőrzés mellett zajlott, az átvett adatok utólagos, részletes ellenőrzésére során semmilyen érdemi problémát nem merült fel. A megvalósult mérési geometriát a 27. ábra mutatja.

Az átadott anyag részét képezte a terepi előfeldolgozás során definiált alaphálózat geometriája, az előállított stack és migrált adattömb SEG-Y formátumban, valamint az előfeldolgozás során meghatározott rms (átlagnégyzetes, azaz stacking) sebességtér. A feldolgozáshoz ugyanezt a geometriát definiálták.

Az adatrendszer alaphálózata: InLine 101–941, CrossLine 101–745, CDP bin-méret 25×25m. Az alaphálózatot EOVS rendszerben lett definiálva. Az alaphálózat kezdőpontja (EOV): 622066,31; 137084,41, azimut: 57,92 fok.

A 3D mérés során összesen 16001 forráspont valósult meg, melyek közül 14992 darab (94%) esetén a jelgerjesztést vibrátorcsoport biztosította, 298 (1.86%) volt robbantásos, 711 (4.44%) esetben használtak sűrített levegős air-gun forrást. Mivel a három felhasznált forrás jelalakja eltér, az optimális összegzés megvalósítása érdekében szükséges volt az egyedi felvételek egységesítése. Ezért a feldolgozás során a vibrátor forrás jelalakjához illesztették a másik két forrással rögzített felvételek jelalakját.



27. ábra A Paks 3D megvalósult terepi mérési hálózata

Forráspontok (piros) és geofon pontok (kék). A tervezett telephelyet a sárga poligon jelöli. Az alaptérkép szolgáltatója: © HM Zrínyi Nonprofit Kft. 2015.

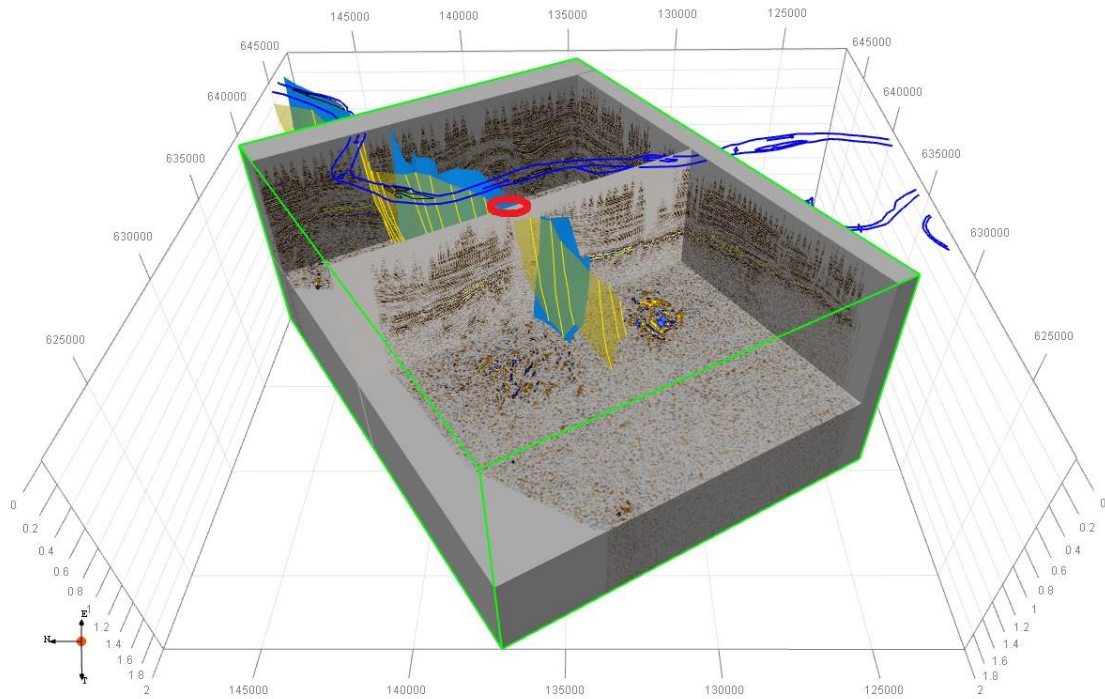
2.2.1.2 A 3D szeizmikus adatrendszer feldolgozása

A feldolgozás ProMAX 3D 5000.0.2.3 verziójú feldolgozó rendszerben történt. A fontosabb feldolgozási paraméterek tekintetében folyamatos egyeztetés zajlott a megrendelő képviselőjével, külön figyelmet fordítva Makarewicz és Gombár [207], a végleges feldolgozásra megfogalmazott ajánlásaira. A terepi előfeldolgozáshoz hasonlóan a feldolgozási referencia szint 50 mBf. volt. A feldolgozás során kiemelt figyelmet fordítottak a statikus korrekciók és a terület sebesség viszonyainak minél pontosabb meghatározására, hogy az eredményként előállított összegzés utáni (post-stack) és összegzés előtti (pre-stack) migrált adattömbök a lehető legpontosabb és legrészletesebb képet adják a terület geológiai viszonyairól.

Az alkalmazott feldolgozási lépéseket és feldolgozási paramétereket nagy részletességgel tárgyalja [378] 3D szeizmikus zárójelentése. Itt a részletes diszkussziótól eltekintünk, és csak felsorolásszerűen közöljük az alkalmazott 3D szeizmikus feldolgozás munkafolyamatának lépéseit:

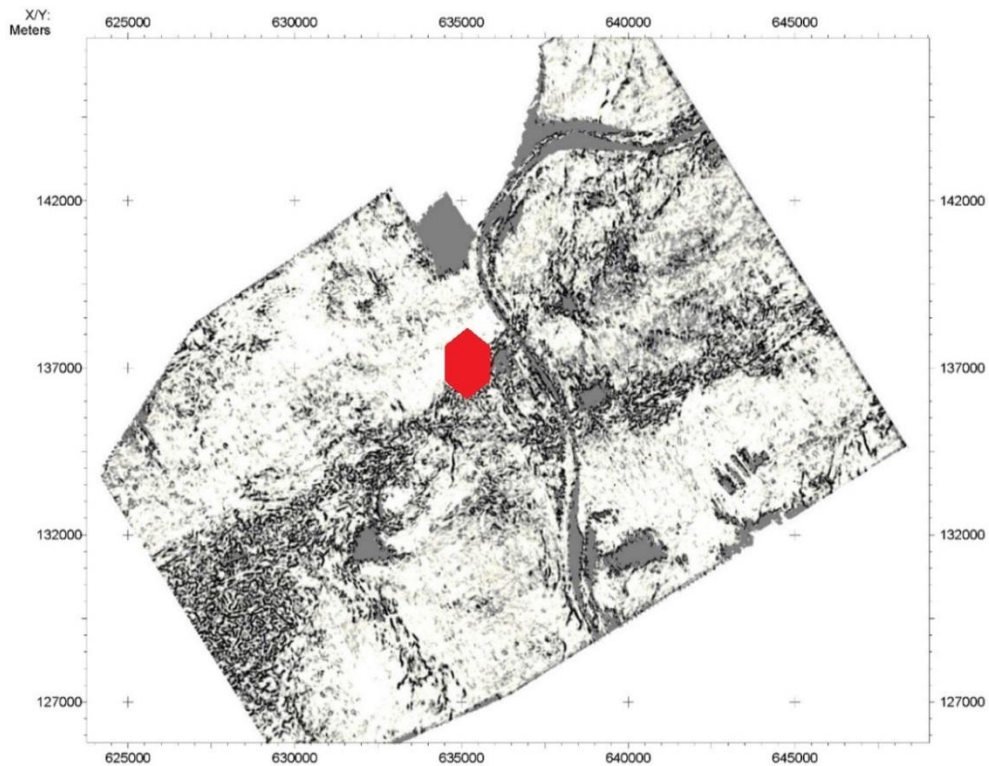
- terepi felvételek és geometria beadása
- eltérő források jelalakjának egységesítése (match filter)
- a felszíni zavarhullámok elnyomása
- refrakciós statikus korrekció
- gömbi szóródás korrekciója
- felszín-konzisztens amplitúdó kiegyenlítés
- felszín-konzisztens dekonvolúció
- frekvenciaszűrés
- reflexiós sebességanalízis (1)
- automatikus statikus korrekció (1)
- reflexiós sebességanalízis (2)
- automatikus statikus korrekció (2)
- normal-moveout korrekció (NMO)
- CDP szerinti összegzés
- F-XY dekonvolúció
- explicit FD időtartománybeli (post-stack) migráció
- automatikus erősítés szabályozás
- migrációs sebességanalízis
- összegzés előtti (pre-stack) idő migráció (PSTM)
- PSTM utófeldolgozás (zajszűrés, amplitúdó kiegyenlítés)

Mivel a megrendelő kérésére a települések belterületein nem létesültek forráspontok, ezért a feldolgozott adatrendszer legfelső, 0-250 ms közötti időtartománya meglehetősen adathiányos lett, így az értelmezésre nem volt alkalmas (lásd 28. ábra háromszög alakú adathiányok az adattömb felső részén). A mélyebb tartományokban azonban a modern feldolgozási technikának köszönhetően a pannóniai (s.l.) fekvő horizontig nagyon jó leképezést sikerült elérni, amely mind a horizont, mind pedig a vetőértelmezést nagy pontossággal tette lehetővé (28. ábra). Bár az összegzés utáni migrációval előállított adatrendszer részletesen leképezte a terület pannóniai (s.l.) képződményeit, valamint az azokat határoló vetőrendszereket, nem adott kielégítő képet a komplexebb struktúrájú idősebb képződményekről. Az összegzés előtti (pre-stack) migrációval készült adattömb létrehozásával sikerült ezt orvosolni, ami már pontosabb képet alkotott a bonyolultabb geológiai struktúrák geometriájáról, ezáltal segítette az idősebb képződmények szerkezetföldtani értelmezését és a 3D földtani modell megalkotását. A vetőrendszerek azonosítását és részletes térbeli lefutását leginkább az összegzés utáni migrált adatrendszerből számított koherencia adattömb értelmezése segítette (29. ábra).



28. ábra A Paks 3D szeizmikus adattömb összegzés utáni migrált adatrendszerének 3D „chair-cut” perspektívikus nézete Ny felől

A Dunaszentgyörgy-Harta vetőzóna két peremvetőjét a sárga illetve kék felületek, a tervezett telephelyet a piros poligon jelöli.



29. ábra A Paks 3D szeizmikus adattömbből számított koherencia adatrendszer 450 ms-nál való metszete
A sötétebb színnel megjelenő diszkontinuitások és lineamentek legnagyobb részét vető(zóná)k okozzák. A tervezett telephelyet a piros poligon jelöli.

2.2.2 *A felszínközeli szerkezetek és földtani felépítés részletes meghatározása sekélygeofizikai módszerek segítségével*

2.2.2.1 **2D S-hullám sekélyreflexiós mérések**

2.2.2.1.1 *Bevezetés*

Az FKP 5.2.5. pontja alapján az MFGI és a Geomega Kft. 2D S-hullám sekélyreflexiós szeizmikus szelvényezést végzett a tágabb kutatási területen és a tervezett telephelyen belül (2., 3., 5. és 7. melléklet) [311] [171]. A mérések célja a felszínközeli rétegek geometriájának felfedése, esetleges megszakadásának vizsgálata, illetve a csökkent sebességű zónák kimutatása volt. Az S-hullám sebességek a kőzet mechanikai tulajdonságaival közvetlen kapcsolatba hozhatóak, ellentétben a P-hullámokkal, ahol a talajvíz szintje, illetve a talaj változó nedvességtartalma jelentősen befolyásolhatja a hullámsebességet. További előnye az S-hullám módszernek a hagyományos reflexiós mérésekkel szemben, hogy azonos detektált frekvencia esetén a felbontása három-négyszer nagyobb, mivel az S-hullám sebessége csak harmada, negyede a P-hulláménak.

2.2.2.1.2 *Terepi mérések*

A terepi méréseket az MFGI 2015. december 1-jén kezdte meg a mérési eszközök helyszínre szállításával és a vonalak geodéziai kitűzésével, majd 2016. február 22-én fejezte be a Pa-21-es vonalon [174].

A Geomega Kft. a neotektonikai vizsgálatok szempontjából kiemelt fontosságú, a tervezett telephely közelében, attól délnyugatra elhelyezkedő Pa-21-S szelvény nyomvonalában végzett S-hullám reflexiós szeizmikus mérést egy jobb jel/zaj arányú felvételeket biztosító, nagyobb energiájú jelforrással. A Pa-21-S-Geomega szelvény méréseire 2016. január 27. és február 5. között került sor [356].

A telephelyen kívüli S-hullám mérések a korábbi nagyfelbontású 2D P-hullám reflexiós mérések nyomvonalai mentén történtek 5 km szelvényhosszban, a Pa-21-P, -22-P, -23-P és -25-P szelvények kijelölt szakaszain (2. és 3. melléklet). A kijelölést az MVM PAKS II. Zrt., a Geomega Kft. és a Mecsekérc Zrt. szakemberei végezték 2015. novemberének második felében. A telephelyen belül a korábbi multielektrodás és szeizmikus refrakciós szelvények nyomvonala mentén történtek a mérések 8 km szelvényhosszban (5. és 7. melléklet). A refrakciós mérések nyomvonal adatait 2015. december 3-án adta át az MFGI részére a Mecsekérc Zrt. A telephelyen belüli szelvények esetében az MFGI a korábbi mérési vonal elnevezéseket és a vonalak irányítottságát megtartotta [355] a későbbi könnyebb összevethetőség érdekében.

Az MFGI terepi mérései

Az MFGI mérései során, a nagyfelbontású P-hullám reflexiós méréseknél is használt, Sercel 428XL Lite szeizmikus mérőrendszer került alkalmazásra, 408-as típusú terepi digitalizáló dobozokkal (FDU), 10 Hz-es sajátfrekvenciájú, Longet gyártmányú, egyedi horizontális geofonokkal. A jelgerjesztés az ELVIS III S8 Electrodynamic Vibrator System alkalmazásával történt (ELVIS III S8 leírás: <http://www.geosym.de/geophysical-measurement-systems/seismic-vibrator-source-elvis/>). A vibrátoron belül kb. 7 kg-os tömeg végzi a vízszintes rezgőmozgást elektromágneses erőtér hatására, SH típusú

hullámgerjesztésnél a vonal irányára merőlegesen. A vibrátor egység egy kerekcs talicskavázra van felszerelve a könnyebb mozgathatóság érdekében. A vázon lévő dobozban kapott helyet az akkumulátor, mellyel naponta kb. 600 db vibrálás végezhető el. A jobb talajcsatolás érdekében a vibrátorra üzem közben egy személy ráült. A vibrátor vezérlő elektronikáján, ami a műszerkocsiban került elhelyezésre, egy kapcsoló segítségével a vibrátor indulási iránya szabályozható (jobbra vagy balra induljon meg a tömeg mozgása). Kábeles kapcsolat biztosította a kommunikációt a vezérlőelektronika és a vibrátor között. Az elméleti sweep a Sercel 428-as műszeren lévő 4 db külső csatorna egyikén került rögzítésre, mellyel a felvételek korrelálása már a helyszínen elvégezhető volt. A későbbi átalakítások során egy geofon került rögzítésre az ELVIS vibrátor mozgó részén. Ennek a jele is rögzítésre került – szintén kábeles kapcsolat segítségével – a Sercel 428-as műszer egy másik külső csatornáján. Így lehetőség nyílt a kétféle korreláció végrehajtására és összehasonlításukra. Az utóbbi korrelációs módszert alkalmazva kerültek le mérésre a Pa-21, Pa-22 (újra mérve), Pa-25 és a telephelyen belüli Ref jelű szelvények.

A mérést megelőző tesztek 2015. december 2-án kezdte el az MFGI. Első lépésben az ELVIS vibrátor és a Sercel mérőrendszer illesztését végezték el. Ezt követően december 3-án készültek az első tesztfelvételek, amit másnap kalapácsos jelgerjesztéssel folytatott/egészített ki a kivitelező. A kalapácsos felvételek energiája nem volt elegendő a vibrátoros méréshez hasonló eredmény eléréséhez. A kiválasztott 10 sec hosszúságú sweep frekvenciája 20-80 Hz volt. A kutatás során használt eszközök teljes listája az S-hullám sekélyreflexiós kutatási jelentésben került részletes ismertetésre [174]. A Beruházó, MVM Paks II Zrt., a teljes kutatási folyamat idejére (tervezés, előkészítés, mérés, feldolgozás és értelmezés) Gombár László geofizikus mérnököt delegálta minőségellenőrnek, akinek az egyetértésével került végrehajtásra a teljes munkafolyamat.

A mérések technikai paraméterei a következők voltak (19. táblázat):

19. táblázat A mérések technikai paraméterei

Vonalak összhosszúsága	14 km
A mérés során az aktív csatornák száma	96 db
Forráspont intervallum	2 m
Geofon intervallum	2 m
Geofon	1 db, 10 Hz sajátfrekvenciájú horizontális geofon
Sweep	10 s lineáris 20-80 Hz között
Egy forrásponthoz tartozó gerjesztések száma	2 db, ellentétes irányból indítva
Felvételhossz	1000 ms, (Sweephosszúság + 1000 ms)
Mintavétel	0,5 ms ¹

A mérések során 3 db 32 csatornából álló blokkot alakítottak ki 408-as Sercel FDU kból. A geofonok távolsága egymástól 2 m, így egy terítés hossza 190 m volt. A gerjesztést a második 32-es blokk előtt kezdték és a blokk végén fejezték be. A kezdő forráspont 1 m-re volt a 2. blokk első geofonjától és 2 m-ként vibráltak (32 db a források száma). Ezután 1 blokknyit (32 csatorna) vitték előre a terítést. Az offset nem volt kevesebb a középlövéses rendszer egyik ágán sem, mint 32 csatorna (64 m) a forrásponttól számítva. Kivéve a vonalak elején és végén, ahol fél terítéssel indult, illetve fejeződött be a mérés. Minden egyes vibrálási helyen addig változtatták a vibrátor pozícióját, amíg a vibrátortalpon regisztrált jelcsomag amplitúdó spektruma legjobban megközelítette az elméleti jelalak amplitúdó spektrumát. A

terepi mérés részét képezte a minőségellenőrző helyszíni feldolgozás, melynek alkalmazásával folyamatosan követhető volt a mért adatok minősége, továbbá előzetes eredményeket szolgáltatott a projekt többi résztvevőjének.

A Pa-22-es szelvény mérése során a terepi felvételek reflexióban szegénynek bizonyultak. Ennek a következők lehetnek az okai:

- a Pa-22-es szelvény vizsgált szakaszán egy erősen tektonizált szerkezetű zóna húzódik
- a vibrátor limitált energiája, mely az eszköz kis méretéből (azaz tömegéből) adódik
- a mérési nyomvonalak mentén szakaszonként észlelt laza talajszerkezet, amely egyrészt energiaelnyelő hatású, másrészt erősen torzítja a talajba betáplált jelet (a sweepet)

Az utóbbi problémát megoldandó a Pa-25-ös vonal mérésétől kezdve egy geofon segítségével külön csatornán került rögzítésre a mozgó tömegben regisztrált jel is. Ezt a módszert alkalmazva, a felvételek minősége javult. Ezért újra lemérésre került a Pa-22-es vonal.

A Geomega Kft. terepi mérése

A Geomega Kft. a mérést SUMMIT II Compact szeizmikus adatgyűjtő dobozokkal végezte, melynek egységei dobozonként 24 szeizmikus csatorna regisztrálását végzik 24 bit-es A/D konverterek segítségével. Az észleléshez a Geospace Technologies által gyártott GS-3C Land Case típusú geofonokat használták, GS-20DX típusú, 10 Hz sajátfrekvenciájú geofonbetétekkel. Jelgerjesztésre a Geomega Kft. által fejlesztett állványos, ejtősúlyos S-hullám forrás került alkalmazásra. A forrás maximális energiája 330 J, melyet egy 45°-os ütőfelületen ad át a talplemezre. Az impulzív jelforrás kiváló ismétlési biztonsággal jellemezhető, ami fontos volt a Pa-21-S-es mérési vonal déli szakaszán, ahol a mérés a nagyfeszültségű vezetékek alatt történt. A vezetékek jelentős elektromágneses zajt (50 Hz), a vezetékoszlopok pedig enyhén szeles időben is nagy amplitúdójú mechanikus rezgést generáltak a talajban. A szelvény mentén a jel/zaj arány függvényében alkalmazott, pontonkénti 3-6-szoros ismétlésszám (stack) nagyban javította a felvételek jel/zaj arányát.

A Pa-21-S-Geomega szelvény főbb mérési paraméterei a következők voltak (20. táblázat):

20. táblázat A Pa-21-S-Geomega szelvény főbb mérési paraméterei

Vonalhossz	1 km
A mérés során az aktív csatornák száma	72 db
Forráspont intervallum	3 m
Geofon intervallum	3 m
Geofon	1 db, 10 Hz-es geofon
Forrás energiája	~330 J
Egy forrásponthoz tartozó gerjesztések száma	3-6 db azonos irányból indítva
Felvételhossz	1280 ms
Mintavétel	0,5 ms

A terepi mérés során alkalmazott eszközök teljes listája a Geomega Kft. kutatási jelentésében [356] került ismertetésre. A mérések során 3 db 24 csatornából álló blokkot alakítottak ki a SUMMIT II Compact adatrögzítőkből. A geofonok távolsága egymástól 3 m, így egy terítés hossza 213 m volt. A gerjesztést a második 24-es blokk előtt kezdték és a blokk végén fejezték be. A kezdő forráspont 1,5 m-re volt a 2. blokk első geofonjától és 3 m-ként történt gerjesztés. Ezután 1 blokknyit (24 csatorna) vitték előre a terítést. A vonal elejétől és végétől eltekintve az offset nem volt kevesebb a középlövéses rendszer egyik ágán sem, mint 24 csatorna (72 m). A terepi felvételezés során minden egyes felvétel monitorozásával biztosították, hogy megfelelő ismétlésszám (stack) történjen minden egyes forrásponton.

2.2.2.1.3 Az MFGI által mért 2D S-hullám szelvények feldolgozása

A szeizmikus S-hullámok terjedési sebessége alacsonyabb, mint a P-hullámoké, azaz ugyanannyi idő alatt kisebb távolságot tesznek meg a kőzetekben, ezért részletesebb felbontású képet eredményeznek a földtani rétegekről. Emiatt az S-hullám szelvényeken a réteghatárok pontosabban elkülöníthetők, illetve az esetleges vetők menti elmozdulások mértéke pontosabban meghatározható. Mindazonáltal a hazai és a nemzetközi tapasztalatok azt mutatják, hogy az S-hullám adatok jel/zaj viszonya alacsonyabb, mint a P-hullámoké. Ennek oka az, hogy az S-hullámok csillapodása lényegesen erőteljesebb a földtani közegben való terjedés során. A projekt során megvalósított S-hullám reflexiós mérések az első ilyen ipari jellegű kísérletek Magyarországon, ezért az optimális szeizmikus feldolgozási módszer megvalósítása az eredetileg becsültnél időigényesebb folyamat volt.

Az S-hullám adatok reflexiós feldolgozásakor arra törekedett az MFGI, hogy a lehető legnagyobb jel/zaj viszony javulást éri el. Az alkalmazott feldolgozási lépések az alábbiak voltak:

- terepi felvételek és geometria beadása
- spektrum analízis alapján frekvenciaszűrés
- a maradék felszíni zavarhullámok elnyomása
- szférikus divergencia korrekció
- felszín-konzisztens amplitúdó kiegyenlítés
- felszín-konzisztens dekonvolúció
- frekvenciaszűrés
- domborzati statikus korrekció
- reflexiós sebességanalízis (1)
- automatikus statikus korrekció (1)
- reflexiós sebességanalízis (2)
- automatikus statikus korrekció (2)
- normal-moveout korrekció (NMO)
- szupergyűjtemények előállítása („vertikális összegzés”)
- CDP szerinti összegzés
- 2D térbeli szűrés
- F-X dekonvolúció
- frekvenciaszűrés
- időben változó amplitúdó skálázás
- implicit FD időtartománybeli migráció
- súlyozott csatorna keverés
- csatorna kiegyenlítés

Megjegyzendő, hogy az S-hullám felvételek – a P-hullámokéhoz képest – nagyobb zajszintje miatt az első beérkezések jelölése helyenként meglehetősen bizonytalanná vált,

ezért itt nem került sor refrakciós statikus korrekció alkalmazására, mint a P-hullám adatok feldolgozásánál. A másik lényeges különbség az, hogy az S-hullámok feldolgozásánál a „valódi amplitúdó visszaállítás” került végrehajtásra a P-hullám feldolgozásánál alkalmazott AGC (automatikus erősítés szabályozás) helyett – elsősorban a telephelyen belül mért többi geofizikai paraméterrel való pontosabb egybevetés céljából (geoelektromos és fúrási szelvények). Az eredményül kapott migrált mélységszelvények – értelmezés nélkül – a jelentéshez csatolt mellékletként kerülnek közlésre (4. és 6. melléklet) [174]. Minden szelvény mentén elkészültek az első-beérkezései tomográfiák is, és a telephelyen belül egy pszeudo 3D sebességtér is [174].

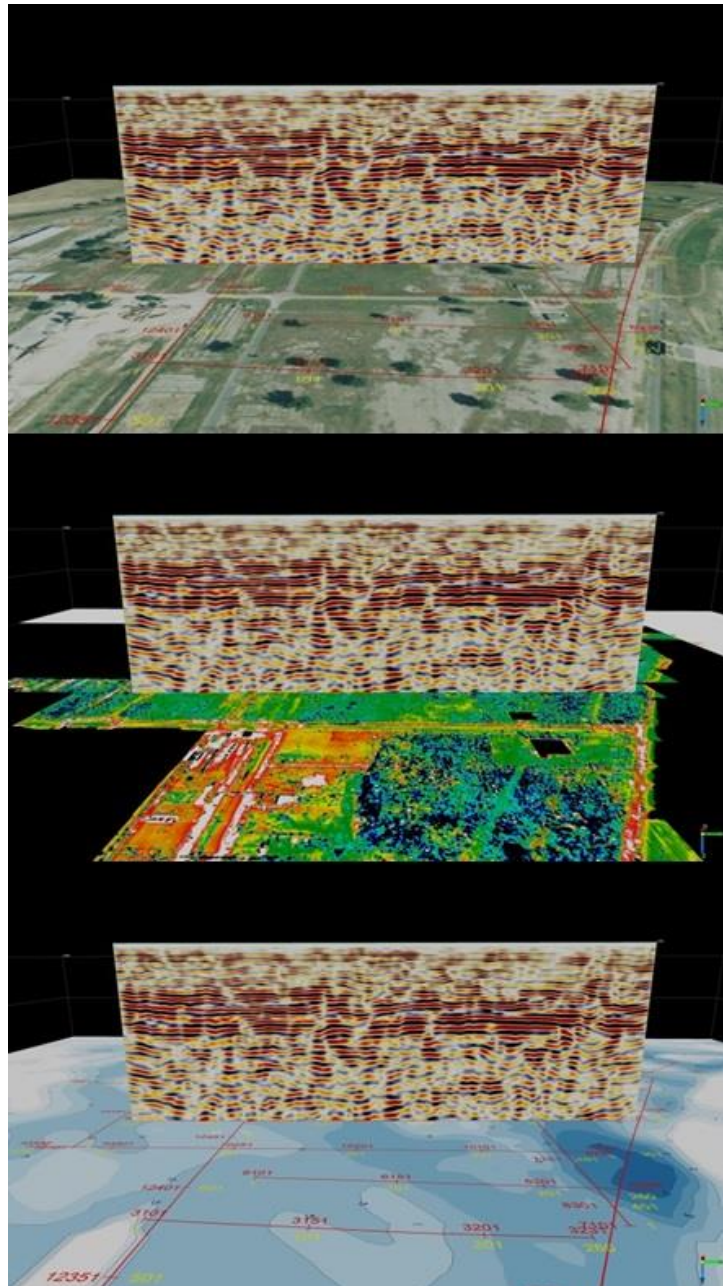
Az S-hullám adatok feldolgozási metodikájával olyan szeizmikus képek (reflexiós szeizmikus és tomográfias sebesség szelvények) kerültek előállításra, amelyek lehetővé tették a kitzűött kutatási cél megvalósítását – a nagyfelbontású szerkezetföldtani értelmezést a mért 2D vonalak mentén. Az eredményül kapott S-hullám reflexiós szelvények lehetővé teszik a sekély, 100 m-ig terjedő mélységtartomány szerkezeti elemzését. A tomográfias inverzió eredményei a felszínközeli 30 m-es tartományról adnak független információt.

Az S-hullám adatok reflexiós feldolgozása során a leghatékonyabb felbontóképességet és jel/zaj viszonyt javító műveletek az alábbiak voltak:

- felszín-konzisztens (jósló) dekonvolúció
- automatikus statikus korrekció (Maximum Power Autostatics)
- szupergyűjtemények előállítása („vertikális összegzés”)
- F-X (jósló) dekonvolúció az összegzés után

Általános tapasztalatként elmondható, hogy a háttérzaj – a szeizmikus jelek frekvenciatartományát átfedő rezgések – szintje a telephelyen belül az erőmű épületéhez közeledve jelentősen nőtt, ezért a déli részen lévő szelvények minősége rosszabb, mint az északi szelvényeké. A telephelyen történő mérést a jelenlegi felszíni adottságok is jelentősen befolyásolták. Ezért a szelvények feldolgozása és értelmezése során figyelembe lett véve minden rendelkezésre álló adat, ami a felső néhány méteres tartományra információt adott – elsősorban a korábbi építkezés során végrehajtott saját és idegen anyagok feltöltés vonatkozásában. Így felhasználásra kerültek a területen készített légifotók [74], az elektromágneses kutatások eredményei [354], valamint az MFGI által digitalizált, 1964-ben kiadott 25.000-es méretarányú térképlapok, melyek az erőmű építése előtti, 1962-63-as állapotot rögzítik. Mindezek alapján a következő következtetések vonhatók le:

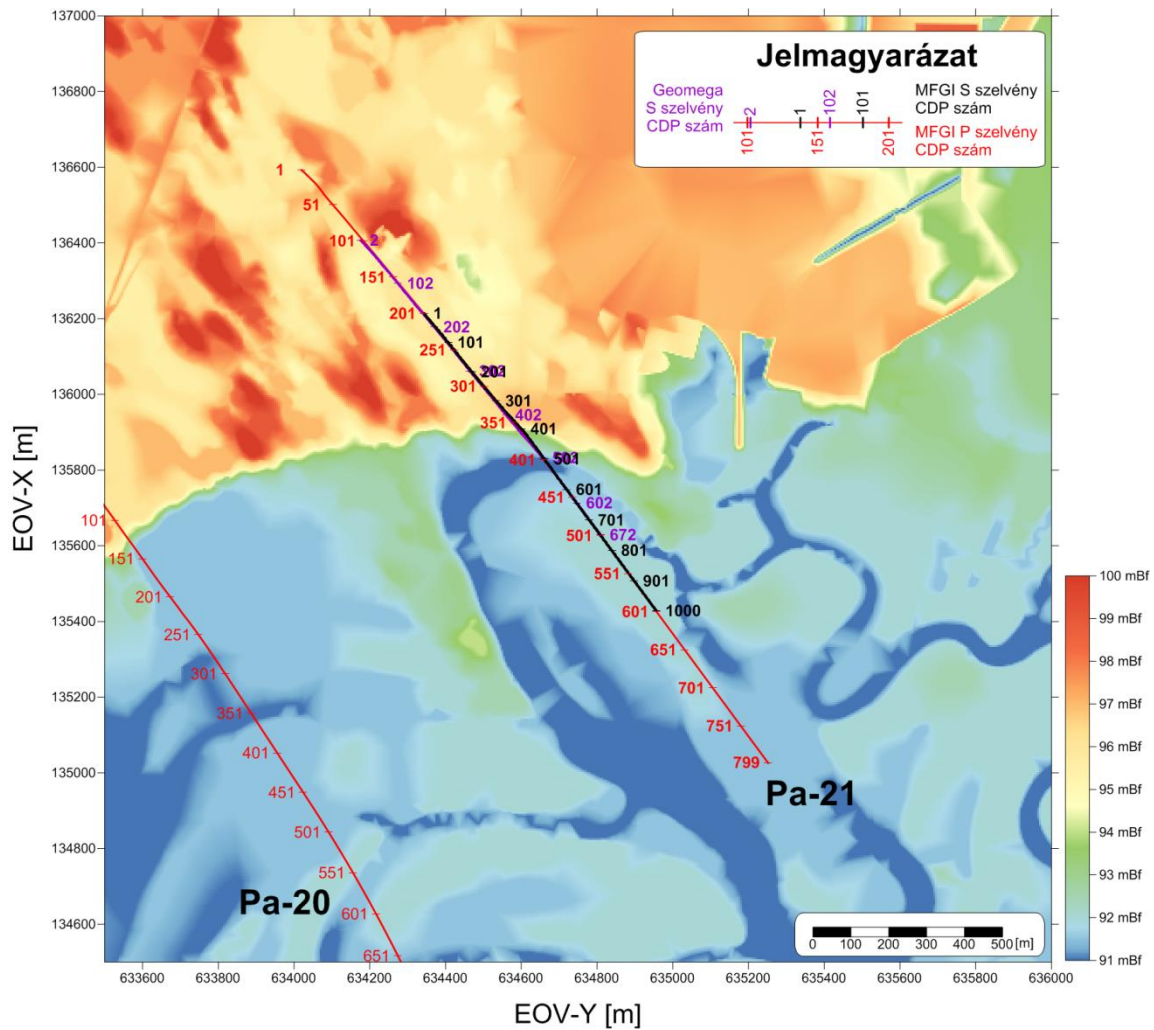
- a szelvényminőséget befolyásoló legjelentősebb felszíni hatást az utak és betonlappal borított területek mentén tapasztalt jeltorzító hatások jelentették. Ezek a hatások a feldolgozás során a lehető legnagyobb mértékben eliminálásra kerültek (30. ábra)
- a terepfeltöltés vastagságának változásai nem befolyásolták a szelvények minőségét
- a telephely déli részén jelentős felszínközeli hatások – vonalas szerkezetek, korábbi építkezéshez köthető épületalapok, vezetékek, stb.– terhelhetik a szelvényeket, míg az északi rész ezektől a hatásoktól kevésbé terhelt



30. ábra A Ref-9-es szelvény axonometrikus képe a légifotó, az elektromágneses eredmény és a feltöltés térképeken (fentről lefelé haladva) délről nézve

2.2.2.1.4 A Geomega Kft. által mért Pa-21-S-Geomega szelvény feldolgozása

A Pa-21-S-Geomega szelvény feldolgozása során a fő vezérelv egy robotsztus, a felszínközeli geológiai viszonyok megbízható leképezését biztosító feldolgozási folyamat kidolgozása és alkalmazása volt. A feldolgozás során a mind vertikálisan, mind pedig a szelvény mentén laterálisan erősen változó sebességtér meghatározása kiemelt fontosságúnak bizonyult. A sebességtér meghatározását nagyban segítette az első beérkezéseken alapuló klasszikus refrakciós és tomografikus inverziós feldolgozás. Mint az az alábbi ábrán (31. ábra) bemutatott helyszínrajzon is látható, a Pa-21-S-Geomega szelvény (CDP pontjai lila színnel vannak feltüntetve (31. ábra)) északnyugati része egy 95 mBf magassággal jellemezhető terasz-szinten, míg a délkeleti része a recens Duna mellékága által erodált 90-91 mBf magasságú felszínen mérődött.



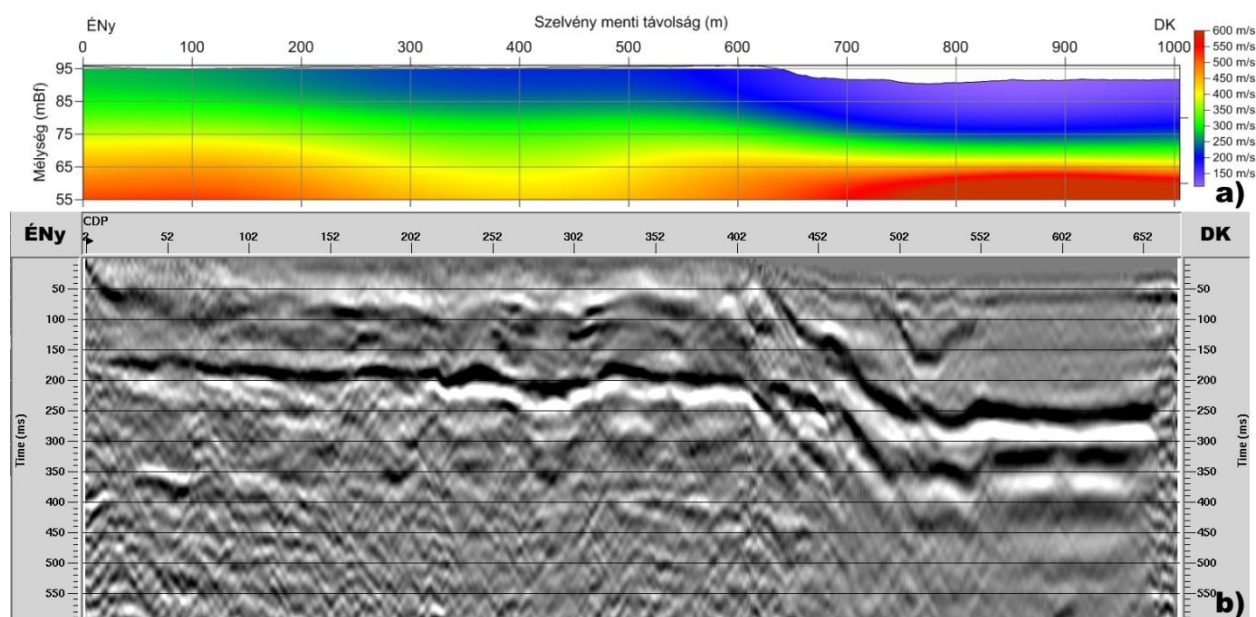
31. ábra Az MFGI és Geomega által mért Pa-21-S szelvények és a Pa-21-P szelvény helyszínrajza nagyfelbontású domborzati modellen ábrázolva

Piros szín jelöli a Pa-21-P, fekete az MFGI által mért Pa-21-S, lila pedig a Geomega Kft. által mért Pa-21-S-Geomega szelvény helyét és CDP pontjait.

A szintkülönbséggel egybeesően jelentősen megváltozik a szelvény mentén a legfelső rétegekben az S-hullám terjedési sebessége. Ezt a laterális változást mind a refrakciós, mind a tomografikus kiértékelés leképezte (32. ábra).

Az alábbi ábrán (32. ábra) bemutatott S-hullám időszelvény főbb feldolgozási lépései a következők voltak:

- terepi felvételek és geometria beadása
- erepi statikus korrekció 95 mBf referenciaszint és 500 m/s helyettesítési sebesség alkalmazásával
- spektrum analízis alapján frekvenciaszűrés
- automatikus erősítés szabályozás (AGC)
- csatorna szerkesztések (KILL, MUTE)
- sebesség analízis
- normal-moveout korrekció (NMO)
- FK szűrés
- CDP szerinti összegzés
- frekvenciaszűrés



32. ábra A Geomega Kft. által készített refrakciós és tomografikus kiértékelés

(b) Pa-21-S-Geomega S-hullám időszelvénye; (a) és tomografikus feldolgozásának eredménye; A tomografikus sebességtér háromszoros túlmagasítással került megjelenítésre.

A fenti ábrán (32. ábra) bemutatott S-hullám időszelvény és a felette megjelenített tomografikus sebességszelvény egyértelműen leképezi a pannon-kvarter réteghatárt, valamint a szelvény délkeleti végén erőziónan bevágódó recens dunai üledékeket. A recens dunai üledékekben az S-hullám terjedési sebessége egészen 150 m/s-ig csökken, ami az időszelvényben a pannon-kvarter réteghatár látszólagos „benyomódását” eredményezi. A számított sebességterekkel elvégzett mélységkonverziós tesztek azt mutatják, hogy ez a „benyomódás” csak látszólagos, mélységszelvényben hasonló ellépés nem tapasztalható.

2.2.2.2 Nagyfelbontású 2D P-hullám reflexiós mérések

2.2.2.2.1 Bevezetés

Az FKP 5.3.2.1. pontjának megfelelően az MFGI nagyfelbontású 2D szárazföldi reflexiós szeizmikus szelvényezést végzett a tágabb kutatási területen 30 km szelvényhosszban, 9 vonal mentén (8. melléklet). A mérések a 3D szeizmikus mérés alapján kijelölt vetők helyzetének pontosítására készültek, a 3D szeizmikus mérés által le nem képezett legfelső mélységtartományban [311] [171].

2.2.2.2.2 Terepi mérések

A terepi méréseket 2015. szeptember 21-én kezdte meg az MFGI a mérési eszközök helyszínre szállításával, illetve a vonalak geodéziai kitűzésével és 2015. november 25-én fejezte be a Pa-20-as vonalon [173].

A mérések engedélyezéséhez szükséges végleges nyomvonalakat 2015. július 27-én adta át a Mecsekérc Zrt. az MFGI részére (8. melléklet). A tulajdonosi/földhasználói adatokat és a korábbi 3D szeizmikus méréshez kapcsolódó kártalanítási adatbázist az MVM Paks II. Zrt. adta át az MFGI-nek. A tulajdonosi kiértékelések 2015.08.31-én kezdődtek meg és 2015.09.03-án fejeződtek be. Összesen 541 címre került kiküldésre az értesítés a 604 érintett

ingatlan alapján. A 24 db legnagyobb földhasználóval 2015. szeptember folyamán személyes egyeztetést végzett az MFGI a mérések kivitelezéséről.

A mérés során Sercel 428XL Lite szeizmikus mérőrendszer került alkalmazásra, 408-as típusú terepi digitalizáló dobozokkal (FDU), 10 Hz-es sajátfrekvenciájú 6-os tagszámú csoportgeofonokkal. A jelgerjesztés IVI Mark 4 (Failing Y2400) vibrátorokkal, Pelton Advance II (ver6) vibrátorvezérlő elektronikákkal és Input-Output Syncrophone II lőgéppel történt. A kutatás során használt eszközök teljes listája a kutatási jelentésben került részletes ismertetésre [173]. A mérés megkezdéséhez szükséges geofoncsoportok vizsgálatára, a terepi digitalizáló dobozok (FDU) és a vibrátorok vezetékes, illetve független gyorsulásmérős tesztjére 2015. szeptember 24-én került sor. Ezt követően az optimális mérési paraméterek meghatározásához szükséges vibrátoros tesztek következtek 2015. szeptember 26-án. A robbantásos tesztek 2015. szeptember 28-án a Pa-22-es vonalon végezte el az MFGI.

A mérések technikai paraméterei a következők voltak 21. táblázat:

21. táblázat A mérések technikai paraméterei

Vonalak összhosszúsága	30 km
A mérés során az aktív csatornák száma	240 db
Forráspont intervallum	5 m (robbantás) / 2,5 m (vibrátor)
Geofon intervallum	5 m
Egy geofoncsoportban lévő geofonok száma	6 db, 10 Hz sajátfrekvenciájú
Sweep	10 s lineáris 25-150 Hz között, 300 ms cosinus taper
Egy forráspont-hoz tartozó gerjesztések száma	1 db
Robbantólyuk mélység	2 m +/- 0,1 m
Robbantólyukak száma forráspontonként	1 db
Töltetnagyság	125-250 g
Robbanóanyag típusa	ANDO-EV 5900 m/s robbanási sebességű emulziós robbanóanyag
Gyutacs	SEISMIC-S nagy pontosságú villamosgyutacs (1 ms)
Felvételhossz, robbantás esetén	2000 ms
Felvételhossz, vibrátoros forrás esetén	12000 ms (Sweep-hosszúság+2000 ms)
Mintavétel	1 ms

A Pa-20 és Pa-22-es vonal nagyrészt vibrátoros forrással lett mérve, csak az erdős, vibrátorokkal meg nem közelíthető helyeken történt robbantás. A Pa-23, Pa-25 és Pa-27-es vonalak tisztán robbantásos, míg a Pa-21, Pa-24, Pa-26 és Pa-28-es vonalak tisztán vibrátoros forrással lettek mérve.

A mérések során 5 db 48 csatornából álló blokk került kialakításra 408-as Sercel FDU-kból. Az 5 m-es geofontávolságból adódóan egy terítés hossza 1195 m volt. A gerjesztés a harmadik 48-as blokk előtt kezdődött és a blokk végén fejeződött be. Robbantás során a források távolsága 5 m volt és a kezdő hely 2,5 m-re helyezkedett el a 3. blokk első geofonjától a vonal irányában (összesen 48 db forráspont egy mérési ütemben). Vibrátoros forrás esetén a forráspontok távolsága 2,5 m volt. A kezdő geofon 1,25 m-re volt a 3. blokk

első geofonjától és 2,5 m-ként történt vibrálás (96 db a források száma). Ezután 1 blokknyit (48 csatorna) került előbbre a terítés. Az offset nem volt kevesebb a középlövéses rendszer egyik ágán sem, mint 96 csatorna a forrásponttól számítva. Kivéve a vonalak elején és végén ahol fél terítéssel indult, illetve fejeződött be a mérés. Az MFGI 7339 db ponton végzett vibrátoros és 2326 db ponton robbantásos jelgerjesztést a teljes mérés 51 terepi napja során. A terepi mérés részét képezte a minőségellenőrző helyszíni feldolgozás, melynek alkalmazásával folyamatosan követhető volt a mérés előrehaladása továbbá előzetes adatokat szolgáltatott a projekt többi résztvevőjének.

2.2.2.2.3 A nagyfelbontású 2D P-hullám reflexiós adatok feldolgozása

A felszíni szeizmikus mérések során számos torzító tényező befolyásolja az észlelt reflexiós beérkezések amplitúdóját és fázisát. Ezek a tényezők lehetnek a forrás és a környezet által keltett zajok, a felszín közeli talajrétegek hatása, vagy a rugalmas hullámok terjedése során bekövetkező egyéb hatások. Az adatfeldolgozás során a fenti tényezőket kompenzáljuk úgy, hogy a feldolgozási folyamat végén olyan reflektált jeleket kapjunk vissza, amelyek a lehető legpontosabban képezik le a földtani szerkezeteket [173].

A P-hullám adatok feldolgozásakor alkalmazott főbb lépések az alábbiak voltak, részletes leírásuk a „Nagyfelbontású 2D P-hullám reflexiós mérések” jelentésben található meg [173]:

- terepi felvételek és geometria beadása
- refrakciós statikus korrekció számítása és alkalmazása a Hampson-Russel szoftvercsomag segítségével
- csatorna szerkesztések
- spektrum analízis alapján frekvenciaszűrés
- zajszűrés (Noise Adaptive Filter)
- hanghullám csillapítás
- felszíni zavarhullámok csillapítása
- automatikus erősítés szabályozás (AGC)
- felszínkonzisztens dekonvolúció (két időkapuban)
- frekvencia-szűrés
- első beérkezések eltávolítása (MUTE)
- sebesség analízis (1)
- maximális energia szerinti automatikus statikus korrekció
- sebesség analízis (2)
- normal-moveout korrekció (NMO)
- időben változó automatikus statikus korrekció (CDP Trim Statics)
- CDP szerinti összegzés
- F-X dekonvolúció
- frekvencia-szűrés
- csatorna kiegyenlítés
- Kirchhoff-féle pre-stack idő migráció
- F-X dekonvolúció
- frekvencia-szűrés
- csatorna kiegyenlítés

A fenti, ProMAX rendszerben történő adatfeldolgozási folyamat a feldolgozási lépések paramétereinek és sorrendjének tesztelésével alakult ki. A csak robbantással kivitelezett szelvények esetében a terepi szeizmogramokon egyszerű fázisfordítás (180°) került alkalmazásra a szeizmikus vibrátorral készült szelvények adataihoz való illesztés céljából. A

robbantásos terepi felvételeken a sávszűrés alsó határát kissé emelni kellett a vibrátoros felvételeken alkalmazotthoz képest és a dekonvolúciós operátor két kapuban történő becsülésének jóslási távolságait is kissé nagyobbra kellett venni. A Pa-20 és Pa-22 vegyes forrású (vibrátoros és robbantásos) szelvények esetében illesztő szűrőt (Match Filter) kellett alkalmazni a reflexiós fázisok és amplitúdó spektrumok közelítése érdekében, és ezzel sikerült eltávolítani az eltérő források használata által okozott szelvény menti jellegváltásokat.

Az eredményül kapott migrált szelvények – értelmezés nélkül – a jelentéshez csatolt mellékletként kerülnek közlésre (8 .melléklet). A felvételek első beérkezéseinek használatával nemcsak a refrakciós statikusok kerültek kiszámításra, hanem tomográfias inverzió alkalmazásával a szelvények menti sebességeloszlásról is átnézetes képet kaptunk, kb. 100 m-es mélységig. [173].

Az észlelt P-hullám adatok ismertített feldolgozási metodikájával olyan szeizmikus leképezések (reflexiós szeizmikus és tomográfias sebesség szelvények) készültek el, amelyek lehetővé tették a kitűzött kutatási cél megvalósítását, azaz a részletező szerkezetföldtani értelmezést a mért 2D vonalak mentén, melyek az összefoglaló jelentés 3. fejezetében kerülnek ismertetésre. Az eredményül kapott reflexiós szelvények nemcsak a pannoniai korú üledékeket érintő oldaleltolódások, vetőzónák és más szerkezeti elemek részletes vizsgálatát, hanem a sekélyebb, felszínközeli mélységtartomány szerkezeti elemzését is támogatják. A tomográfias inverzió eredményei a felszínközeli 100 m-es tartományról adnak független információt.

2.2.2.3 Nagy felbontású mágneses és magnetotellurikus kutatás

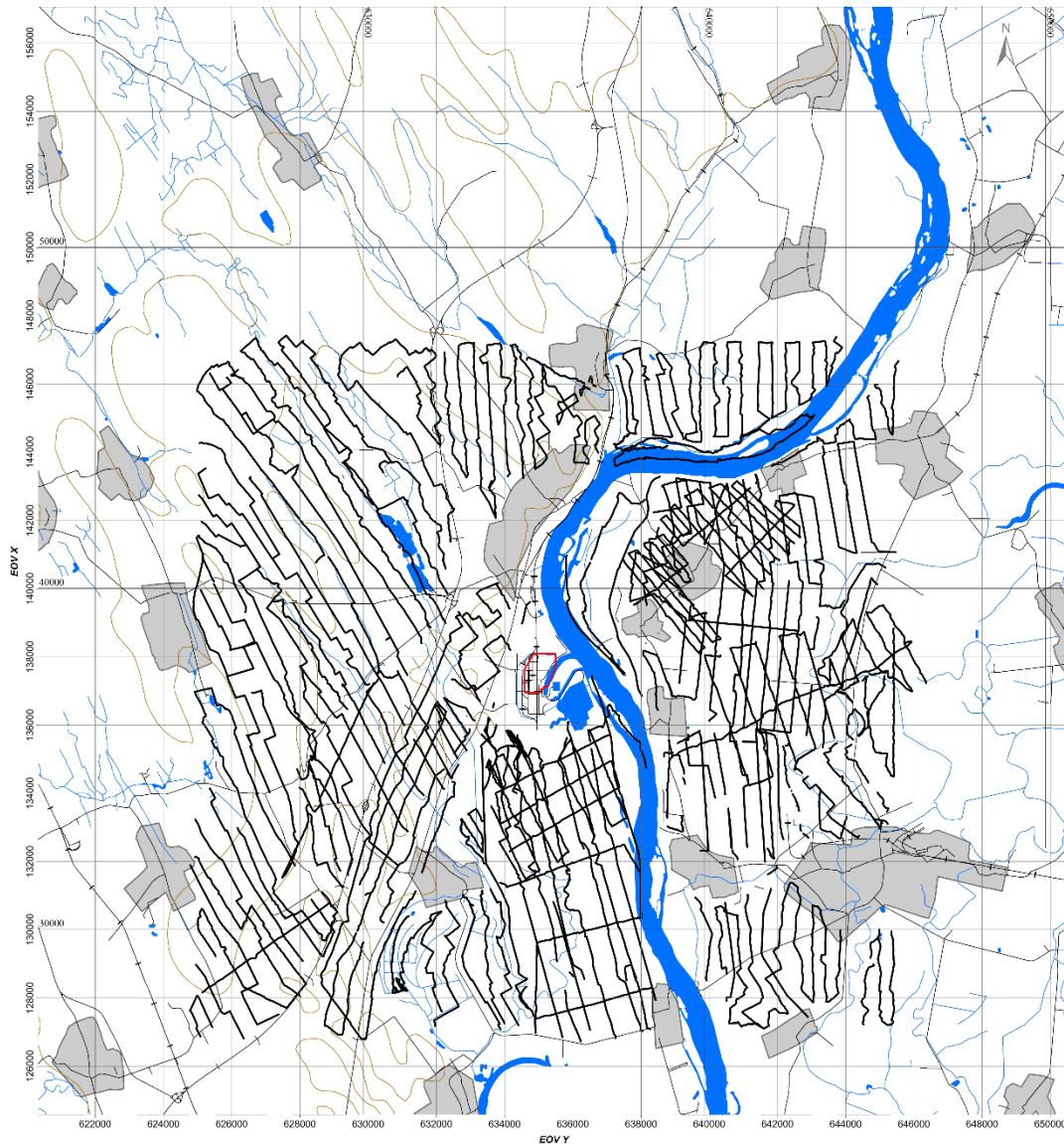
A FKP 5.2.7. pontjában előírt nagyfelbontású mágneses mérést, valamint az ehhez kapcsolódó magnetotellurikus szondázásokat a Geomega Kft. a Mecsekérc Zrt.-vel kötött szerződés szerint a Magyar Tudományos Akadémia Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Intézetével (GGI), mint a magnetotellurikus mérésekre bevont alvállalkozóval együtt végezte el. A mérések a paksi atomerőmű területén tervezett új atomerőművi blokk(ok) FKP [311] keretében kerültek kivitelezésre. Az elvégzendő kutatási feladat a vizsgálati területnek – a tervezett telephely körüli 10 km-es sugarú kör érintői által meghatározott 20 km oldalhosszúságú négyzet területén – szelvények menti mágneses felmérése volt legfeljebb 1000 vonal-kilométer hosszban, továbbá két szelvény mentén összesen 24 ponton magnetotellurikus mélyszondázás. A mágneses mérések célja a felszín közelébe hatoló feltételezhető tektonikus szerkezetek helyzetének pontosítása, míg a magnetotellurikus mérés esetén a sekélyebb geofizikai módszerekkel megkutatott vetőzóna mélységbeli kiterjesztése volt.

2.2.2.3.1 Terepi mérések

A **mágneses mérések** kivitelezése 2015. július 11. és 23. valamint október 20. és november 14. között került sor. A nyomvonalak a villanyvezetékektől, az antropogén hatóktól (pl. gyártelepek, vasbeton áthidalások) minél távolabb lettek kijelölve kvázi észak-dél irányban mind vektoros út- és vezetékhalózat adatok, mind rászteres műhold felvételek alapján. Júliusban a mezőgazdasági termelési időszak közepén meglehetősen nagy területek haszonnövényzettel voltak borítva (kukorica, napraforgó, búza, repce stb.), melyeken a mérést sok esetben kivitelezhetetlennek kellett nyilvánítani. Ezen területek felmérésére a Megrendelővel egyeztetett módon, ősszel, a betakarítás után került sor. A két ütemben lemért vonalegységek hossza összesen 1039,6 km (33. ábra).

A mágneses mérés során egy szondát mozgattak (emberi erővel) egy előre meghatározott mérési háló/vonal mentén 1 másodperc mintavételi időközzel. Két darab GSM-19 típusú Overhauser magnetometer (gyártó: GEM-Systems Inc., Canada. www.gemsys.ca) szolgált roverként (mozgó műszer), egyet pedig bázisműszerként alkalmaztak. A két rover műszer saját GPS vevővel rendelkezik, de a bázisműszerhez nincs antenna kapcsolat. Így a rover műszer méréseihez GPS idő kapcsolódik, míg a bázis műszerben alapvetően egy saját belső idő van. Ugyanakkor későbbi báziskorrekció elvégzéséhez elengedhetetlen volt, hogy a bázis és rover műszerek egyeztetett időszinkron szerint működjenek. Ennek érdekében minden egybefüggő mérési etap megkezdésekor szinkronkábél segítségével szinkronizálták a rover és a bázis műszert.

A mérés során folyamatosan figyelemmel követték a naptevékenység által létrehozott időbeli mágneses variációk jellemzésére szolgáló K-indexet. A mágneses mérést akkor könyvelték el ionoszférikus szempontból sikeresnek, ha az adott nap mérési időszakában a Tihanyi Obszervatórium által mért és közzétett helyi K index (<http://91.226.79.148/>) nem lépte túl az aktív, enyhén viharos napot jelentő 5-ös értéket (a K index által felvehető értékek 0-9 közöttiek). A nyári időszakra vonatkozó legmagasabb K érték 4 volt, azaz mágneses vihar miatt nem vált szükségessé mérés ismétlés. Az őszi mérések során a legmagasabb K érték 5 volt, amely a geofizikai mérések kiviteli tervében foglaltak szerint még megengedett érték, de az így jellemzett intervallumok mérését megismételték, így a végső adatbázisban nem szerepel olyan mérési adat, mely akár csak gyenge mágneses viharral jellemzett időszakban mérődött volna. Az egyes mérési napok adatai megtalálhatóak a mágneses zárójelentésben [76].



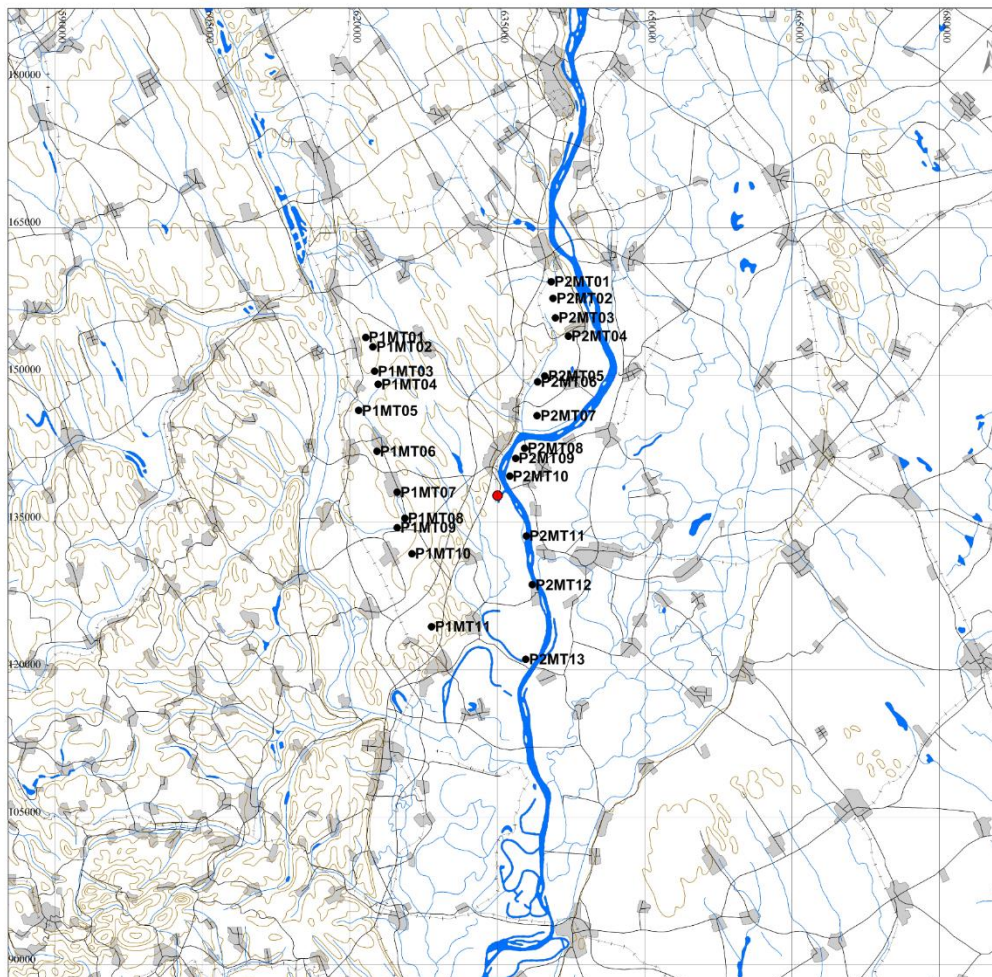
33. ábra Mágneses felmérés nyomvonala

A tervezett telephelyet a piros poligon jelöli. Az alaptérkép szolgáltatója: © HM Zrínyi Nonprofit Kft. 2015.

A kétfős mérőcsoportok egyik, nem mérő tagja felelt a terepi megfigyelések pontos és részletes jegyzőkönyvezéséért, melyek digitális formában is rögzítésre kerültek. Tüzetes vizsgálatokkal a későbbi feldolgozás során törölhetőek voltak a hibás, kiugró adatpontok, melyeket elhaladó autók, mezőgazdasági járművek, villanyvezetékek, hidak, stb. okoztak. Ugyancsak megtalálható a jegyzőkönyvekben azon mérési szakaszok jegyzéke, melyek bizonytalanabb értékeket szolgáltattak. A mérési napok végén a bázisműszer által rögzített adatokat a napi mérési jegyzőkönyvvel összevetve azonosították és korrigálták, eltávolították azokat a kiugró értékeket, melyek antropogén hatásra (pl. elhaladó traktor) voltak visszavezethetőek.

A magnetotellurikus mérések 2015. szeptember 27. és október 25. között zajlottak. A kutatott területen két szelvény mentén egyenként 11 illetve 13 ponton történt magnetotellurikus mélyszondázás (34. ábra). A szelvények a geológiai viszonyoknak megfelelően ÉÉK-DDNY, illetve ÉÉNY-DDK irányban lettek kijelölve. A magnetotellurikus állomások a szelvény mentén kb. 40-50 km hosszan átlagosan 2-3 km-es állomástávolsággal

helyezkedtek el. Az állomások helyei a domborzati viszonyok és az elektromágneses tér szempontjából a leginkább zavarmentes területek figyelembevételével kerültek kiválasztásra. Az állomások kiválasztása a mezőgazdasági területek nagy lefedettsége miatt nagyon nehéz volt, a kijelölés ennek megfelelően a lehető legoptimálisabban zajlott.



34. ábra Magnetotellurikus mélyszondázási pontok

Az ábra közepén lévő piros pont a tervezett telephelyet jelöli. Az alaptérkép szolgáltatója: © HM Zrínyi Nonprofit Kft. 2015.

A magnetotellurikus mérés mágneses É-D és K-Ny tájolással, jellemzően 45-50 m-es elektródátávolság mellett került kivitelezésre. A mérés vezérlését a LEMI-417 hosszúperiódusú mérőállomás végezte. Az elektromos komponenseket Cu-CuSO₄ nem-polarizálódó elektródákkal, a mágneses komponenseket fluxgate magnetométer segítségével mérték. A 4 Hz-en mintavételezett jelek – átlagosan három nap állomásonkénti regisztrálás mellett – 25 sec és 10000 sec közötti periódustartomány érzékelését tették biztonságosan lehetővé. Az egyes mérési állomások részletes helyszínrajza [76] jelentésének mellékleteiben található.

2.2.2.3.2 *A mérések feldolgozása*

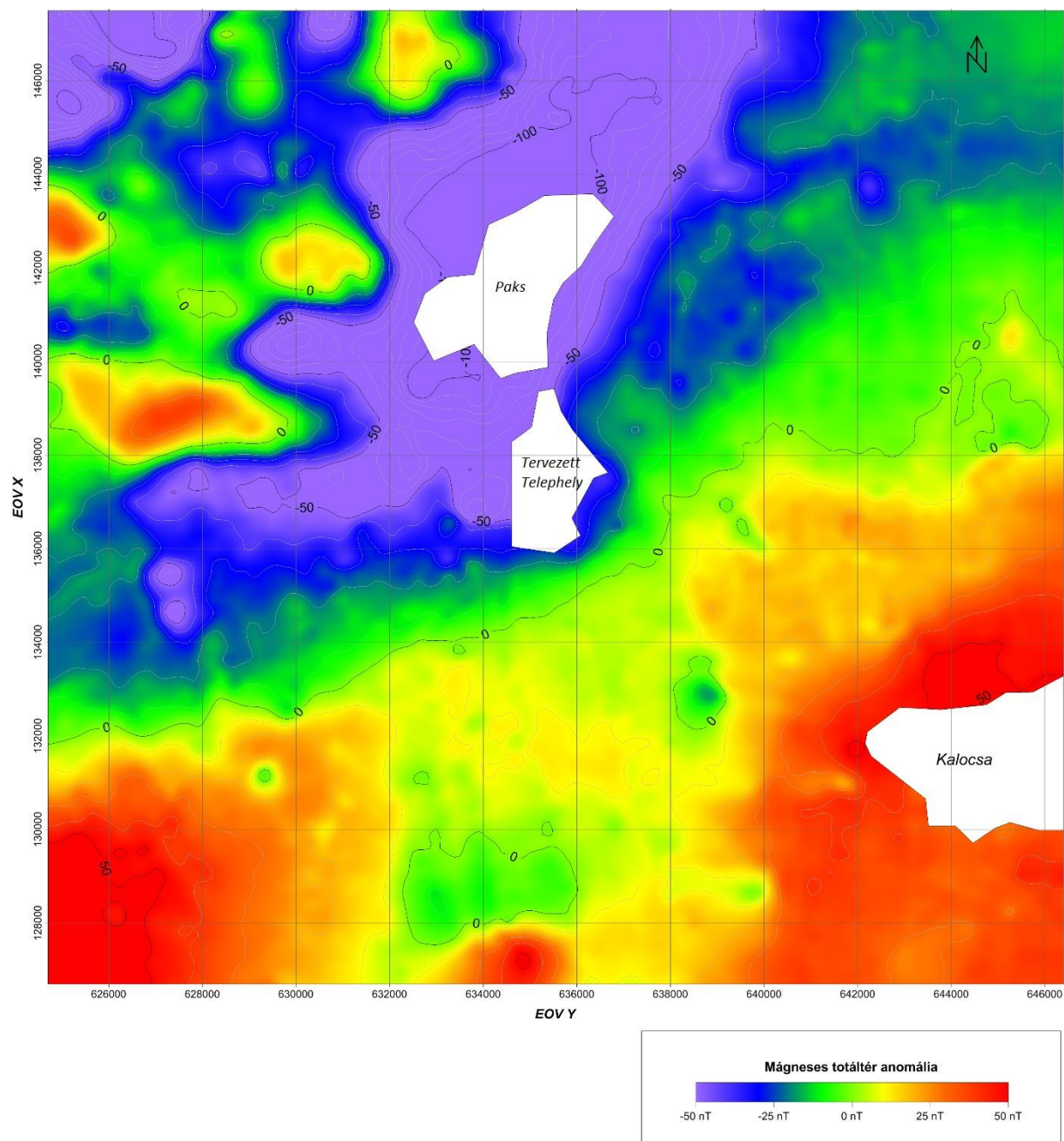
A mágneses mérés adatainak feldolgozása a következő szoftverekkel történt: GEMLink, Microsoft Excel, Golden Software Surfer 12, ERMapper. Az előkészített adatok az alább felsorolt feldolgozási lépéseken mentek keresztül (a feldolgozás részleteiért lásd) [76]:

- báziskorrekción
- bázisok kiegyenlítése
- szélességi korrekción
- IGRF modellre referálás
- pólusra redukálás

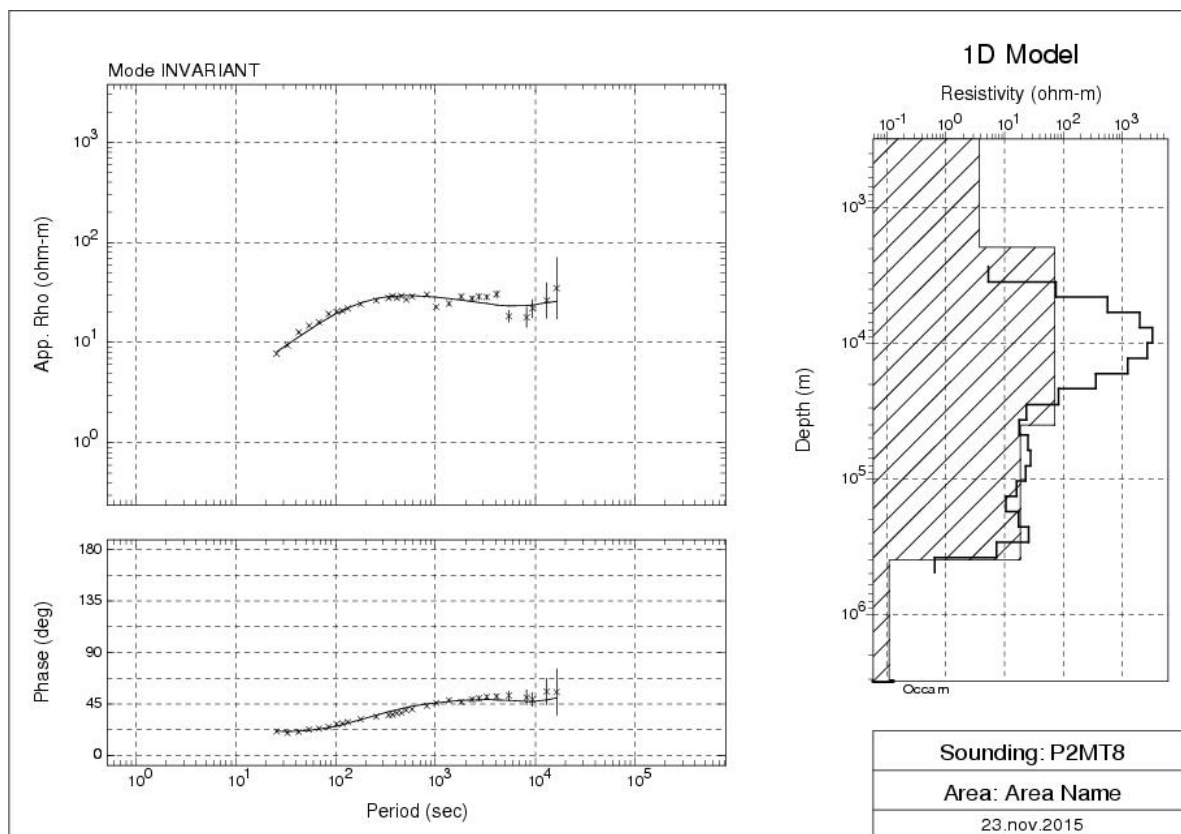
A feldolgozási lépések végeredményeképpen előállt adatrendszerből egységes gridhálóba interpolált mágneses anomália térképeket szerkesztettek. A pólusra redukálás a jelentős – jelenlegi mágneses tér irányától eltérő irányú – remanens mágnesezettséggel jellemzett hatók esetében félrevezethető lehet, így az értelmezéshez a pólusra redukálást megelőző mágneses anomália térkép került felhasználásra (35. ábra). Az értelmezés menetét és a származtatott földtani eredményeket [76] jelentése részletezi, valamint integrált módon a kutatási zárójelentés „A kutatási eredmények értékelése” című fejezete tartalmazza.

A **magnetotellurikus mérés** adatok feldolgozásához a WinGLink (Geosystem) programrendszer, a GGI sajátfejlesztésű programjai és egyéb információs paraméterek (invariánsok, dimenziót leíró paraméterek) számításához alkalmas kódok kerültek alkalmazásra.

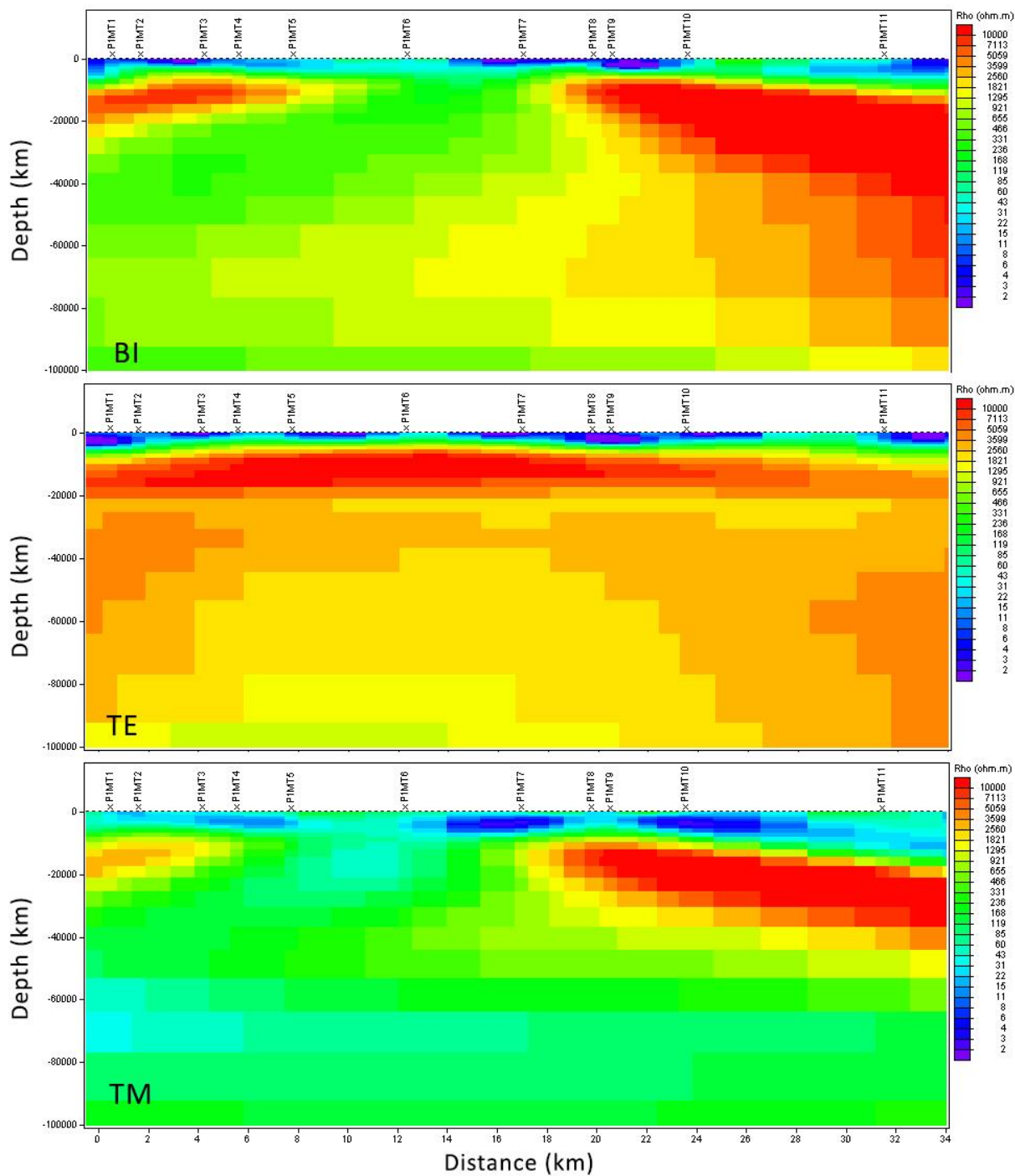
A mért adatok 1D és 2D inverzióknak lettek alávetve, továbbá interpretációs paraméterek számítása is megtörtént. Mindkét esetben háromféle inverziós módus (INV-Invariáns, TE-Transzverzális elektromos, TM-Transzverzális mágneses) került alkalmazásra. A pontonkénti 1D inverziós eredményeket [76] jelentésének 3. számú melléklete tartalmazza, jelen dokumentumban csak egy példa kerül bemutatásra (36. ábra), míg a 2D inverzió eredményei az 37. ábra és 38. ábra láthatóak.



35. ábra Mágneses totáltér anomália

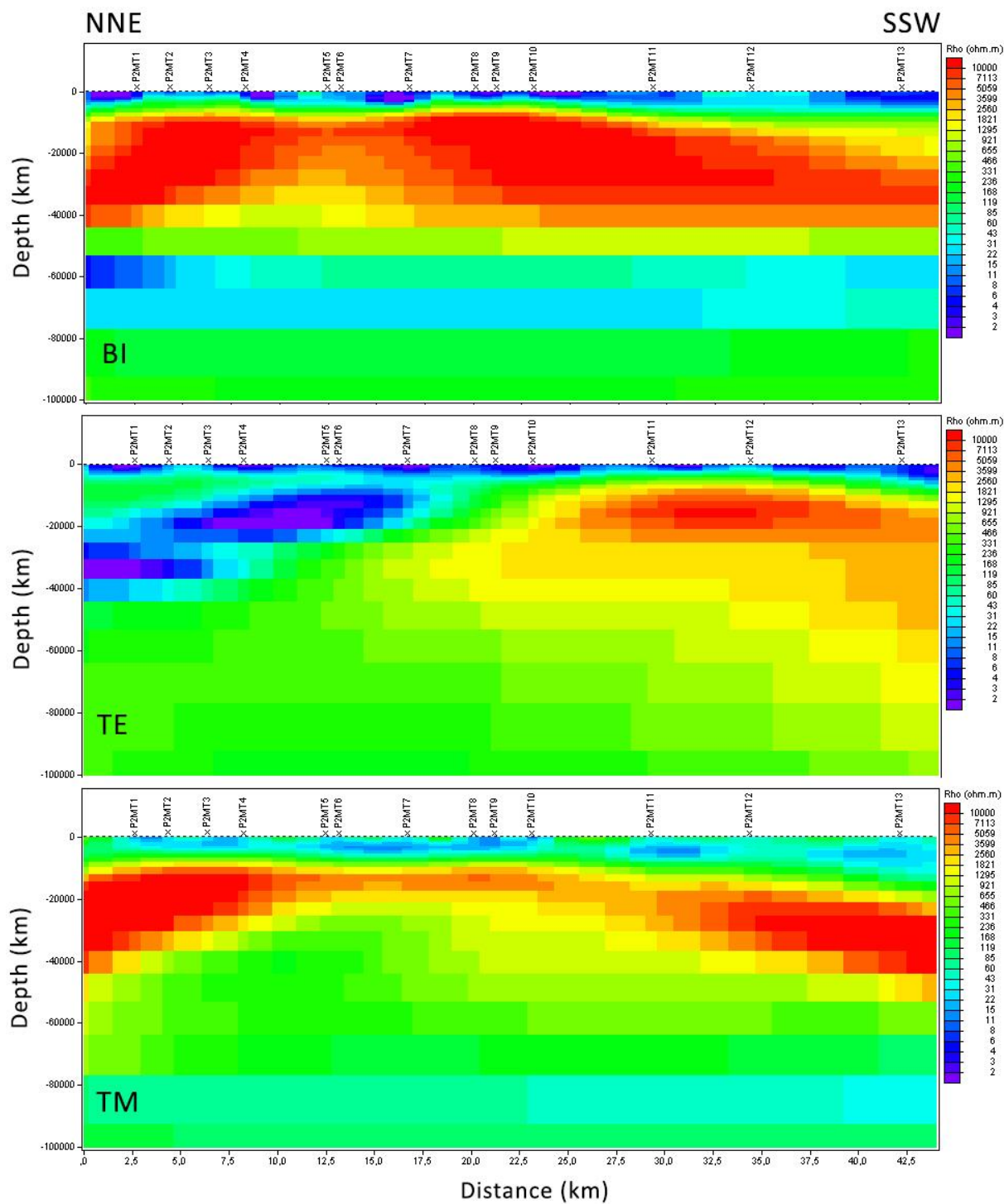


36. ábra A P2MT8 mélyszondázási pont Invariáns módus 1D inverziós eredménye



37. ábra 2D inverziós feldolgozás eredménye a P1 szelvény mentén

BI-bimodal, TE-transzverzális elektromos, TM- transzverzális mágneses



38. ábra 2D inverziós feldolgozás eredménye a P2 szelvény mentén
BI-bimodal, TE-transzverzális elektromos, TM- transzverzális mágneses

2.2.2.4 Crosshole mérések

2.2.2.4.1 Bevezetés

Az MFGI a Geo-Log Kft-vel közösen Crosshole méréseket végzett, az FKP 5.2.6. pontja és az előzetesen elkészített kiviteli terv előírásait követve [311] [358]. A méréseket a CH-1/a és b, illetve MS-2-35 (tervezett 5. blokk környezete) és a CH-2/a és b (tervezett 6. blokk környezete) lyukpárok között valósították meg (22. táblázat) (13. melléklet). A vizsgálatok célja a potenciális földrendések helyi hatásainak modellezéséhez szükséges P- és S-hullám sebesség-profilok meghatározása volt.

22. táblázat A CH jelű és az MS-2-35-ös fúrások koordinátái

Fúrás neve	EOV-Y [m]	EOV-X [m]	Magasság [mBf]
CH-1a	635109,4	137380,7	97,03
CH-1b	635113,9	137364	97,12
CH-2a	635126,2	137646,1	97,33
CH-2b	635110,9	137647	97,23
MS-2-35	635103,05	137378,41	96,9

2.2.2.4.2 Mérési eszközök

A méréseket a következő, a Geotomographie GmbH (Németország, geotomographie.de) által gyártott lyukgeofizikai eszközökkel végezték:

- BIS-SH S-hullámforrás
- SBS-42 P-hullámforrás (sparker)
- BGK-5 és -7 érzékelő szondák (1 vertikális és 4, illetve 6 horizontális 10 Hz-es geofon)
- BHC4 24 csatornás hidrofon-sor
- 7 elemű MBAS digitális, elemenként 3 komponenses szonda

A teljes mérés során 24 csatornás DAQLink III szeizmikus adatgyűjtőt használtak.

2.2.2.4.3 A mérés menete

A forrás és az érzékelő geofon a teljes mérés során mindig azonos mélységben helyezkedett el a vizsgált 150 m mély lyukpárban, ahol 1 m-es lépésközönként történt a kutak közti sebesség-meghatározás. A 0-130 m-es mélységtartományban a jelgerjesztés BIS-SH S forrással történt, minden mélységpontban 4-es, illetve 6-os összegzéssel. Egy mélységpontban az S-forrással két gerjesztési sorozatot végeztek: az első sorozathoz képest a második sorozatban a forrás elforgatásra került 180°-kal – a jelforráshoz csatlakozó merev, csavarodásmentes kábel segítségével. 130 m-es mélység alatt P-hullámforrást és hidrofonsort használtak a méréshez, mivel mind a BGK érzékelők, mind a BIS-SH forrás maximálisan csak eddig a mélységig voltak alkalmazhatók.

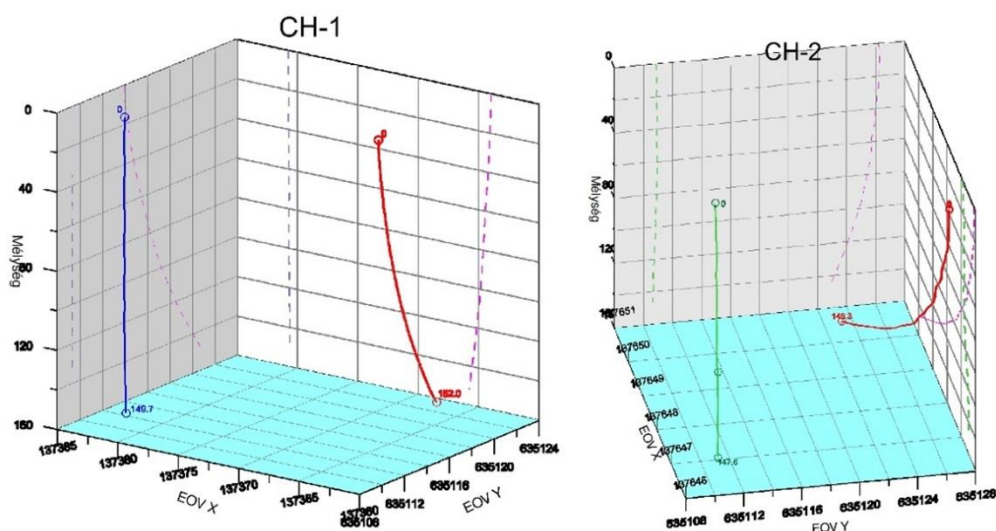
A méréseket megelőző tesztre 2015. december 17-én került sor. A Geotomographie GmbH-től bérelt BIS-SH S-hullámforrás és a BGK-5 érzékelő szondák próbamérései a CH-1-es lyukpár (22. táblázat) felső 50 m-es szakaszán történtek. Eredetileg – a kiviteli terv szerint [358] – az MFGI saját építésű S-forrását, gyenge jelek esetén Bolt gyártmányú airgunt és a Geo Log Kft. által biztosított GeoVista Borehole Geophone Sonde háromkomponenses

analóg geofonsonda használatát tervezték azonban ezen eszközök tartós meghibásodása miatt a fenti – modernebb, magasabb műszaki tartalmú – források és érzékelők alkalmazása vált szükségessé. A sikeres tesztmérést követően a CH-1-es kútpár fennmaradó mélyebb (50–150 m közötti) szakaszának mérése és a CH-2 kútpár (22. táblázat) lemérése 2016. január 12-15. között történt meg.

A mérési adatok kiértékelése során egyértelművé vált, hogy a CH-1-es lyukpárban az 50–100 m közötti szakaszon az S-hullám sebesség meghatározása a mérés kivitelezőin kívül álló okok miatt nem sikerült. A CH-1a és CH-1b fúrásokban végzett ellenőrző downhole mérések igazolták, hogy a probléma oka a béléscső–cement–kőzet közötti kapcsolatban keresendő. A hiányzó adatok pótlására a CH-1a és a tőle kb. 7 m-re keletre található MS-2-35-ös lyukpár között a problémás szakaszon 2016. március 8-9-én megismételték a mérést, a Beruházó jóváhagyásával [172].

A 2016. márciusi ismételt mérés során a BIS-SH forrást a CH-1a jelű, míg a 7 elemű MBAS érzékelőt a MS-2-35 jelű fúrásban helyezték el. Az érzékelőt úgy mozgatták, hogy a legfelső szenzor egy mélységben legyen a forrással, majd a szenzor maximális mélységének elérése után csak a forrást engedték le addig a mélységig – 103 m-ig –, amíg a felvételeken felismerhető beérkezéseket láttak [172].

A Crosshole méréseken túl a Geo-Log Kft. komplex geofizikai méréseket végzett mindkét fúrólyukpár egy-egy tagjában (CH-1b és CH-2a fúrások) [172], melynek segítségével meghatározható volt a fúrások pontos geometriája (39. ábra).

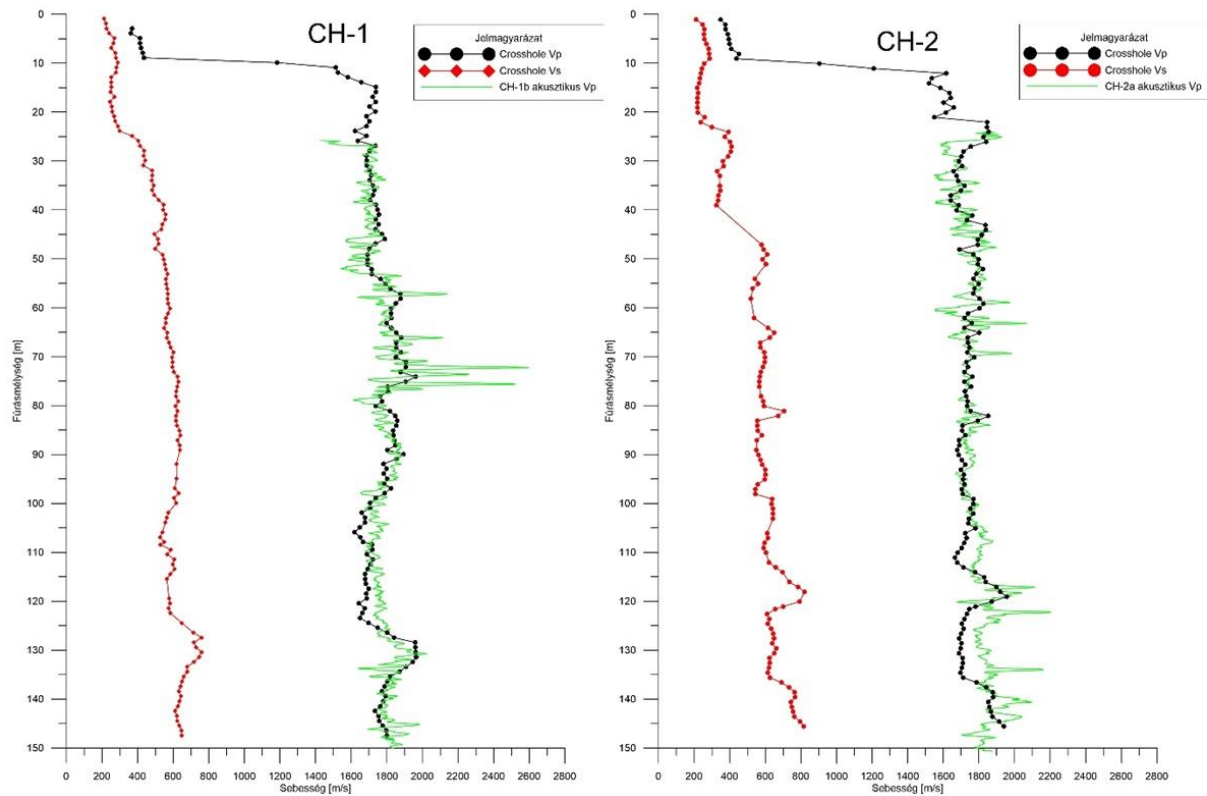


39. ábra A CH-1 és a CH-2 fúrások térbeli helyzete (~0,1-szeres magassági torzítás)

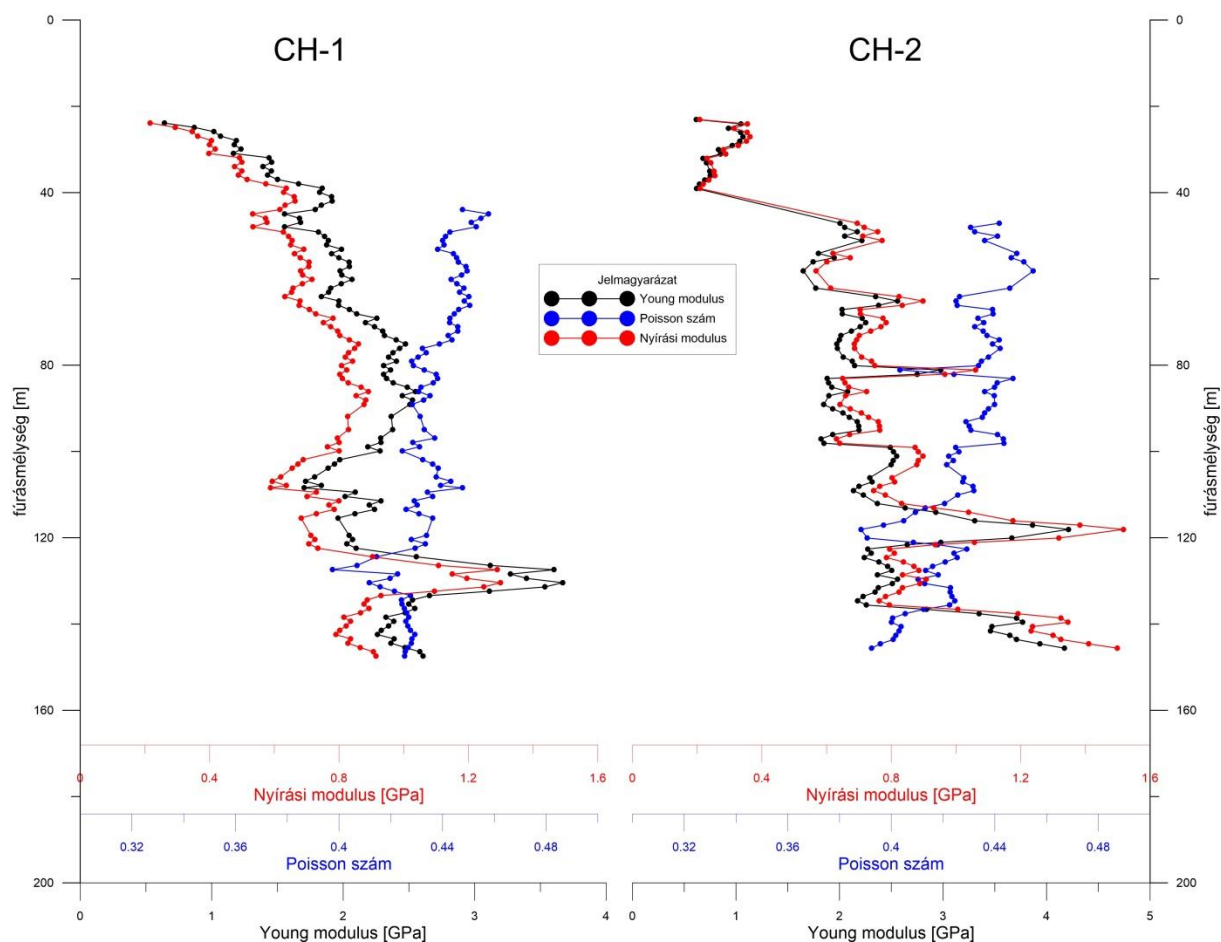
2.2.2.4.4 Adatfeldolgozás

Az egyes mélységpontokban az ellentétes gerjesztési irányval készült összegzett felvételeket – 4, illetve 6 különböző horizontális komponensen – mélység szerint rendezték. A két ellentétes gerjesztési irányú felvétel összegzésével a P-hullámok beérkezései kiemelhetők és a longitudinális hullámterjedési sebességek meghatározhatók. Az S-hullám beérkezések jelei a két különböző irányú gerjesztést egymásból kivonva emelhetők ki. Az első beérkezések bejelölését követően meghatározásra került a transzverzális hullámok terjedési sebessége is. Zajos csatornák esetén a szeizmikus vagy a szeizmológiai adatok értékelésénél korábban már

sikeres idő-frekvencia transzformációkat – Gabor transzformáció [300] és a wavelet transzformáció [296] – alkalmazták a beérkezési idők kijelöléséhez. A 130 m-nél mélyebb szakaszon a P-hullám sebességekből lineáris interpolációval határozták meg a transzverzális hullámterjedési sebességeket. Az így meghatározott P-, illetve S-hullám és az akusztikus P-hullám sebességek a 40. ábra láthatók. Mivel a CH jelű fúrásokban sűrűségmérés is történt, ezért lehetőség nyílt a dinamikus közetfizikai paraméterek – Young modulus, nyírási modulus és Poisson-szám – meghatározására is (41. ábra) [172].



40. ábra A CH-1 és a CH-2-es fúrásokban crosshole mérésel meghatározott P- és S-hullám sebességek és az akusztikus P-hullám sebességek



41. ábra A crosshole méréssel a CH-1 és a CH-2-es fúrásokban

A crosshole méréssel meghatározott P-, S-hullám sebességek, illetve a lyukgeofizikai sűrűség alapján számított közetfizikai paraméterek a CH-1 és a CH-2-es fúrásokban.

2.2.2.5 Nagyfelbontású 2D szárazföldi geoelektromos szelvényezés

2.2.2.5.1 Bevezetés

A tervezett telephelyen létesítendő új atomerőművi blokkok FKP [311] előírja az erőmű környezetében nagyfelbontású 2D szárazföldi geoelektromos szelvényezés kivitelezését.

2015. október 7. és november 12. között a Geomega Kft. a Mecsekérc Zrt. megbízásából 2D nagyfelbontású szárazföldi geoelektromos kutatást végzett a tervezett telephely környezetében. Az elvégzendő kutatási feladat a vizsgálati terület – a Duna bal partján Dunaszantbenedek, Géderlak és Ordas környéke, valamint a 3D vízi szeizmikus módszerrel kutatott Duna-szakaszok mellett a part közelében – szelvények menti 2D geoelektromos felmérése legfeljebb 11 vonal-kilométer hosszban. A mérés célja a 2D és 3D szeizmika alapján feltételezhető, felszín közelébe hatoló tektonikus szerkezetek helyzetének pontosítása, továbbá a 3D vízi szeizmikus módszerrel a vízben kimutatott szerkezetek és paleomedrek szárazföldi folytatásának vizsgálata.

A 2015. év során lemért szelvények kiegészítéseként 2016. május 3. és május 9. között a Geomega Kft. a Mecsekérc Zrt. megbízásából újabb 2D nagyfelbontású szárazföldi geoelektromos kutatást végzett. Az elvégzendő kutatási feladat során a vizsgálati területen – a

Duna jobb partján Dunaszentgyörgy környékén – szelvények menti 2D geoelektromos felmérés történt 2,5 vonal-kilométer össz-hosszban. A területen általánosan jellemző északnyugat-délkelet irányú morfológiai formákat két dél nyugat-északkelet irányú vonal harántolja. A mérések célja, hogy megvizsgálja közrejátszik-e tektonikai eredetű ok (vető) az eltérő morfológia illetve ezen vonalaknak megjelenésében. Az újonnan mért szelvények mellett Szántó Éva 2008-ban készült TDK dolgozatának [319] mérési eredményei is felhasználásra kerültek.

2.2.2.5.2 Terepi mérések

A terepi mérések kivitelezésére két fázisban 2015. október 7.-november 12. (1. fázis), illetve 2016. május 3. és május 9. (2. fázis) között került sor.

Az 1. fázis terepi mérésének megkezdése előtt az elvi nyomvonalak kijelölése elsődlegesen a [139] jelentés 2. ábráján feltüntetett fekete színű poligonok által határolt területekre korlátozódott. Ugyanakkor a mérés folyamán az előzetes eredményeket is figyelembe véve a megvalósult szelvények nyomvonala a [139] jelentés I. melléklet-én ábrázoltak szerint alakult.

A 2. fázis során a [75] jelentés 2. ábráján sárga szaggatott vonallal két, az általános morfológiától eltérő határvonal látható, melyek megkutatása volt a felmérés célja. A délkeletre futó vonal mentén már 2008-ban mérődött két geoelektromos multielektrodás szelvény. Az új mérési vonalak előzetes terepbejárás és egyeztetés után lettek kijelölve. A megvalósult mérési nyomvonalakat a [75] jelentés I. melléklete szemlélteti.

A szelvények megvalósult nyomvonalának kijelölése során, a megszerzendő földtani információ túl figyelembe vették az esetlegesen a mérés során keletkező mezőgazdasági károk elkerülését/minimalizálását, valamint a méréshez használt eszközök biztonságos telepítéséhez, használatához szükséges körülményeket.

A 2D nagyfelbontású geoelektromos mérés során fém elektródák kerültek a talajba a kijelölt szelvények mentén néhány cm mélységig. A talajból kiálló részekre kerültek rögzítésre az ARES-G rendszer kábeleiben található intelligens elektródák. A mérés során vonal mentén haladtak, adott esetben a kábelek továbbrakásával egészen a kijelölt profil végéig. A felmért profil elektródáinak pozíciói és magasságai RTK GPS alkalmazásával, megfelelő pontsűrűséggel kerültek rögzítésre. A mérés ronszolásmentes, leszámítva a fém elektródák talajba történő minimális behatolását. Az effektív mérési tevékenységet egy négy főből álló csoport végezte. Az eszközök mozgatása és telepítése gyalogosan, illetve, amennyiben a terepi viszonyok engedték, akkor gépjármű segítségével történt.

A geoelektromos módszer sikeres alkalmazásához elengedhetetlen az elektródák természetes talajjal való jó érintkezése, ezen körülmény meglétére a mérés folyamán folyamatosan ügyeltek:

elektróda távolság:	4 m
min AB (áramelektroda) távolság :	12 m
max AB (áramelektroda) távolság:	348 m
mérési elrendezés:	Wenner-Schlumberger
áramimpulzus hossz:	0,5 s

2.2.2.5.3 A mérések minőségellenőrzése

A geoelektromos módszerrel mért jó minőségű adatrendszerek egyik legfontosabb feltétele a terepi eszközök megfelelő telepítése, különös figyelmet kíván a mérésben résztvevő egyes elektródák és a talaj közötti minél jobb kontaktus kialakítása [139] [75] A mérés során kiemelt hangsúlyt fektettek az egyes elektródák kontakthiba mentes telepítésére, amelyet minden mérési ablak megkezdése előtt műszeresen is ellenőriztek az aktív terítésben.

A mért adatok pontosságának további növelése érdekében a műszer minden egyes mérési pontot négy alkalommal mért meg (négyes összeg), az így kapott négy érték egymáshoz képesti tűréshatára 10 % volt.

Az adott mérési nap végén a mért adatrendszer egy előzetes ellenőrzésen ment keresztül, ahol a hibásnak vélt adatpontok eltávolításra kerültek. A rendszeres napi adatellenőrzés (QC) elősegítette a későbbi szelvények/szelvényszakaszok várható zajsztípjének megállapítását.

2.2.2.5.4 Mérési adatok feldolgozása

A mérések kiértékeléséhez a RES2DINV (<http://www.geotomosoft.com/products.php>) számítógépes programcsomag került felhasználásra. A terepi minőségellenőrzött szelvények a végleges feldolgozás előtt további szűréseken mentek át. Eltávolításra kerültek a mért értékek szempontjából nem kiugró, ugyanakkor geometriailag a szelvény képébe nem illeszkedő pontok, pontthalmazok. A területen a mérési síkot a felszínre vetítették, a domborzati korrekciót az RTK GPS által felmért pontok magasság adatai alapján alkalmazták. Az inverzió a legkisebb négyzetes eltérés alapján történő optimalizációval került elvégzésre. A szelvények inverziós számítása során minden esetben többszörös iterációs eljárás került alkalmazásra. A túl sok iteráció instabil hatása miatt az iterációk optimális száma úgy került kiválasztásra, hogy a végeredmény geológiailag valószerű legyen és legjobban illeszkedjen a környező geológiai/geofizikai adatok alapján felállított előzetes geológiai képbe. Az inverziós paraméterek beállításánál figyelembe vételre került a nyers mérési adatok alapján meghatározott anizotrópia érték, amely optimalizálta az inverziós megoldás sikerességét és így a valóság minél pontosabb leképezését. Az egyes szelvények végső inverziós eredményei a Surfer (<http://www.goldensoftware.com/products/surfer>) nevű programcsomag segítségével kerültek megjelenítésre, ahol az abszolút magasság (mBf) és szelvénymenti távolság (m) függvényében jelenik meg a fajlagos ellenállás kép. A szelvények színezése a horizontális és vertikális fajlagos ellenállás változásnak megfelelően került optimalizálásra.

2.2.2.5.5 A lemért vonalak

2015. november 12-ével befejeződött 2D nagyfelbontású geoelektromos felmérés (1. fázis) lemért vonalainak együttes hossza 11 040 m. A egyes szelvények nevét és hosszát az 23. táblázat tartalmazza.

23. táblázat A 2D nagyfelbontású geoelektromos felmérés (1. fázis) szelvényeinek neve és hossza

Szelvény Neve	Szelvény Hossza (m)
Paks-MUEL-5	1 052
Paks-MUEL-6	2 012
Paks-MUEL-4	1 244

Szelvény Neve	Szelvény Hossza (m)
Paks-MUEL-7	340
Paks-MUEL-8	348
Paks-MUEL-3	1 980
Paks-MUEL-2	1 852
Paks-MUEL-9	336
Paks-MUEL-10	764
Paks-MUEL-11	764
Paks-MUEL-12	348

2016. május 9-ével befejeződött a kiegészítő 2D nagyfelbontású geoelektromos felmérés (2. fázis) lemért vonalainak együttes hossza 2 532 m. A egyes szelvények nevét és hosszát a 24. táblázat tartalmazza.

24. táblázat A kiegészítő 2D nagyfelbontású geoelektromos felmérés (2. fázis) szelvényeinek neve és hossza

Szelvény Neve	Szelvény Hossza (m)
Dgy-03	508
Dgy-04	508
Dgy-05	500
Dgy-06	508
Dgy-07	508

A nagyfelbontású 2D geoelektromos szelvényezés két fázisa során összesen 13 572 m szelvénykerült felmérésre. Az egyes szelvények feldolgozás utáni eredményeit a 9.melléklet tartalmazza.

2.2.2.6 Pszeudo-3D vízi mérések

A tervezett telephely környezete tektonikai stabilitásának és földrengés veszélyeztetettségének megítélése szempontjából kritikus fontosságú annak eldöntése, hogy a korábbi kutatások során megismert, pannóniai (s.l.) üledékeket elmetsző vetőrendszerek a legfiatalabb negyedidőszaki üledékekbe is behatolnak-e. Mivel a területen a kvarter üledékek vastagsága tipikusan néhányszor 10 m, és mivel a szárazföldi szeizmikus módszerek jellegükből adódóan a legkritikusabb, felszín közeli tértartományokat korlátozottan tudják leképezni, ezért ezekkel a módszerekkel a vetők fiatal üledékekkel való kapcsolata sok esetben tisztázatlan marad.

A tervezett telephelyen létesítendő új atomerőművi blokkok Földtani Kutatási Programjában (FKP, SOM(R)475/3 Rev.4., Feladat kód: 3.3.5. [311]) előírt ultranagy felbontású, egycsatornás vízi szeizmikus mérési módszer pont az ilyen mélységtartományok leképezésére lett kifejlesztve. A módszer a nagyfrekvenciás jelgerjesztésnek, valamint a vízben és a vízzel telített rétegekben történő akusztikus jelterjedés előnyös tulajdonságainak köszönhetően 10 15 cm-es felbontást tesz lehetővé. A módszer jellegéből adódóan ugyan 2D leképezést nyújt, azonban kellően sűrű mérési hálózatban végezve kvázi 3D-s leképezés érhető el. A 3D-szerű leképezés és az ultranagy felbontás miatt egyedülálló lehetőség adódik a Duna alatt húzódó kvarter üledékek belső struktúrájának, valamint az azt esetlegesen elmetsző vetőrendszerek geometriájának és aktivitási mechanizmusának részletes tanulmányozására.

Az előzetes geológiai-tektonikai ismeretek alapján öt, a pannóniai (s.l.) rétegsor tekintetében vetőkkel bizonyítottan érintett terület lett kijelölve nagyfelbontású pszeudo-3D vízi szeizmikus mérések elvégzésére. A mérések célja a legfiatalabb üledékek tektonizáltságának megismerése, a Duna alatt húzódó vetőrendszerek geometriai és minőségi jellemzése.

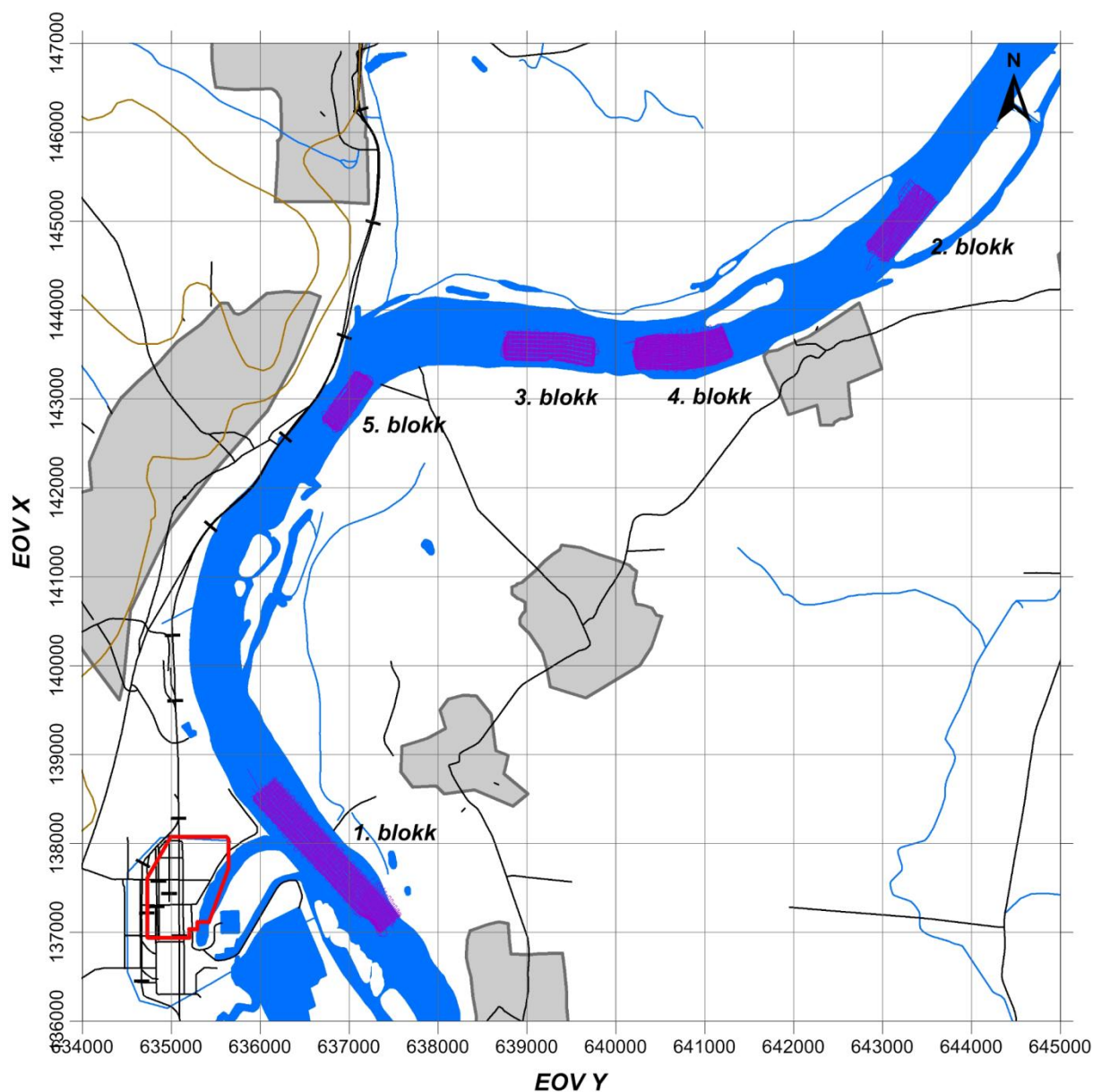
A pszeudo-3D vízi szeizmikus méréseket a Geomega Kft és a Mecsekérc Zrt. közötti szerződés alapján a Geomega Kft végezte el 2015. őszén.

2.2.2.6.1 Terepi tevékenység

A mérési blokkokat és az egyes mérési blokkokon belül lemért nyomvonalakat az alábbi ábrán (42. ábra) látható térképvázlat mutatja. A terepi kivitelezés megkezdése előtt pontos elvi mérési hálózatot készült, amelyet a mérés során RTK GPS segítségével, valós idejű navigáció alapjaként használtak.

A mérési nyomvonalak az egyes kijelölt mérési blokkok sajátosságaihoz igazodva kerültek kijelölésre. A sűrített szelvények minden esetben a folyásiránnyal megegyezően, míg a ritkított keresztshelvények erre merőlegesen kerültek felmérésre.

A mérések kivitelezésére 2015. október 19 és november 10 között került sor. Ezen időszakban a Duna vízszintje 85-86 m tszf magasságban mozgott, melynek pontos értéke minden mérési napon rögzítésre került. A mérés során egy a mérőeszköz vontatására kialakított hajóval mozgatták a műszert úgy, hogy annak geometriai középpontja lehetőség szerint a tervezett mérési szelvények mentén haladjon. Az adatfelvételezés során folyamatosan haladtak a korábban kijelölt elvi mérési háló mentén. A mérőműszer pozíciója a geometriai középpontjában rögzített RTK-GPS segítségével került meghatározásra.



42. ábra Az egyes mérési blokkok és a lemért nyomvonalak elhelyezkedése

A tervezett telephelyet a piros poligon jelöli. Az alaptérkép szolgáltatója: © HM Zrínyi Nonprofit Kft. 2015.

A mérések jellemzőit az alábbi táblázat (25. táblázat) tartalmazza.

25. táblázat A Pseudo-3D vízi mérések jellemzői

mérés irányítottsága	5 m-es átlagos sűrűségű hossz-szelvények, valamint erre merőleges kereszt-szelvények 50 méterenként
mérő hajó	Christen 550
mérési elrendezés	Seistec TM szeizmikus szelvényező műszer a mérő hajó mellett vontatva

Az alkalmazott szeizmikus mérőrendszer és a hozzá tartozó egyes elektronikus alegységek mérés során alkalmazott részletes beállításait [377], „Pseudo 3D Vízi szeizmikus mérések” című jelentésének 3. fejezete tartalmazza.

A lemért blokkok:

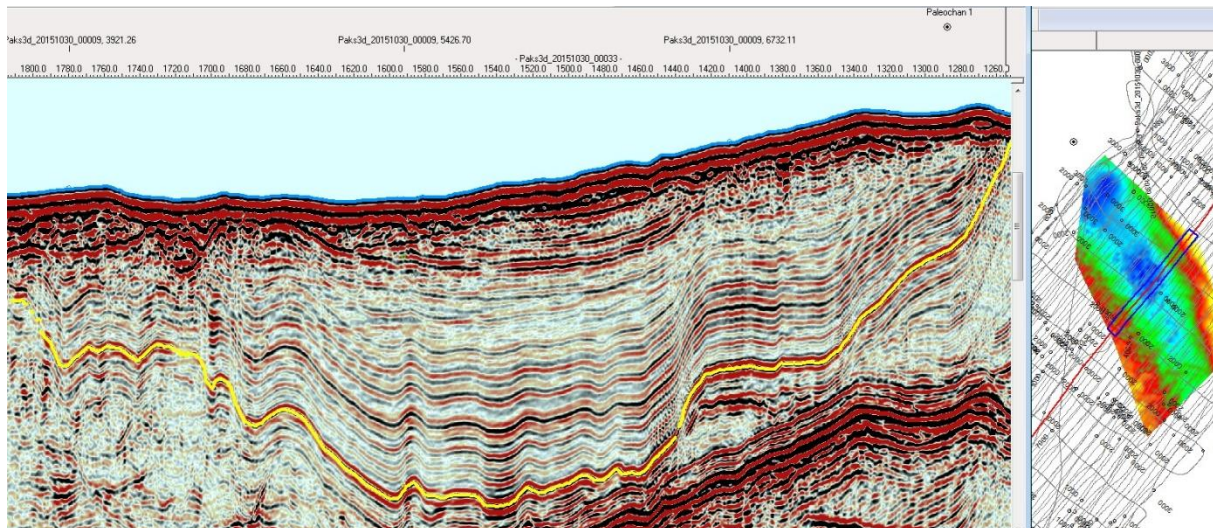
A kutatási területen öt mérési blokk lett kijelölve, melyek összterülete 2,0 km². Az egyes blokkok területét az alábbi táblázat mutatja be (26. táblázat):

26. táblázat A kutatási terület öt mérési blokkja és az egyes blokkok területe

Mérési blokk száma:	Felmért terület nagysága (km ²):
1	0,75
2	0,33
3	0,34
4	0,42
5	0,17

2.2.2.6.2 A mérések feldolgozása

Az egycsatornás, nagyfelbontású vízi szeizmikus mérések eredményszelvényei mindössze abban térnek el a kisebb felbontású, de nagyobb behatolású, főleg a szénhidrogéniparban és a mélyföldtani kutatásban használt szeizmikus szelvényektől, hogy a csatornák közötti távolság, illetve a nagyobb jelfrekvencia miatt a szeizmikus csatornák mintavételi távolsága jelentősen kisebb. Mivel a SeistecTM szeizmikus mérőműszer esetében jelgerjesztésenként csak egy csatornán történik a regisztráció ezért a többcsatornás szelvények feldolgozásához szükséges összegzést (stacking), illetve az azt megelőző feldolgozási lépéseket nem kell elvégezni. A feldolgozás a csatornák pontos pozíciójának meghatározására, szükség szerint alkalmazott dekonvolúcióra és migrációra, valamint az értelmező szoftverbe való betöltés előkészítésére (navigációs fájlok számítása) szorítkozik. Egy migrált mintaszelvényt mutat a 43. ábra.



43. ábra Mintaszelvény a 2-es blokk felmérése során leképezett paleo-meder üledéksorának deformációjával

A mintaszelvény helyét a térképrészleten kiemelt szelvény jelzi. A térképrészleten látható medermorfológia a szelvényen sárga vonallal értelmezett horizont képe

Az alkalmazott feldolgozási és értelmezés-előkészítési lépések a következők voltak:

- koordináta transzformáció
- koordináták editálása a GPS adatok esetleges utófeldolgozásával
- keometria-adatbázis (navigációs fájlok) létrehozása
- dekonvolúció és migráció (néhány kiválasztott szelvényre a 2. blokkban)
- adatok betöltése az értelmező szoftverbe (IHS Kingdom)
- vízállási adatok számítása az egyes szelvényekhez
- az egyes szelvények statikus tolása egy közös referenciaszintre a vízállási adatok segítségével

Az értelmező szoftverbe a pseudo-3D vízi szeizmikus méréseken túlmenően szintén betöltésre kerültek a Paks környékén mért korábbi, illetve a telephelybővítés kapcsán jelenleg folyó kutatások földtani-geofizikai adatrendszerei. Ez lehetőséget biztosított arra, hogy a tektonikai értelmezések integrált módon, a korábbi adatok figyelembe vételével, illetve azok eredményeinek tükrében történjenek.

A feladat célkitűzéseit figyelembe véve megtörtént a lemért szeizmikus adatrendszer geológiai és tektonikai értelmezése. Az értelmezés menetét és a származtatott medertérképeket [377] jelentése részletezi, a legfontosabb neotektonikai eredményeit pedig integrált módon a kutatási zárójelentés „A kutatási eredmények értékelése” című 3. fejezete tartalmazza.

2.2.2.7 Duna medermonitorozás

A tervezett telephelyen létesítendő új atomerőművi blokkok FKP (FKP, SOM(R)475/3 Rev.4., Feladat kód: 3.3.4. [311]) előírja az erőmű előterében egysatornás, szeizmoakusztikus felméréssel elvégzett medermonitorozás kivitelezését. A méréseket egy előre kijelölt hálózat mentén, 1,5 fkm-es szakaszon, egy éven belül 6 alkalommal (kéthavonta) kellett végrehajtani.

A kutatás feladata, hogy az atomerőmű előterében 2006. óta végrehajtott évenkénti mederszelvényezés (monitoring), mely ezidáig minden évben az év ugyanazon fázisában, október-november hónapokban került felmérésre, egy éven keresztül 2 hónaponként, az év során bekövetkező változások vizsgálatára legyen végrehajtván. A kutatás célja az éves üledékképződés mechanizmusának megismerése, a gyors mederváltozások vizsgálata. Az eredmények nagyban pontosítják a Duna üledék-szállítási és lerakódási modelljét.

A kutatás feladata a Duna jobb partjánál a Megrendelő által megjelölt szakaszon – mintegy 1 500 m hosszban és a parttól átlagosan 400 m szélességű sávban – 38 darab kereszt-szelvény és 1 darab a sodorvonalba eső hossz-szelvény lemérése. A lemért kereszt és hossz-szelvények alapján megszerkesztendő a jelenlegi mederfenék domborzata, valamint kijelölt mederszelvények számítása adatbázis formájában.

A vízi szeizmikus méréseket a Geomega Kft. és a Mecsekérc Zrt. közötti szerződés alapján a Geomega Kft. végezte el 2015. - 2016. folyamán.

2.2.2.7.1 Terepi tevékenység

A mérések a Duna jobb partjánál a Megrendelő által megjelölt szakaszon – mintegy 1 500 m hosszban és a parttól átlagosan 400 m szélességű sávban – 38 darab kereszt-szelvény és 1 darab a sodorvonalba eső hossz-szelvény mentén kerültek végrehajtásra. Az egyes mérési napokon lemért szelvények nyomvonalát a 44. ábra tartalmazza.

A mérés során a SeistecTM mérőeszközt a szelvényezésre kialakított mérőhajó vontatta úgy, hogy a műszer geometriai középpontja lehetőség szerint a tervezett mérési szelvények mentén haladjon. A mérőműszer pozícióját a geometriai középpontjában felerősített RTK-GPS másodpercenként rögzítette.

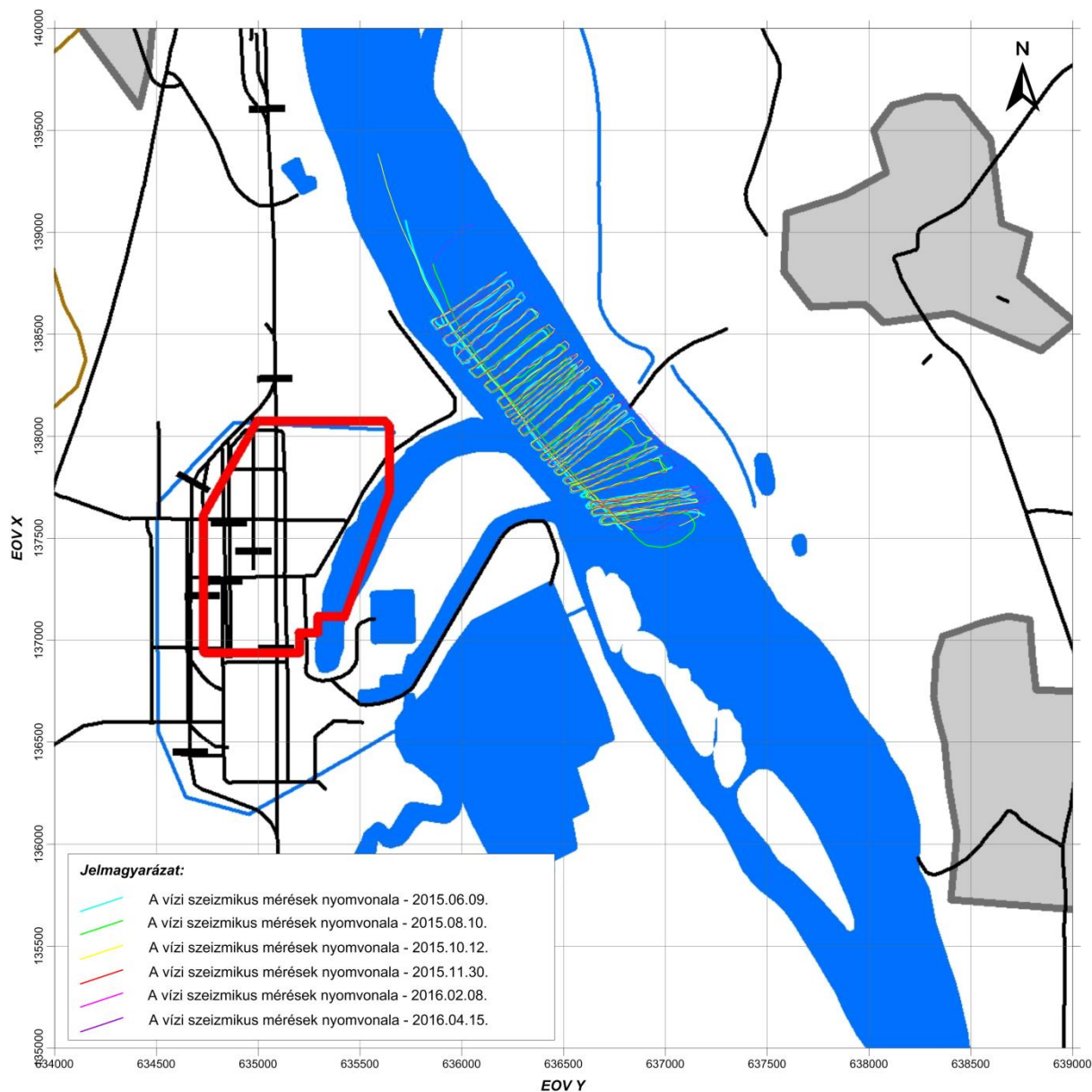
Az egyes mérések a következő időpontokban történtek:

1/6 ütem:	2015. június 09.
2/6 ütem:	2015. augusztus 10.
3/6 ütem:	2015. október 12.
4/6 ütem:	2015. november 30.
5/6 ütem:	2016. február 08.
6/6 ütem:	2016. április 15.

27. táblázat A Duna medermonitorozás mérési jellemzői

mérési hálózat	40 m-es átlagos sűrűségű kereszt-szelvények, valamint ezeket összekötő egy hossz-szelvény
mérő hajó	Christen 550
mérési elrendezés	Seistec TM szeizmikus szelvényező műszer a mérő hajó mellett vontatva

Az alkalmazott szeizmikus mérőrendszer és a hozzá tartozó egyes elektronikus alegységek mérés során alkalmazott részletes beállításait [129] „Paksi Atomerőmű előterében a Dunán végzett mederfelmérés” című jelentésének 3. fejezete tartalmazza.



44. ábra Az egyes mérési napokon lemerő vízi szeizmikus mérések nyomvonala

A tervezett telephelyet a piros poligon jelöli. Az alaptérkép szolgáltatója: © HM Zrínyi Nonprofit Kft. 2015.

A mérési paramétereket az alábbi táblázat (27. táblázat) tartalmazza.

2.2.2.7.2 A mérések feldolgozása

A medermonitorozás során alkalmazott mérőrendszer megegyezik a pszeudo 3D mérés során alkalmazottal, így értelemszerűen a feldolgozás is nagyban hasonlít a 2.2.2.6.2 fejezetben ismertettekkel. Kiseb eltérések a két alkalmazás (pszeudo 3D felmérés illetve medermonitorozás) eltérő követelményeiből adódnak.

Az alkalmazott feldolgozási és értelmezés-előkészítési lépések a medermonitorozás esetén a következők voltak:

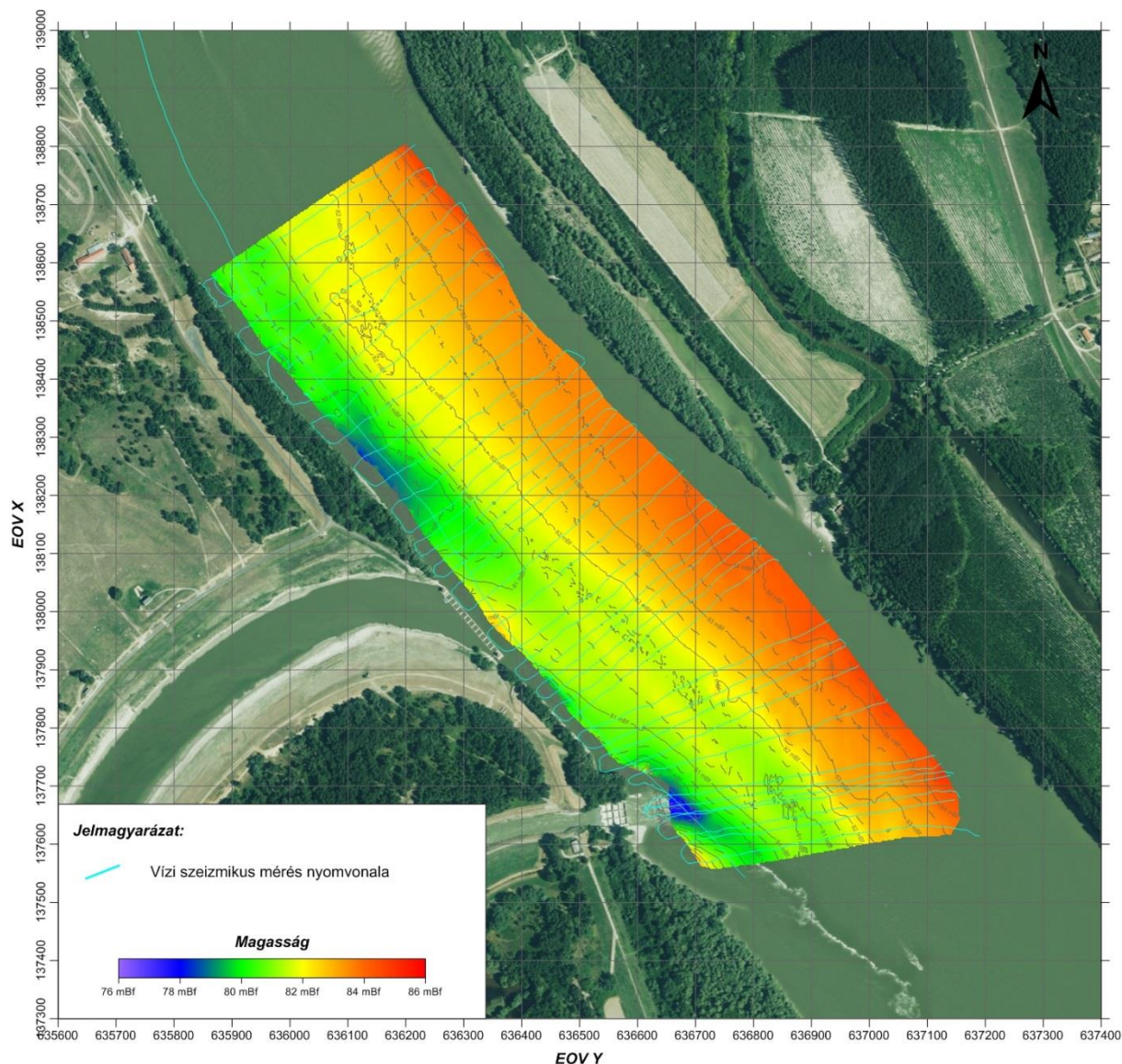
- koordináta transzformáció
- koordináták editálása a GPS adatok esetleges utófeldolgozásával

- geometria-adatbázis (navigációs fájlok) létrehozása
- adatok betöltése az értelmező szoftverbe (IHS Kingdom)
- vízállási adatok számítása az egyes szelvényekhez
- a feldolgozott szelvényeken az értelmező rendszer segítségével a mederfenék nyomvonalának kijelölése
- térképszerkesztés

A térképszerkesztés a következő munkafázisok elvégzésével történt: a kijelölt mederfenék reflexiója a szeizmikus adatrendszeren került értelmezésre, majd a kétutas futási idő értékekből több lépésben EOVS, EOVS, vízmélység adatrendszer került számításra. A kétutas futási időből a vízre jellemző 1450 m/s-os akusztikus terjedési sebességgel számított konverzió adja a korrigálatlan mélységértékeket. A mélységkonverziót követően korrigálásra került a jelforrás és az észlelés vízfelszín alatti mélysége, valamint a jelforrás és az észlelés távolságának hatása. Figyelembe véve a mérések napján rögzített vízállásokat eltávolításra került az eltérő vízállások hatása is. A korrekciókat tartalmazó adatrendszerből grideléssel készültek el az egységes referencia szintre (Balti tszf magasság) vonatkozó mederfenék térképek. Ezen térképek közül mutat példaként egyet, az első ütem 2015. június 9-i mérésének mederfenék morfológia térképét a 45. ábra.

A szeizmikus adatrendszer feldolgozásának és értelmezésének menetét valamint a származtatott medertérképeket [129] „Paksi Atomerőmű előterében a Dunán végzett mederfelismerés” című jelentésének 3. és 4. fejezetei tartalmazzák.

A egyes mérési ütemekben rögzített és egységes vonatkoztatási szintre vonatkoztatott mederfenék felmérésekből különbségképzéssel számítható az egyes mérési ütemek közti mederfenék változás. Ez a térképsorozat lehetővé teszi a Duna hordalékszállításának és medermorfológia változásának nyomon követését az adott monitoring időszakban. A mérési program során észlelt változásokat a 3.1.2.3.2 fejezet tárgyalja.



45. ábra A 2015. június 9-i első mérési ütem mederfenék morfológia eredménytérképe

2.2.2.8 Telephelyi EM (elektromágneses) és GPR (földradar) mérések

2.2.2.8.1 Bevezetés

A tervezett telephelyen létesítendő új atomerőművi blokkok FKP (FKP, SOM(R)475/3 Rev.4., Feladat kód: 3.3.7. [311]) előírja az erőmű telephelyén GPR georadar és elektromágneses mérések kivitelezését, különös tekintettel a geotechnikai fúrások közvetlen környezetére.

A fúrások feltárás, valamint a szelvény menti felszíni geofizikai mérések megkezdése előtt a kutatási területen két fázisban, 2012-ben és 2015-ben elvégzett EM mérések és a kapcsolódó GPR szelvényezés területi kijelölése a vizsgálati terület lehető legteljesebb előzetes feltérképezését célozta.

2012-ben a kutatás első fázisában felmérésre került az akkori telephely területe. Ez alól a lebontásra kerülő épületek képeztek kivételt. Az azt követő három év során módosult a

telephely helyzete. Ennek következtében további mérések váltak szükségessé az eddigi mérési blokkoktól északi, illetve keleti irányban.

A vizsgált mélységtartományban ki kellett mutatni a feltöltésben és az alatta található talajrétegekben (valamikor felvonulási terület) lévő, korábbi emberi tevékenység következtében bennmaradt tárgyakat, objektumokat, különös tekintettel a területen lévő vonalas és pontszerű közművekre, vagy azok maradványaira. A kutatás feladata volt továbbá az eddig létrehozott geodéziai térképek szolgáltatása nyomvonalak pontosítása és azok igazolása.

2.2.2.8.2 Terepi tevékenység

EM mérések

A 2012. novemberében elvégzett első fázis során a Geomega Kft. a III., IV., és V. geotechnikai szelvények környezetének mérésre alkalmas területén, valamint a II. és az I. szelvények környezetében egy-egy sávban végzett EM térképezést.

A mérési határokat és a terepbejárás eredményét figyelembe véve egy 50×50 m-es mérési rácshálózat (blokkhálózat) került kijelölésre. A terepbejárás eredményeként a tervezett szelvények közelítőleg 40 m-rel, északi irányba kerültek eltolásra. Erre azért volt szükség, mert a szelvények nem csak a felvonulási területre korlátozódtak, hanem az erőmű biztonsági zónáján is áthaladtak. Itt azonban a nagyfokú beépítettség a méréseket és a tervezett geotechnikai fúrásokat is megghiúsította volna. A mérési hálózat Megrendelő általi jóváhagyását követően, a kutatási terület felmérése 1 méteres rácshálózatban történt meg.

2015-ben további három mérési szelvény lemérésére került sor az újonnan kijelölt fűrési szelvények nyomvonalában, valamint kiegészítve a korábbi mérést. A felmérés során kimaradtak a fedett területek (betongyár, épületek, stb.), mert noha a kutatási terv második fázisa ezen épületek elbontását tartalmazta, de a tervezett felszámolások nem történtek meg.

A kitűzés és az elektromágneses mérések helymeghatározása többfázisú RTK GPS alkalmazásával történt. A mért pozíciók abszolút pontossága 1-2 cm.

A kutatási terület elektromágneses felmérése a kanadai Geonics cég által gyártott EM38B típusú mérőműszerrel történt. Az EM38B egy méteres dipóltávolsággal és 14,6 kHz-es mérési frekvenciával dolgozik.

Az elektromágneses indukció elvén működő, elektromos vezetőképességet mérő műszerben egy primér tekercs, váltóáram segítségével időben változó mágneses teret hoz létre, mely változó mágneses tér a felszín alatti összletben örvényáramokat indukál. Az örvényáramok erőssége egyrészt a primer tekercs által gerjeszt, és általunk ismert mágneses tértől, másrészt pedig az általunk megismerni kívánt, felszín alatti elektromos vezetőképességtől függ. A létrejött örvényáramokat méri egy szekunder tekercs, mely adott távolságban helyezkedik el a primér (adó) tekercstől. A szekunder (vevő) tekercsben mért jel nagyságából számítható a felszín közeli összlet vezetőképessége. A mérést pontról pontra megismételve térképezhető a vezetőképesség térbeli változása. Behatolási mélysége az alkalmazott vertikális dipól módban maximum 1,5 m, míg horizontális dipól módban ennek mintegy fele.

GPR radarszelvényezés

Földradar mérések során egy adóantennával fókuszált elektromágneses hullámokat gerjesztve, az egyes réteghatárokról visszaverődő jelek részben visszajutnak a vevőantennához. A visszaverődéseket azok a réteghatárok hozzák létre, melyek mentén megváltozik az elektromágneses (radar-) hullámok terjedési sebessége. A visszavert hullámok beérkezési idejét és amplitúdóját megmérve, a terjedési sebesség ismeretében számítható az egyes réteghatárok felszín alatti mélysége, valamint információt kaptunk az anyagi változásokról. Homogén anyag belsejéből nem érkeznek reflexiók.

Az alkalmazott egycsatornás mérés során a beérkező visszaverődések egy, a tervezett kutatási mélység alapján számított hosszúságú időablakban kerülnek regisztrálásra.

Az elektromágneses hullámok terjedését a közeg három fizikai paramétere befolyásolja:

- fajlagos vezetőképesség
- dielektromos állandó
- mágneses permeabilitás

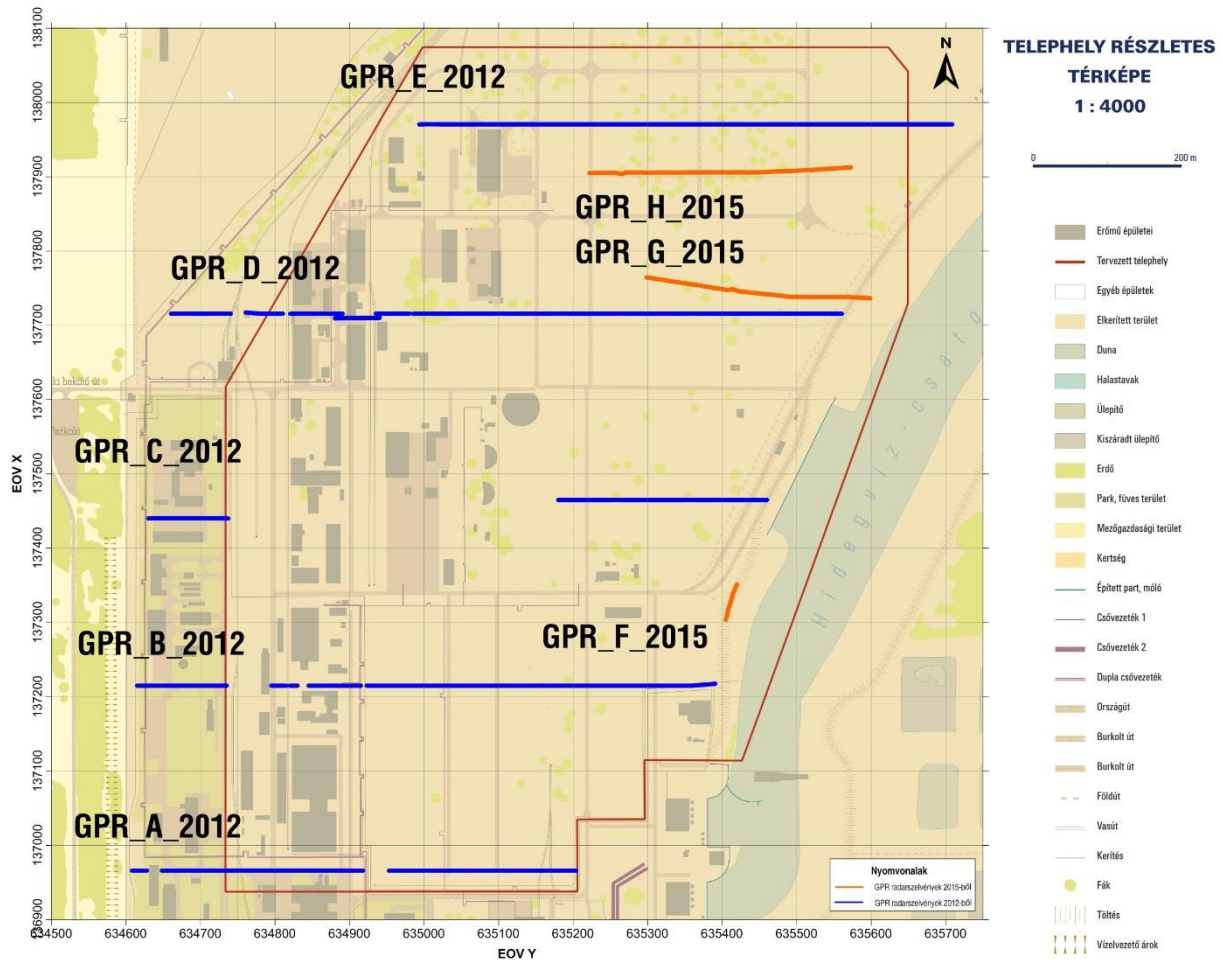
A földradar mérések Zond12e típusú mérőberendezéssel, 300 és 500 MHz-es frekvenciájú, felszíncsatolt, árnyékolt dipól antennákkal (gyártó: RADSYS) történtek.

A méréseket megelőzően a két különböző frekvenciájú antenna (300 MHz és 500 MHz) egy teszt szakaszon került összehasonlításra. A tesztmérés célja a jel/zaj arány és behatolási mélység alapján kedvezőbb antenna kiválasztása volt. A tesztmérés eredményei alapján a 300 MHz-es radarantenna került alkalmazásra.

A radarszelvényeket tartalmazó nyolc szelvényből az első öt (GPR_A_2012, GPR_B_2012, GPR_C_2012, GPR_D_2012 és GPR_E_2012) 2012-ben került lemérésre, míg az utolsó három (GPR_F_2015, GPR_G_2015 és GPR_H_2015) 2015. júniusában. Az utolsó szelvény (GPR_F_2015) a hidegvízi csatorna rézsűjén mérődött. Ezen a területen elektromágneses mérések már nem történtek.

A középső szelvény – GPR_C_2012 – nyugati végén 0-105 m közötti szakaszon az eredeti nyomvonal közelében történt a mérés.

A pontos tervezés ellenére sok részterületen a felszíni objektumok (pl. épületek) miatt nem volt kivitelezhető a mérés. Ezekben az esetekben a szelvények kisebb szakaszokból tevődtek össze. A GPR szelvények nyomvonalát a 46. ábra mutatja.



46. ábra A radarszelvényezés egyesített nyomvonaltérképe

A kitűzött pontok közötti pozicionálás a radarantennára erősített, nagy pontosságú mérőkerék segítségével történt. A mérőkerék segítségével 1 cm-es ponttávolság érhető el. A mérési pontok abszolút horizontális pontossága: < 5 cm.

A mérés során alkalmazott terepi felvételi paraméterek a következők voltak:

- csatornánkénti mintaszám: 512
- csatornahossz: 50 ns
- csatornatávolság: 0,01 m
- adó/vevő antenna: kombinált, 0,51 m ofszet
- analóg erősítés: 0/36dB lineáris
- high-pass filter: Strong

2.2.2.8.3 A mérések feldolgozása

EM mérések

A mérések feldolgozásának lépései:

- a mérési adatok és a hozzájuk tartozó hosszúság/szélesség pozíciók számítógépre töltése
- koordináta transzformáció EOV rendszerbe
- mérési adatok egyenközű rácshálóba történő átszámítása

- zajcsökkentő sávszűrés
- a mérési eredmények megjelenítése
- a mérési eredmények értelmezése

A mért és feldolgozott vezetőképességek milliSiemens/m (mS/m) egységben kerültek feltüntetésre, 0-150 mS/m intervallumot átfogó skálát alkalmazva, az eredeti mérési eredményeket a skálán 50 mS/m-el eltolva.

A mérést lezáró jelentés [354] mellékletein, és ezen jelentés 10. mellékletén is a kis vezetőképességet kék szín, míg a nagyobb vezetőképességeket sárga, illetve piros szín jelöli.

Ebben az esetben a meleg színek a magas vezetőképességet, tehát alacsony ellenállású területeket jelölik. Ide tartoznak a vasbeton blokkok, vezetékek és egyéb fémek, illetve jelentősen bolygatott területek.

GPR radarszelvények

A feldolgozás lépései:

- a szelvények csatornáinak 0,01 m-es távolságú egyenközű interpolációja
- idő-mélység konverzió a számított dielektromos állandó alapján
- az egyes mérési szakaszok EOVS koordináták alapján történő összeillesztése egy szelvényre
- megfelelő erősítés beállítása
- a mérési szelvények megjelenítése
- a mérési szelvények értelmezése

A szelvényeken domborzati korrekció nem történt, a szelvények null-szintje a felszín.

A mérést és annak feldolgozását, illetve értelmezését részletező jelentés [354] kapcsolódó mellékletén együtt kerültek megjelenítésre a radarszelvények és az adott szelvényhez tartozó elektromágneses térképek is. A radarszelvények egységes színskálával kerültek megjelenítésre.

A szelvények horizontális méretaránya 1:1 000-es, vertikális méretarányuk 1:100-as. A tízszeres vertikális túlmagasítást a szelvények felbontása tette szükségessé. A GPR szelvények ezen jelentés 11. mellékletén kerültek bemutatásra.

2.2.2.9 Telephelyi MUEL (multielektrodás geoelektromos) mérések

2.2.2.9.1 Bevezetés

A tervezett telephelyen létesítendő új atomerőművi blokkok FKP (FKP, SOM(R)475/3 Rev.4., Feladat kód: 3.3.3. [311]) előírja az erőmű telephelyén kombinált refrakciós szeizmikus és geoelektromos multielektrodás szelvényezés kivitelezését.

A kutatás célja a tervezett geotechnikai szelvények nyomvonalában, valamint erre merőleges szelvények mentén kombinált geofizikai szelvényezés végrehajtása. A szelvényezés feladata a felszín közeli (0-30 m) térrész, komplex geofizikai leképezése, valamint a talajmechanikai szondázások térbeli leképezése.

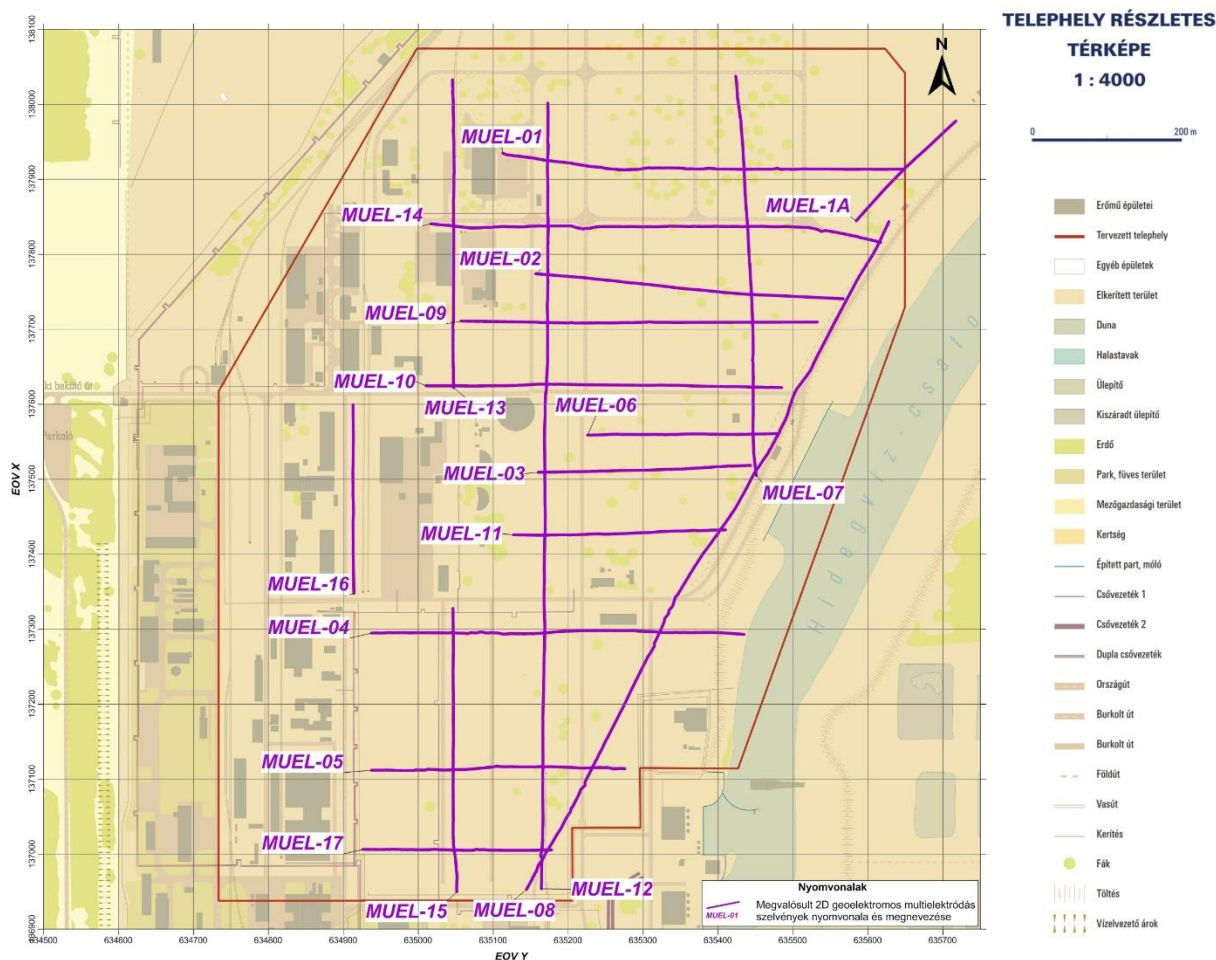
2.2.2.9.2 *Terepi tevékenység*

A módszer – más egyenáramú geoelektromos kutatómódszerekhez hasonlóan - a kőzetek fajlagos ellenállásának különbözőségén alapul. A fajlagos ellenállás nagyságát elsősorban a kötött, illetve szabad víztartalom (közvetve tehát a porozitás is), másodsorban az ásványos összetétel és a kristályszerkezet határozza meg. Ezen az alapon legtöbbször jól elkülöníthetők a törmelékes üledékek, a karbonátos, magmás illetve metamorf kőzetek.

Az egyenáramú módszerek közül legfejlettebb az ún. multielektródás egyenáramú szelvényezés, ahol különböző helyzetű elektróda-párok (AB) keresztül egyenáramot vezetünk a földbe és más elektróda-párok (MN) mértük a kialakult potenciálkülönbséget. A feszültség arányos az AB elektródák közti térrész átlagolt fajlagos ellenállásával. Egyre vastagabb (mélyebb) rétegösszlet fajlagos ellenállását az áram- és feszültség-elektródák egymáshoz viszonyított távolságának növelésével mérhetjük meg. A mérés során tehát az elektródatávolság függvényében egy látszólagos fajlagos ellenállás sorozatot kapunk.

A terepi méréseket a Geomega Kft. végezte 2015. június 24. és július 9. között.

A mérési szelvények a P-hullám refrakciós szeizmikus szelvények nyomvonalának közvetlen közelében úgy kerültek kitűzésre, hogy a felszíni adottságok a lehető legkisebb mértékben befolyásolják a mérési eredményeket. Minden szelvény közel NY-K, illetve D-É irányítottágú, de bizonyos szelvények nyomvonala minimális mértékben módosításra került, hogy a felszínt borító nagy kiterjedésű betonfelületek, földalatti vezetékek és közművek zavaró hatása csökkenjen. A mérés során a gyenge elektróda csatolást sok helyen kellett vízzel való öntözéssel javítani a mérések idején tapasztalható rendkívüli meleg és szárazság miatt. Összefüggő betonfelületek, illetve betontáblák esetében a mérési szelvényeket a betontáblák közötti rések mentén lehetett csak kijelölni. Az ehhez hasonló felületeken mért szelvények nagyobb számban tartalmaztak a rossz kontaktusból adódó zajos méréseket, melyeket a mérési adatok feldolgozása és értelmezése során figyelembe kellett venni. Ezen anomális pontok, vagy szakaszok terepi jegyzőkönyvben történt rögzítése a kiértékelés szempontjából kiemelt fontossággal bírt.



47. ábra A megvalósult multielektrodás geoelektromos mérések nyomvonalai

A szelvények számozása megegyezik a refrakciós szelvények sorszámával. A szelvények kitűzése RTK GPS, valamint mérőszalag segítségével történt. Ezt követően a szelvényen kihelyezett elektródák kerültek bemérésre az RTK GPS segítségével. A megvalósult szelvények nyomvonalát a 47. ábra mutatja.

Mérési paraméterek:

- elektródatávolság: 4 m
- min. AB elektródatávolság: 12 m
- áramimpulzus hossz: 0,5 sec
- elektromos berendezés: GF Instruments által gyártott ARES-G
- elektródaelrendezés: Wenner-Schlumberger

2.2.2.9.3 A mérések feldolgozása

A mérések kiértékelése a RES2DINV számítógépes programcsomaggal történt. A terepi nyers adatok editálása a terepi jegyzőkönyvek és egyéb geofizikai mérésekből (pl. geotechnikai fúrások) kiszűrhető információ figyelembe vételével történt. A kiugróan zajos mérési pontok eltávolításra kerültek. Topográfiai korrekcióra nem volt szükség a terület sík felszíne miatt.

Az inverzió a legkisebb négyzetes eltérés alapján történő optimalizációval történt. A feldolgozás részleteit Hámori és Kudó [355] jelentése tartalmazza.

Az eredmények megjelenítése Surfer programcsomaggal történt, az egyes szelvényeket egységes méretarányban és egységes 0-200 Ohmm-es színskálával megjelenítve. A meleg színek a nagyobb, míg a hideg színek a kisebb ellenállásokat jelölik. A szelvények bemutatása a 12. mellékleten látható.

2.2.2.10 Telephelyi P-hullám refrakciós mérések

2.2.2.10.1 Bevezetés

A tervezett telephelyen létesítendő új atomerőművi blokkok FKP (FKP, SOM(R)475/3 Rev.4., Feladat kód: 3.3.3. [311]) előírja az erőmű telephelyén kombinált refrakciós szeizmikus és geoelektromos multielektrodás szelvényezés kivitelezését.

2.2.2.10.2 Terepi tevékenység

Refrakció jelensége akkor alakul ki, ha egy felső, kisebb terjedési sebességű közegből a határfelületre α_k kritikus szöggel (a teljes visszaverődés határszögével) érkezik síkhullám. Ekkor a hullám nem hatol be az alsó közegbe, hanem a határfelület mentén halad tovább az alsó rétegre jellemző terjedési sebességgel, és a felszín felé a kritikus szögben kiinduló hullámok forrásává válik.

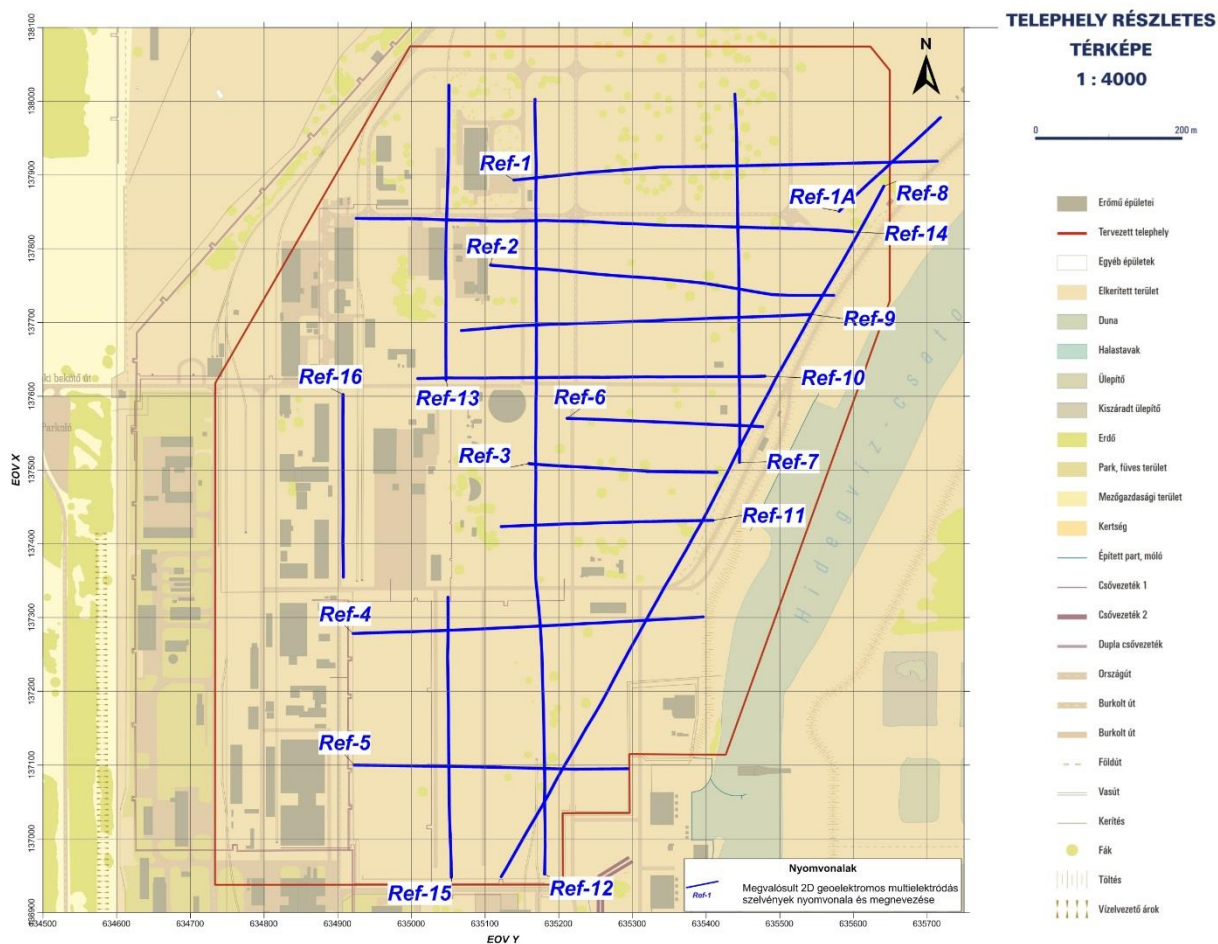
A csatornákon az első beérkezések kiértékelésével megrajzolva a refrakciós menetidőgörbét a refraktáló felület mélységének változása tükröződik a menetidőgörbe alakjában, lefutásában. A mérés során a geofon-terítést mindkét végéről meglőve a két menetidőgörbéből a sebességek ismeretében meghatározható a refraktáló felület mélysége. A fedő sebessége a menetidőgörbe keresztes távolságot megelőző szakaszának segítségével, míg a refraktáló szint határsebessége a refrakciós szakaszra eső két menetidőgörbe segítségével számolható.

A terepi méréseket 2015. június 10. és július 3. között végezte el a Geomega Kft. a Mecsekérc Zrt. megbízásából. A nyomvonalak a tervezett geotechnikai szelvények (I-V) nyomvonalában, valamint azokra merőlegesen a megszerzendő információhoz, valamint a terület adottságaihoz igazítva lettek kijelölve. A geotechnikai szelvények nyomvonalában valamilyen akadályozó okból az alkalmazandó módszerrel nem teljesíthető szakaszok – ilyenek pl. a 2. zónába eső részek, ahol nem történt az új blokkok létesítése előtt területrendezés – helyett mérhető részek kerültek kijelölésre a kimaradt részekkel egyenértékű hosszúságban.

A geofonokat a talajjal való minél jobb kontaktus érdekében a geofonra szerelt tűske segítségével kell leszúrni a talajba. Ahol a geofonok leszúrása a szilárd burkolat miatt nem volt lehetséges, ott kézi fúró segítségével minimális roncsolás mellett kb. 10 cm mély, 1cm átmérőjű lyukak kerültek kifúrásra, amelybe a geofonok megfelelően rögzíthetők voltak. A terepi körülményeket részletesen, ábrákkal is szemléltetve ismerteti Hámori és Kudó [355] jelentése.

Az érzékelő geofonok telepítését követően a szeizmikus forrással (kalapács) az egyes refrakciós vonalak mentén meghatározott gerjesztési pontokban szeizmikus P hullámokat keltettek. Az adott szelvényre eső forráspontok számát nagyban befolyásolta a zajos

környezet, melynek hatására a refrakciós mérések során általánosan alkalmazott forráspont sűrűségénél a legtöbb esetben sűrűbben történt a mérés. A méréshez használt eszközök vonal mentén, illetve vonalról-vonalra többször áttelepítésre kerültek.



48. ábra A megvalósult refrakciós szeizmikus nyomvonalak

28. táblázat A terepi felvételezés főbb paraméterei

A megvalósult vonalak összhosszúsága	8,234 km
A megvalósult vonalak száma	17 db
A mérésben aktív csatornák száma	72 db
Egy geofoncsoportban lévő geofonok száma	1-3 db
Geofon intervallum	4 m
Felvételezhossz	512 ms
Mintavétel	0,5 ms
Forráspont távolság	12 m
Külső ofszet	±50 m
Aktív terítésbe eső forráspontok száma	10-23 db
Egy forrásponthoz tartozó gerjesztések száma	8-20 (jel/zaj arány függvényében)
Adatrögzítő típusa	24bits DMT Summit II compact unit
Geofon típusa	GS20DM, 14 Hz-es, 240 Ω -os geofonok

A szelvények kitézése RTK GPS, valamint mérőszalag segítségével történt. Ezt követően a szelvényen kihelyezett geofonok és forráspontok lettek bemérve az RTK GPS segítségével. A szelvények nyomvonalát a 48. ábra mutatja, a terepi felvételezés főbb paramétereit pedig az 28. táblázat foglalja össze.

2.2.2.10.3 A mérések feldolgozása

A feldolgozás részleteit Hámori és Kudó [355] jelentése tartalmazza.

A terepi nyers adatok feldolgozása ProMAX szeizmikus feldolgozó szoftverrel történt.

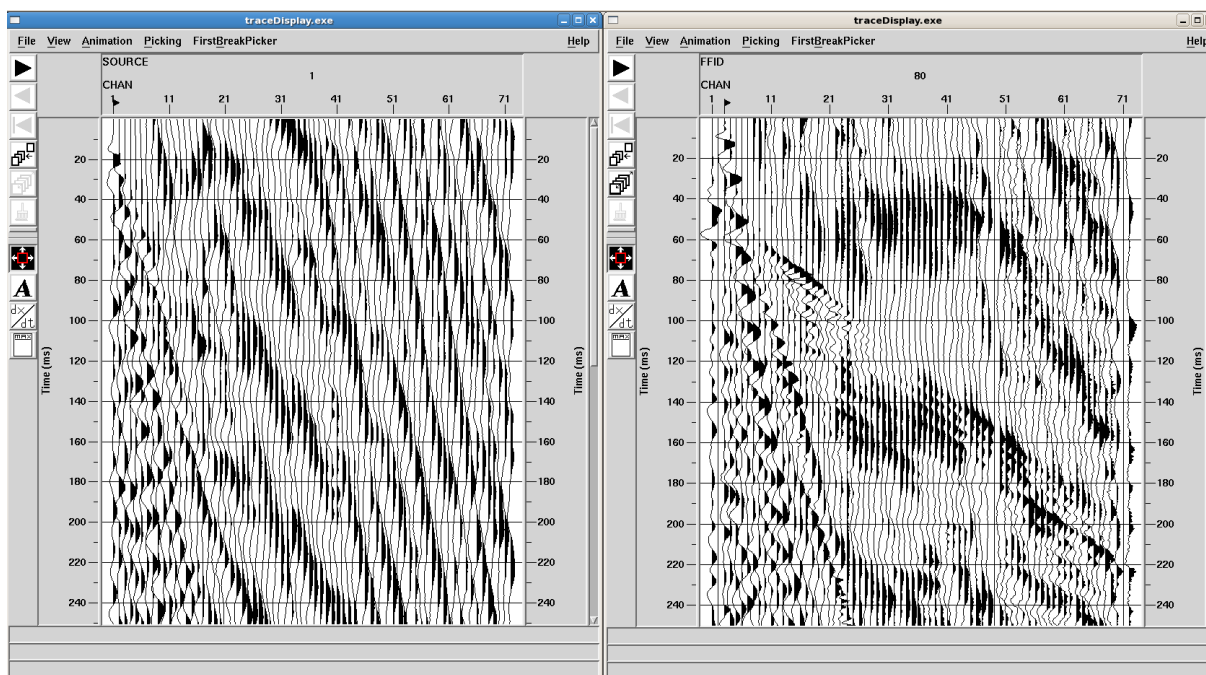
A feldolgozás főbb lépései a következők voltak:

- adat behívás (input)
- geometria megadása/ellenőrzése
- robbantóponti gyűjtemény ellenőrzése
- amplitúdó korrekció (szükség szerint)
- adatszűrés (Bandpass filter)
- első beérkezés meghatározása
- refrakciós statikus kiértékelés (a mérési adatok függvényében egy réteges modellt alkalmaztunk)

Az első beérkezés pontos meghatározása a refrakciós kiértékelés egyik legfontosabb mozzanata. Az adatok feldolgozása során figyelembe kellett venni, hogy az erőmű közelsége, valamint a telephelyen végzett egyéb tevékenységek (pl. betonelem gyártás a Strabag telephelyén, talajmechanikai fúrások stb.) miatt a terepi felvételek nagy százaléka különböző zajjal volt terhelt. A külső forrásból érkező zajok sokszor a hasznos jellel azonos frekvencia tartományba estek. Némely esetben ezen zajforrások elkerülése, vagy minimalizálása megoldható volt, azonban az egyik fő zajforrásnak tekinthető erőmű időben állandó zajterhelést jelentett a mért vonalakon. Ezen zajok mérést zavaró hatásának mértéke és jellege a vonalak aktív üzemterülettől való távolságának és irányának függvényében változott, különösen terheltek voltak az erőmű közelében mérődött É-D irányú szelvények / szelvényszakaszok. Ilyen zajos felvételt mutat a 49. ábra.

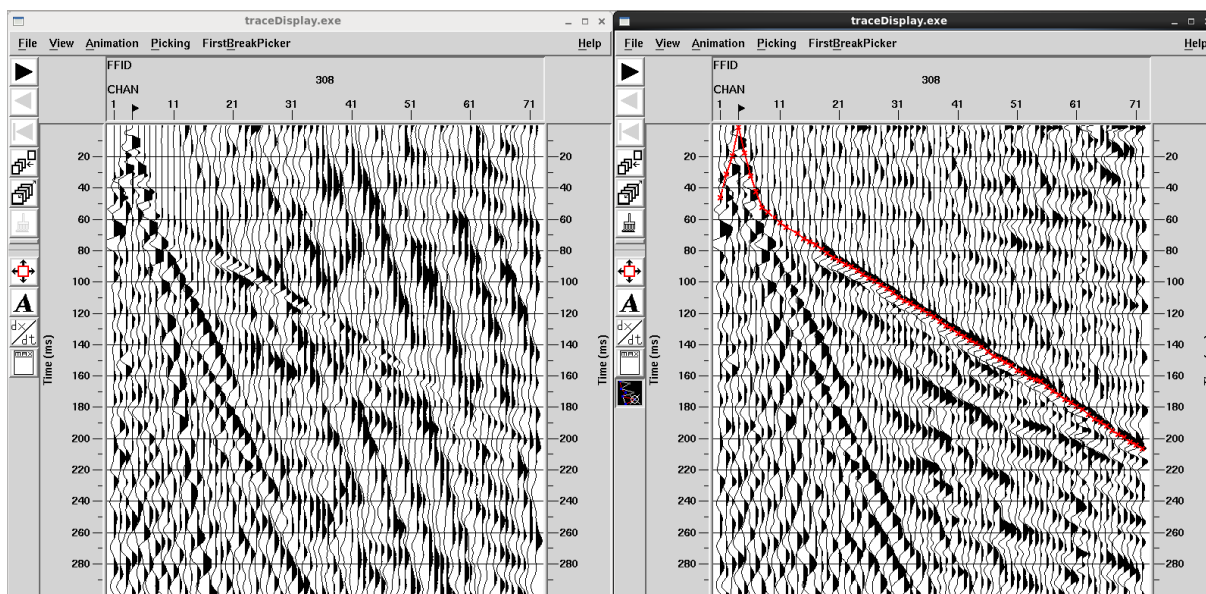
A zajos környezet miatt a mérés megkezdése után a terepi felvételek valós idejű ellenőrzésén túl előzetes adatfeldolgozásra került sor, amelynek során megerősítést nyert a terepen már tapasztalt jelenség. A fellépő adathiány ellensúlyozásaként a forráspontok kritikus helyeken sűrítésre kerültek, így növelve a fedésszámot és a vonal menti első beérkezések meghatározásának folyamatosságát.

A zajjal terhelt felvételek esetén sok esetben még szűrés után sem volt kijelölhető az első beérkezés a teljes offset tartományon (jellemzően a távoli ofszeteknél). A jelentős zajjal terhelt felvételeken túl a mérés során jellemzően (a szűrés után) teljes egészében kiértékelhető felvételek kerültek regisztrálásra, amelyeken az első beérkezések a teljes ofszet tartományon meghatározhatók voltak. Erre mutat jellemző példát a 50. ábra bemutatott felvétel.



49. ábra A Ref-12-es jelű vonal erőmű északi blokkjához közel készült felvételei

Kb. 50 m, (kép baloldala) és távolabb, kb. 450 m (kép jobb oldala) készült felvételeinek szűrés nélküli képe amplitúdókorrekció után.

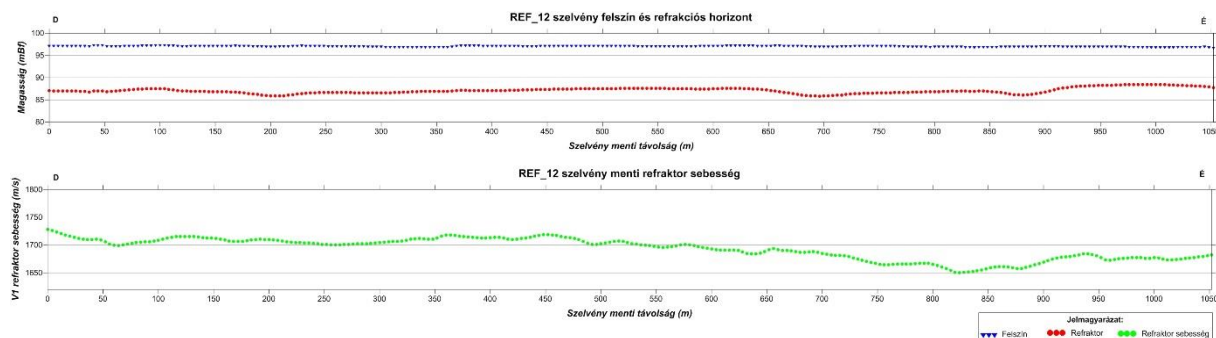


50. ábra A Ref-15 jelű vonal felvételei

Egy jellemzően kis zajjal terhelt szűretlen (kép bal oldala) és szűrt (kép jobb oldala) felvétele az első beérkezések kijelölésével (piros jelölés a jobb oldali ábrán).

A lazaréteg sebességének (V_0) meghatározását szintén nagymértékben nehezítette a zajjal terhelt környezet felvételekre gyakorolt hatása, a V_0 szelvények menti értéke sok esetben jelentős hibaszázalékkal volt terhelve. Ennek okán a (más módszerekből – pl. talajmechanikai fúrásokból – kapott értékek nélküli) feldolgozás során a V_0 értékének a konstans 400 m/s-os érték került meghatározásra.

A 51. ábra egy kiválasztott mintaszelvény (Ref-12) példáján kerül bemutatásra a feldolgozás és refrakciós kiértékelés eredményeként előállt szelvény mentén a refraktáló réteg mélységének, valamint a refraktor sebességének szelvény menti változása.



51. ábra Egy példaszelvényre (REF_12 vonal) vonatkozó refrakciós kiértékelés magasság és sebesség szelvényei

2.2.3 A geotechnikai fúrási pontokhoz kapcsolódó geofizikai mérések

A tervezett telephelyen mélyített, kettős – geotechnikai feltáró és hidrogeológiai monitoring – célú fúrásokban és az azokból kialakított kutakban a mélyfúrás-geofizikai és kútszerkezet vizsgálati méréseket a Geo-Log Kft. végezte. Itt kerülnek ismertetésre még a telephelyi crosshole fúrásokban elvégzett karotázs mérések is.

A vizsgálatok a következő dokumentum azonosítóval ellátott műveleti tervek alapján történtek:

- kútvizsgálat mélyfúrás-geofizika műveleti terv (PA2-15-GF-05)
- közepes fúrások (100-150 m) mélyfúrás-geofizikai műveleti terve (PA2-15-GF-08)

A mélyfúrás-geofizikai mérések célja fúrási, geofizikai, földtani, tektonikai, hidrogeológiai, geotechnikai információk szolgáltatása a társ szakterületek részére. A mélyfúrás-geofizika feladata az elkészült fúrásokban és kutakban, a megadott időpontban teljes körűen és szakszerűen elvégezni a kijelölt méréseket, a méréseket feldolgozni, magas színvonalon kiértékelni és az eredményeket a tervek és a társ szakterületek elvárásai szerinti formában dokumentálni és továbbítani.

A telephelyen belüli, geotechnikai-hidrogeológiai, valamint crosshole mérési célú fúrások fúrascsoportokban, különböző mélységgel (15 métertől 130 méterig) létesültek, de mindegyikből hidrogeológiai monitoring kút került kiépítésre. A 130 m-es fúrások kivételével a karotázs mérések a fúrási és kútkiképzési műveletek befejezése után, kútvizsgálati célból készültek. A fúrások helye és mélysége az egyes kutatási szakterületek előzetes tervei alapján lett meghatározva, a fúrások adatait és az elvégzett méréseket a 29. táblázattól a 34. táblázatig tartalmazzák.

A Geo-Log Kft. a kutak vizsgálatát 2015. július 10. és 2016. február 3. között végezte el. Egy nap – egy-két eset kivételével – 2-3 kút vizsgálatával lett kész. Több esetben előfordult, hogy a kútszerkezet ellenőrző mérésekre és a dinamikus vizsgálatokra két külön napon került sor. A mérés kezdetére a kutakból a Dataqua vízszintregisztrálók kiépítették, hogy a szondák akadálytalanul beemelhetők legyenek a kútba. A statikus mérések elvégzése után a dinamikus mérések következtek a szivattyús termelés mellett. A 15 m-es kutakban nem

készültek áramlásmérések, mivel a kutak kis talpmélysége és a mélyen lévő nyugalmi vízszint miatt a szivattyút csak a szűrőzött szakaszra lehetett volna beépíteni.

29. táblázat A telephelyen mélyült 130-150 m mély fúrások főbb adatai

Fúrás jele	Bemért X	Bemért Y	Bemért Z	Talpmélység (m)	Mérés dátuma*	Elvégzett mérésfajták
I-6-D	137919,56	635671,82	96,50	131,0	2015.09.16.	Alap+IND
II-2-D	137741,25	634916,29	97,16	131,0	2015.10.01.	Alap+IND
II-6-D	137747,62	635402,82	96,87	131,4	2015.08.28.	Alap+IND
III-6-D	137514,18	635240,05	97,33	131,0	2015.09.07-08.	Alap
IV-2-D	137201,34	634810,26	97,04	131,5	2015.11.23.	Alap
IV-6-D	137293,99	635194,27	97,22	130,0	2015.10.14.	Alap
V-6-D	137119,47	635179,11	97,04	130,0	2015.10.23.	Alap
CH-1B	137363,95	635113,93	97,12	154,0	2015.12.04., 12.08.	Alap+IND, INC,DIR,CBL
CH-2A	137646,11	635126,24	97,33	154,0	2015.09.29., 10.01.	Alap+IND, INC,DIR,CBL

* A második dátum a cementezés utáni cementpalást vizsgálat időpontja.

30. táblázat Az I. szelvény menti kutak főbb adatai

Kút neve	X	Y	Z	Talpmélység (m)	Mérés dátuma	Elvégzett mérésfajták
I-1-A	137 962,81	634 923,87	96,90	15,25	2015.07.20., 2015.07.24.	GR, DH, SZE
I-2-A	137 947,54	635 035,70	97,00	15,03	2015.07.24.	GR, TL, DIT, DH, SZE
I-2-B	137 950,41	635 035,51	97,03	25,00	2015.10.6., 2015.10.14.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
I-2-C	137 948,98	635 032,58	97,08	50,00	2015.11.3., 2015.11.5.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
I-3-A	137 906,64	635 245,99	97,15	15,00	2015.09.3.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
I-4-A	137 903,78	635 415,15	96,78	15,05	2015.07.24.	GR, TL, DIT, DH, SZE
I-4-B	137 906,98	635 415,22	96,83	25,35	2015.10.6., 2015.11.4.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
I-4-C	137 905,61	635 418,05	96,91	50,00	2015.11.4.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
I-5-A	137 910,56	635 542,90	96,75	15,50	2015.09.3.	GR, TL, DIT, DH, SZE
I-6-A	137 917,94	635 669,38	96,48	15,00	2015.07.24.	GR, TL, DIT, DH, SZE
I-6-B	137 917,53	635 674,16	96,56	25,10	2015.10.14.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
I-6-C	137 915,89	635 671,60	96,55	50,00	2015.11.4.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
I-6-D	137 919,56	635 671,82	96,50	100,00	2015.09.16., 2015.11.4.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
I-7-A	137 952,22	635 697,36	96,33	15,00	2015.09.15.	GR, TL, DIT, DH, SZE
I-8-A	138 078,03	635 880,41	96,54	15,00	2015.07.20.	GR, TL, DIT, DH, SZE
I-8-B	138 079,97	635 883,14	96,55	24,70	2015.10.6., 2015.10.14.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW

31. táblázat A II. szelvény menti kutak főbb adatai

Kút neve	X	Y	Z	Talpmélység (m)	Mérés dátuma	Elvégzett mérésfajták
II-1-A	137 713,26	634 709,99	96,33	15,00	2015.09.3.	GR, TL, DIT, DH, SZE
II-2-A	137 741,29	634 919,46	97,22	15,15	2015.07.30.	GR, TL, DIT, DH, SZE
II-2-B	137 738,20	634 919,57	97,21	25,40	2015.11.5.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
II-2-C	137 738,16	634 916,52	97,19	50,00	2015.11.5.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
II-2-D	137 741,25	634 916,29	97,16	95,00	2015.10.1., 2015.11.5., 2015.12.4	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
II-3-A	137 723,95	635 060,33	97,08	15,50	2015.09.3.	GR, TL, DIT, DH, SZE
II-4-A	137 773,28	635 195,03	97,05	15,20	2015.09.3.	GR, TL, DIT, DH, SZE
II-4-B	137 771,09	635 198,01	96,96	25,10	2015.07.29.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
II-4-C	137 769,64	635 194,80	96,96	50,20	2015.11.5.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
II-5-A	137 760,30	635 318,85	97,02	15,18	2015.07.13., 2015.07.24.	GR, TL, DIT, DH, SZE
II-6-A	137 746,94	635 405,87	96,86	15,12	2015.07.30.	GR, TL, DIT, DH, SZE
II-6-B	137 744,01	635 405,56	96,88	25,00	2015.11.30.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
II-6-C	137 744,80	635 402,32	96,89	50,00	2015.11.30.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
II-6-D	137 747,62	635 402,82	96,87	100,00	2015.08.28., 2015.10.1.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
II-7-A	137 738,12	635 490,15	96,82	15,18	2015.07.13., 2015.07.24.	GR, DH, SZE
II-8-A	137 736,60	635 543,58	96,78	15,12	2015.07.13.	GR, TL, DIT, DH, SZE
II-8-B	137 735,38	635 546,33	96,78	25,25	2015.07.13., 2015.07.29.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW

32. táblázat A III. szelvény menti kutak főbb adatai

Kút neve	X	Y	Z	Talpmélység (m)	Mérés dátuma	Elvégzett mérésfajták
III-1-A	137 487,58	634 639,11	97,06	15,00	2015.11.6., 2016.01.15.	GR, TL, DIT, DH, SZE
III-2-A	137 541,49	634 809,33	97,09	15,05	2015.08.7.	GR, TL, DIT, DH, SZE
III-2-B	137 538,45	634 809,34	97,05	25,25	2015.09.3., 2015.11.6.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
III-2-C	137 544,77	634 809,63	97,02	50,00	2015.11.6, 2015.12.4.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
III-3-A	137 507,13	634 919,86	97,01	15,35	2015.09.3.	GR, TL, DIT, DH, SZE
III-4-A	137 489,71	635 048,43	97,17	15,15	2015.08.7.	GR, TL, DIT, DH, SZE
III-4-B	137 497,41	635 048,14	97,18	25,02	2015.07.29.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
III-4-C	137	635	97,17	50,20	2015.11.6.	GR, TL, DIT, DH, SZE,

Kút neve	X	Y	Z	Talpmélység (m)	Mérés dátuma	Elvégzett mérésfajták
	493,39	048,36				FLW
III-5-A	137 490,12	635 170,90	96,88	15,43	2015.07.13., 2015.07.24.	GR, TL, DIT, DH, SZE
III-6-A	137 511,89	635 238,07	97,16	15,05	2015.08.7.	GR, TL, DIT, DH, SZE
III-6-B	137 511,28	635 241,10	97,18	25,00	2015.11.6., 2015.12.2-3.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
III-6-C	137 514,54	635 236,91	97,34	49,70	2015.11.6	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
III-6-D	137 514,18	635 240,05	97,33	100,00	2015.09.7- 8., 2015.09.8, 2015.11.6.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
III-7-A	137 494,38	635 309,90	97,14	15,36	2015.07.20.	GR, DH, SZE
III-8-A	137 502,00	635 416,68	96,98	15,20	2015.07.20.	GR, DH, SZE
III-8-B	137 503,26	635 419,54	96,73	25,50	2015.07.20., 2015.07.29.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW

33. táblázat A IV. szelvény menti kutak főbb adatai

Kút neve	X	Y	Z	Talpmélység (m)	Mérés dátuma	Elvégzett mérésfajták
IV-1-A	137 190,74	634 513,85	93,77	15,00	2015.12.4.	GR, TL, DIT, DH, SZE
IV-2-A	137 204,42	634 807,43	97,01	15,00	2016.01.15.	GR, TL, DIT, DH, SZE
IV-2-B	137 204,37	634 810,32	96,99	25,00	2016.01.15., 2016.02.3.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
IV-2-C	137 201,42	634 807,21	97,01	50,00	2016.01.15., 2016.02.3.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
IV-2-D	137 201,34	634 810,26	97,04	100,00	2015.11.23., 2016.01.15., 2016.02.3.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
IV-3-A	137 282,49	634 963,60	96,57	15,34	2015.07.13., 2015.07.24.	GR, TL, DIT, DH, SZE
IV-4-A	137 277,55	635 049,83	96,57	15,15	2015.07.29.	GR, TL, DIT, DH, SZE
IV-4-B	137 280,49	635 049,65	96,56	25,00	2015.07.29., 2015.70.30.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
IV-4-C	137 274,57	635 049,95	96,56	50,00	2015.12.4.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
IV-5-A	137 292,68	635 133,23	97,31	15,00	2015.07.10., 2015.07.24.	GR, TL, DIT, DH, SZE
IV-6-A	137 293,86	635 197,40	97,09	15,00	2015.09.10.	GR, TL, DIT, DH
IV-6-B	137 291,01	635 196,90	97,23	25,00	2015.12.1.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
IV-6-C	137 290,94	635 194,10	97,21	50,00	2015.12.1.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
IV-6-D	137 293,99	635 194,27	97,22	100,00	2015.10.15., 2015.12.1.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
IV-7-A	137 304,30	635 325,16	97,12	15,12	2015.07.13., 2015.07.24.	GR, DH, SZE
IV-8-A	137 304,89	635 379,33	96,88	15,23	2015.07.13.	GR, DH, SZE

Kút neve	X	Y	Z	Talpmélység (m)	Mérés dátuma	Elvégzett mérésfajták
IV-8-B	137 304,42	635 382,41	96,75	25,38	2015.07.29.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW

34. táblázat Az V. szelvény menti kutak főbb adatai

Kút neve	X	Y	Z	Talpmélység (m)	Mérés dátuma	Elvégzett mérésfajták
V-1-A	136 949,05	634 622,10	97,0 6	15,00	2016.01.15.	GR, TL, DIT, DH, SZE
V-1-B	136 951,60	634 620,63	97,0 8	25,00	2016.01.15., 2016.02.3.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
V-1-C	136 949,00	634 619,17	97,0 6	50,00	2016.01.15., 2016.02.3.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
V-3-A	136 989,28	634 805,60	97,1 4	15,00	2016.01.15.	GR, TL, DIT, DH, SZE
V-4-A	137 101,49	634 954,59	97,1 6	15,23	2015.08.7.	GR, TL, DIT, DH, SZE
V-4-B	137 103,86	634 952,74	97,1 3	25,00	2015.12.3.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
V-4-C	137 101,19	634 950,94	97,1 2	50,00	2015.12.3.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
V-5-A	137 098,49	635 072,79	97,2 0	15,60	2015.07.10., 2015.07.24.	GR, TL, DIT, DH, SZE
V-6-A	137 115,86	635 182,02	97,1 0	15,08	2015.08.7.	GR, TL, DIT, DH, SZE
V-6-B	137 119,02	635 182,13	97,1 7	25,55	2015.09.10., 2015.09.15.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
V-6-C	137 116,33	635 178,94	97,0 2	50,00	2015.12.2-3.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
V-6-D	137 119,47	635 179,11	97,0 4	100,00	2015.10.23., 2015.12.2-3.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW
V-7-A	137 092,07	635 242,37	97,1 2	15,53	2015.07.20.	GR, TL, DIT, DH, SZE
V-8-A	137 092,38	635 282,40	96,9 3	15,10	2015.07.20.	GR, TL, DIT, DH, SZE
V-8-B	137 092,53	635 285,33	96,9 1	25,30	2015.07.20., 2015.07.30.	GR, TL, DIT, DH, SZE, FLW

Számszerű adatok:

fúrások száma [db]	85
fúrások összhossza [fm]	3611,7
kivonulások száma [db]	132,0
alpmérések [fm]	1516,8
technikai mérés [fm]	2168,3
kKútvizsgálati mérések [fm]	2682,0

Minden fúrástípusban (azok céljától és mélységétől függően) különböző mérési összeállítások szerint végezték méréseket az alábbiak szerint.

Alpmérések:

- potenciál típusú ellenállás
- természetes potenciál
- mikroellenállás
- mágneses szuszceptibilitás

- lyukátmérő
- természetes gamma
- hőmérséklet
- akusztikus hullámkép
- neutronporozitás
- sűrűség

Az alpméréseket a telephelyen belüli fúrások közül a D és a CH jelűekben végezték el.

A telephelyen lemélyített 85 db geotechnikai célú fúrást a mélyfúrás-geofizikai munkák szempontjából végül két részre oszthatók. A 15 m, 25 m és 50 m talpmélységű (A, B, és C típusok) fúrásokban csak a belőlük kiképzett megfigyelőkutakban végeztek kútvizsgálati méréseket, ezért ezek a 2.5.4 fejezetben lesznek ismertetve. A D típusú 150 m talpmélységű kutak kivitelezése és mérési programja megegyezik a közepes mélységű PAET fúrásokban végzett Alap mérési összeállítással. A D fúrások teljesebb mérési programja lehetővé tette a szelvényeken alapuló rétegsor elkészítését is.

A mélyfúrás geofizikai mérések és a belőlük szerkesztett komplex szelvények segítették a földtani dokumentációt (elsősorban a 130 m-es fúrások esetében). A szelvényeken kijelölték a réteghatárokat, a magleírások felhasználásával geofizikai rétegsort értelmeztek minden fúrásra, valamint megadták a görbék alapján kijelölhető földtani egységek, korok határait.

Az egyes méréseket nem csak önmagában a harántolt rétegsor értékelésére lehetett felhasználni, hanem a természetes gamma, fajlagos ellenállás, sűrűség és az akusztikus közetsebesség szelvények felhasználásával – crosshole és néhány archív fúrást is bevonva – korrelációt készítettünk a telephelyi fúrások között, amit végül 3D modellé fejlesztettünk. A modell kimutatta a pannon rétegeknek a telephely délkeleti sarka felé fokozódó elvetettségét.

A közetsebesség és a sűrűség szelvények a telephelyen végzett P- és S-hullám szeizmikai és a crosshole vizsgálatokat is támogatta a közetek akusztikus impedanciájának és a várható intervallumsebességének közelítésével, illetve a kapott eredmények ellenőrző összehasonlításával (0. fejezet).

Kútvizsgálati mérések

Csőbelső átmérő, természetes gamma, hőmérséklet, szűrőhely-ellenőrzés (elektromos mérés, kamerázás vagy OBI), áramlás- és hőmérsékletmérés: kútvizsgálati méréseket kizárólag a telephelyen belüli fúrásokban végeztek. A kútvizsgálati mérésekről önálló jelentést készítettek, „A telephelyen belüli kútvizsgálati mérések dokumentálása és értékelése” címmel.

A mélyfúrás geofizikai mérések és a belőlük szerkesztett komplex szelvények segítették a földtani dokumentációt (elsősorban a 130 m-es fúrások esetében). A szelvényeken kijelölték a réteghatárokat, a magleírások felhasználásával geofizikai rétegsort értelmeztek minden fúrásra, valamint megadták a görbék alapján kijelölhető földtani egységek, korok határait.

A fúrásokban végzett ferdeségméréseknek több célja volt, egyrészt fúrástechnikai információ szerzése, másrészt a fúrásokban mért adatok pontos helyének meghatározása, végül a crosshole-mérések során a minél pontosabb sebességértékek meghatározásához elengedhetetlen a fúrások trajektóriájának ismerete. A telephelyen belül végzett kútvizsgálati

mérésekből számított paraméterek pedig a lokális hidrogeológiai kép megismeréséhez, modell alkotásához járultak hozzá.

A telephelyen belüli 100 m-es fúrások geofizikai mérései alapján korrelálták a kvarter–pannon rétegeket két keresztshelvény mentén, majd egyéb, archív fúrások adataival kiegészítve építettek egy 3D modellt a területre.

2.3 Geotechnika, talajmechanika

2.3.1 Geotechnikai vizsgálatok célja, módszerek, célkitűzések

A geotechnikai vizsgálatok célja, fontos szempontja volt a tervezett telephely új blokkjainak létesítéséhez és üzemeltetéséhez szükséges vizsgálati terület geotechnikai értékelése, a talajrétegek feltárása és a legfontosabb talajparaméterek megadása.

Ehhez első lépésben a területről rendelkezésre álló talajvizsgálati jelentések, geotechnikai információk valamint talajfeltárási és laborvizsgálati eredmények összegyűjtése készült el.

Ennek eredményeként a vizsgált területről egy előzetes földtani-geotechnikai jellemzést lehetett adni. Mivel a korábbi talajfeltárások és laboratóriumi vizsgálatok nagyobb részénél többnyire csak az azonosító jellemzőket határozták meg, és csak ritkán került sor a nyírószilárdsági és alakváltozási paraméterek vizsgálatára, így jelen kutatási programban ezeket a hiányzó adatokat is meg kellett határozni.

Második lépésben részletes helyszíni és laboratóriumi vizsgálatssorozat készült a tervezett telephely legfontosabb geotechnikai jellemzőinek bemutatása céljából, valamint annak eldöntésére, hogy a vizsgált terület geotechnikai szempontból alkalmas az új blokkok befogadására.

A vizsgálatok kiemelt célja volt, hogy a területre jellemző esetleges geotechnikai veszélyek, kockázatok megismerhetők legyenek, azokra megnyugtató válaszokat lehessen adni. Ehhez elkészült a terepi és laboratóriumi munkák eredményeinek részletes feldolgozása, értékelése, az adatok dokumentálása, megjelenítése illetve tárolása.

A részletes és alapos vizsgálatok eredményeként bemutatásra kerül a vizsgált területen található talajrétegek felépítése, azok térbeli változékonysága, az egyes rétegeket alkotó talajok jellemzői (összetétel, állapot, geotechnikai paraméterek), figyelembe véve a terület geológiai történetét, a rétegződés és a réteghatárok jellegzetességeit.

Fontos cél volt igazolni, hogy a geotechnikai adottságok mellett a létesítendő új erőműblokkok a hatályos jogszabályoknak, valamint a Nukleáris Biztonsági Szabályzat (NBSz) előírásainak eleget fognak tenni.

Harmadik lépésben értékelésre kerültek a talajviszonyok a szeizmikus hatás szempontjából is. Ennek megfelelően a szükséges geotechnikai vizsgálatok elkészültek a földrengésveszély megállapításához. Itt kell megjegyezni, hogy a geotechnikai valamint a geológiai és szeizmológiai vizsgálatok között szoros kapcsolat van. A geológiai szakterület megadja a geotechnikai vizsgálatokhoz a terület földtani, morfológiai, hidrogeológiai leírását. A szeizmológiai szakterület számára a geotechnikai vizsgálatok eredményei pedig bemeneti adatokat szolgáltatnak pl. a mértékadó földrengés szabadfelszíni jellemzőinek kiszámításához.

A vizsgálatok célja volt ezen kívül, hogy a geotechnikai szempontokon kívül a geológiai, hidrogeológiai valamint szeizmológia szakterület adatigényei is ki legyenek elégítve, a megadott adatok tegyék lehetővé azok egyéb szakterületeken való felhasználását.

2.3.2 A területről rendelkezésre álló információk összegyűjtése, összefoglalása, interpretálása

2.3.2.1 Geodéziai, térinformatikai adatok

A bővítési telephelyről jelen projekt keretében részletes geodéziai felmérés nem készült. Minden egyes telephelyi feltárás és helyszíni mérés esetén azonban elkészült a feltárási pont cm pontosságú visszamérése.

Rendelkezésre állt a geodéziai adatok feldolgozásához a vizsgált területről és közvetlen környezetéről készített, EOVS helyes, szintvonalas térkép dwg és pdf formátumban. A térképen minden jelenleg megtalálható épület, létesítmény, illetve burkolt felület is feltüntetésre került, ezen kívül a magassági adatokból szerkesztett szintvonalak is 25 cm-es lépcsőkben.

A bővítési terület korábbi állapotáról készített topográfiai térképek is rendelkezésre álltak. A térkép a tereprendezés elkészítése (a terület feltöltése) előtti magassági szinteket mutatja 1:10.000 léptékben. Ennek pontossága és részletessége elmarad a többi adathoz képest, ám a feltöltés vastagságának megállapításához részben felhasználható volt.

A jelenlegi rendezett terepszint az eredeti terepszint feltöltésével keletkezett, gyakorlatilag vízszintesnek mondható. A térképek és a fúrások visszamérése alapján megállapítható, hogy a rendezett terepszint a szűkebb területen belül 96,20-97,30 mBf közötti, tehát a maximális magasságkülönbség a területen kb. 1,0-1,1 m. Az átlagos terepszint a szintezések alapján 96,93 mBf. A szintezési adatok alapján minimális mértékű Ny-K-i irányú terepesés tapasztalható, értéke 0,14-0,21 % között változik.

2.3.2.2 Archív geotechnikai adatok feldolgozása

Az archív geotechnikai adatok elemzéséhez a rendelkezésre álló 122 db dokumentum adatai kerültek felhasználásra. Ezen dokumentumok többsége műfaji besorolásukat tekintve „szakvélemény”, „kutatási jelentés”, illetve „talajvizsgálati jelentés”. Terjedelmük összesen 7649 oldal. A feldolgozott dokumentumok 1967 és 2013 között magyar, angol vagy orosz nyelven készültek.

A dokumentumok első lépésben katalogizálásra kerültek, melynek során a bennük fellelhető, legfontosabbnak tartott mennyiségi és minőségi információkról egy összefoglaló táblázat készült. Az adatok közül – az alapadatokon kívül – a legfontosabb geotechnikai információk feldolgozása történt meg. Ezek a következők voltak:

- a talajmechanikai fúrások adatai: jellemzői, pontos koordináták és magasságok azonosíthatósága
- a statikus szondázások (CPT, CPTu) adatai: jellemzői, pontos koordináták és magasságok azonosíthatósága
- a dinamikus szondázások adatai: jellemzői, pontos koordináták és magasságok azonosíthatósága
- a laboratóriumi vizsgálatok adatai, típusai

Az archív dokumentációkban jellemzően helyi, PAV 97.15 koordináta rendszert használtak, melyek Egységes Országos Vetület (EOV) rendszerbe kerültek átkonvertálásra, így a régi és új feltérési adatok azonos rendszerben voltak kezelhetők a későbbiekben.

A nagyszámú feltérési adat kezelhető méretűvé csökkentése céljából a fúrások és szondázások közül kizárólag azok lettek kiválasztva további felhasználás céljára, amelyek elérték vagy meghaladták a 20 m-es mélységet. Ennél rövidebb fúrások a feldolgozásból kikerültek.

Összességében 179 darab fúrás és 22 darab szondázás adatai kerültek feldolgozásra, melyek közül összesen a vizsgált telephelyre vagy annak közvetlen környezetére 33 db talajmechanikai fúrás, 4 db SPT szonda és 6 db CPT szonda esett.

Az archív adatokat azonban csak korlátozottan lehetett felhasználni. Ennek egyik oka az volt, hogy a legtöbb szakvéleményben vagy jelentésben kevés olyan fúrás volt, mely a kavicsterasz felső rétegeit elérte volna, vagy esetleg az alá, a pannon rétegekbe nyúlt volna le. Ezeknek a sekély mélységű fúrásoknak az adatait kizárólag a feltöltés vastagságának meghatározásához lehetett felhasználni, de voltak olyan fúrások is, amelyek még a feltöltés készítése előtt mélyültek, így ezeket sem lehetett feldolgozni.

Másik fontos ok volt, hogy a feldolgozott fúrások esetén legtöbbször csak fúrászelvények vagy rétegsor-leírások álltak rendelkezésre, melyek zömében csak a feltárt talaj vagy talajok megnevezését tartalmazták, ezt is legtöbbször a korábbi MSZ szerinti nevezéktan alkalmazásával (pl. homokliszt megnevezés). Sok esetben nem lehetett a fúrás pontos koordinátáit sem meghatározni vagy csak nehézkesen lehetett közelítőleg a helyszínrajzokról leolvasni. Legtöbb jelentésben ráadásul nem voltak a laboratóriumi vizsgálati eredmények (vagy a jegyzőkönyvek nem kerültek csatolásra), így pl. a pleisztocén rétegek esetén nagyon ritkán lehetett csak utólag meghatározni az eolikus futóhomok és a dunai öntéshomok határát.

Végeredményben az archív adatok kizárólag az egyes jellemző rétegek vastagságának és szintfelületeinek pontosításához voltak alkalmasak. Bizonyos jelentések ezen kívül a jelen program során meghatározott talajdinamikai paraméterek verifikálásához volt felhasználható.

2.3.3 Kiindulási adatok, szabványok, előírások a geotechnikai feltérásokhoz és vizsgálatokhoz

Az atomerőművek geotechnikai tervezésére és létesítésére és engedélyeztetésére vonatkozóan számos hazai és nemzetközi szabályzatot, szabványt, előírást, irányelvet és rendeletet kellett figyelembe venni.

A mérnöki létesítmények geotechnikai tervezésekor az európai országokban az Eurocode 7: Geotechnikai tervezés (MSZ EN 1997 szabványsorozat) és az Eurocode 8: Tartószerkezetek tervezése földrengésre (MSZ EN 1998 szabványsorozat) előírásai a mértékadók, amely szabványok jelenleg már széles körben alkalmazottak az európai országokban, így Magyarországon is:

- MSZ EN 1997-1: Általános szabályok
- MSZ EN 1997-2: Geotechnikai vizsgálatok
- MSZ EN 1998-1: Általános szabályok, szeizmikus hatások és az épületekre vonatkozó szabályok
- MSZ EN 1998-5: Alapozások, megtámasztó szerkezetek és geotechnikai szempontok

Ezekon felül a speciális terepi és laboratóriumi vizsgálatokra vonatkozó magyar szabványsor figyelembe vételére volt szükség:

- MSZ EN ISO 22475-1: Geotechnikai vizsgálatok. A mintavétel módszerei és a talajvíz mérése. A megvalósítás műszaki alapelvei
- MSZ EN ISO 22476 szabványsorozat: Geotechnikai vizsgálatok. Terepi vizsgálatok
- MSZE CEN ISO/TS 17892 szabványsorozat: Geotechnikai vizsgálatok. Talajok laboratóriumi vizsgálata

2.3.4 Telephelyen belüli geotechnikai fúrások és szondázások

2.3.4.1 Helyszíni geotechnikai feltárások célja

A Földtani Kutatási Program során elvégzésre került geotechnikai-talajmechanikai célú helyszíni vizsgálatok legfontosabb célja a bővítési telephely geotechnikai és hidrogeológia viszonyainak feltárása, az új blokkok telepítési helyén várható talaj- és talajvízviszonyok feltárása, a geotechnikai kockázatok feltárása, valamint a számításokhoz szükséges talajparaméterek előállítása volt.

A vizsgálatok eredményei alapján a telephely geotechnikai adottságai részletesen elemezhetők, a geotechnikai kockázatok azonosíthatók voltak, a telephely geotechnikai alkalmassága végeredményben értékelhető volt.

A részletes helyszíni vizsgálatok eredményeként kerülhetett bemutatásra a leendő telephely területén található talajrétegződés felépítése, a rétegek térbeli változékonysága, az egyes rétegeket alkotó talajok statikus és dinamikus jellemzői, melyek számos kockázatelemzés bemenő paramétereit, illetve adatait szolgálják.

A telephely vizsgálata és értékelése során többek között az alábbi legfontosabb geotechnikai veszélyeket kellett felderíteni, kimutatni, illetve kizárni:

- lejtők instabilitása
- telephely felszínének beomlása, roskadása, süllyedése vagy megemelkedése
- talajfolyósodás

A fenti célok eléréséhez egy minden részletre kiterjedő helyszíni feltárási program került kidolgozásra. A program nem csak a bővítési telephelyre, hanem annak közvetlen környezetére is koncentrált, így biztosítva azt, hogy a feltárások és a vizsgálatok elkészülte után egy mindenre kiterjedő, részletes információhalmaz álljon rendelkezésre a terület altalajviszonyairól.

2.3.4.2 Helyszíni geotechnikai feltárások kiosztása, feltárási szelvények

A Földtani Kutatási Program során a vizsgált területen és annak közvetlen környezetében összesen 5 darab, K-Ny irányú feltárási szelvény került meghatározásra, melyek I.-II.-III.-IV.-V. jellel kerültek megjelölésre.

Szelvényenként 8 darab feltárási pont került kijelölésre, kivéve az V. szelvényt, ahol megközelíthetőségi és egyéb okok (közművek, burkolt felületek) miatt a feltárási pontok számát 7-re kellett csökkenteni.

Ezen kívül egyes pontok helye a feltárási pontokon belül néhány m-es mértékben módosult, ám ez problémát nem okozott.

A feltárási pontok egymástól való távolsága változó volt, 40-200 m között került meghatározásra, figyelembe véve a fúrások elvégezhetőségét, a területi viszonyokat valamint azt a követelményt, hogy a fúrások (mint későbbi talajvízszint-érzékelő kutak) ne essenek leendő épület vagy létesítmény helyére.

A feltárási szelvények és a szelvényekben kijelölt feltárási pontok végleges helyét az 52. ábra mutatja.



52. ábra: Feltárási szelvények és pontok a bővítési területen és annak környezetében

A tervezett telephelyet a piros poligon jelöli.

2.3.4.3 Geotechnikai magfúrások

A telephelyi geotechnikai feltárások legfontosabb elemei a telephely és közvetlen környezetének területét közel egyenletes mértékben lefedő magfúrások voltak. Elsődleges céljuk a telephely geotechnikai és hidrogeológia viszonyainak feltárása, a régi és leendő blokkok telepítési helyén várható talaj- és talajvízviszonyok feltárása, a geotechnikai kockázatok feltárása, a számításokhoz szükséges talajparaméterek előállítása volt.

A magfúrások a feltérési szelvényekben kijelölt „A”, „B”, „C” és „D” jelű pontokon, változó mélységgel készültek. Az egyes feltérési pontokon belül 1, 2, 3 vagy 4 darab fúrás készült, melyek mindegyike – a hidrogeológiai szakterület tervei alapján – talajvízszint-észlelő kútként került állandósításra.

Az egyes feltérési pontokon belül 1, 2, 3 vagy 4 darab fúrás készült, ezek közül egy darab mélyült magfúrásként, a többi teljes szelvényvel, talajvízszint-észlelő kútként állandósítva.

Az egyes pontokban összefoglalóan az alábbi feltérások készültek el:

- „A” jelű pontokban
 - 15 m hosszú magfúrás folyamatos magmintavétellel
- „B” jelű pontokban
 - 25 m hosszú magfúrás folyamatos magmintavétellel
 - 15 m hosszú fúrás teljes szelvényvel
- „C” jelű pontokban
 - 50 m hosszú magfúrás folyamatos magmintavétellel
 - 25 m hosszú fúrás teljes szelvényvel
 - 15 m hosszú fúrás teljes szelvényvel
- „D” jelű pontokban
 - 130 m hosszú magfúrás folyamatos magmintavétellel
 - 50 m hosszú fúrás teljes szelvényvel
 - 25 m hosszú fúrás teljes szelvényvel
 - 15 m hosszú fúrás teljes szelvényvel

A magfúrásokat a pleisztocén rétegekben kétféle technológiával készítették:

- a talajvíz szintjéig száraz rotari technológiával, duplafalú magmintavevő cső alkalmazásával
- talajvíz alatt szakaszos magfúrás készült folyamatos béléscső vagy üreges spirálfúró (HSA 169/257) süllyesztéssel, „ütögetéses” mintavétellel

A pannon rétegekben öblítéses Geobor magfúrás készült S átmérővel (146/102 mm).

Az elkészült magfúrások legfontosabb adatait a 35. táblázat összesíti. A táblázatban kizárólag a magfúrások adatai szerepelnek, a kútépítésekhez készült teljes szelvényű fúrások ebben az összesítésben nem szerepelnek.

Összefoglalóan végül 39 darab geotechnikai célú magfúrás készült el, ebből

- 19 darab 15 m hosszú
- 5 darab 25 m hosszú
- 8 darab 50 m hosszú
- 7 darab 130 m hosszú

A feltárások helyét tartalmazó helyszínrajz az 13. mellékletben került csatolásra. Az egyszerűbb kezelhetőség kedvéért a csatolt helyszínrajzon az összes típusú feltárás szerepel, így egy áttekintő térképen látható minden típusú feltárás és mérés helye. Az egyes feltárási pontokon szövegesen is feltüntetésre került az adott pontban végzett helyszíni mérés vagy vizsgálat típusa is.

A helyszínrajzon feltüntetésre került továbbá a megszerkesztett rétegszelvények helye is (I.-V. szelvények Ny-K irányban valamint az „A-F” jelű, É-D irányú szelvények).

35. táblázat: Magfúrások legfontosabb adatai

Fúrás jele	Terv. mélység (m)	Tényleg. mélység (m)	Spirál és öbl. techn. határa (m)	Fúrás dátuma	EOV Y	EOV X	Magasság (mBf.)
I-1-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.07.08	634 923,87	137 962,81	96,90
I-2-C	50,00	50,10	24,6	2015.07.28-2015.08.01.	635 032,58	137 948,98	97,08
I-3-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.08.16-2015.08.17.	635 245,99	137 906,64	97,15
I-4-C	50,00	50,00	26,9	2015.08.01-2015.08.05.	635 418,05	137 905,61	96,91
I-5-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.08.10-2015.08.11.	635 542,90	137 910,56	96,75
I-6-D	130,00	130,00	27,7	2015.09.08-2015.09.16.	635 671,82	137 919,56	96,50
I-7-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.08.12-2015.08.13.	635 697,36	137 952,22	96,33
I-8-B	25,00	25,00	végig spirál	2015.09.26-2015.09.28.	635 883,14	138 079,97	96,55
II-1-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.08.14-2015.08.15.	634 709,99	137 713,26	96,33
II-2-D	130,00	131,50	27,6	2015.09.13-2015.10.01.	634 916,29	137 741,25	97,16
II-3-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.08.17	635 060,33	137 723,95	97,08
II-4-C	50,00	50,30	25,0	2015.07.13-2015.07.21.	635 194,80	137 769,64	96,96
II-5-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.07.03-2015.07.04.	635 318,85	137 760,30	97,02
II-6-D	130,00	131,45	26,2	2015.08.03-2015.08.28.	635 402,82	137 747,62	96,87
II-7-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.06.24	635 490,15	137 738,12	96,82
II-8-B	25,00	25,00	végig spirál	2015.07.02-2015.07.03.	635 546,33	137 735,38	96,78
III-1-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.11.19	634 639,11	137 487,58	97,06
III-2-C	50,00	50,05	22,0	2015.07.20-2015.07.30.	634 809,63	137 544,77	97,02
III-3-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.08.18	634 919,86	137 507,13	97,01
III-4-C	50,00	50,15	26,1	2015.07.17-2015.07.23.	635 048,36	137 493,39	97,17
III-5-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.07.05	635 170,90	137 490,12	96,88

Fúrás jele	Terv. mélység (m)	Ténysl. mélység (m)	Spirál és öbl. techn. határa (m)	Fúrás dátuma	EOV Y	EOV X	Magasság (mBf.)
III-6-D	130,00	131,50	28,5	2015.08.27-2015.09.07.	635 240,05	137 514,18	97,33
III-7-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.07.06-2015.07.07.	635 309,90	137 494,38	97,14
III-8-B	25,00	25,00	végig spirál	2015.07.08-2015.07.13.	635 419,54	137 503,26	96,73
IV-1-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.10.23	634 513,85	137 190,74	93,77
IV-2-D	130,00	130,00	25,8	2015.11.18-2015.11.23.	634 810,26	137 201,34	97,04
IV-3-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.06.20-2015.06.21.	634 963,96	137 282,49	96,57
IV-4-C	50,00	50,45	26,5	2015.07.15-2015.07.18.	635 049,95	137 274,57	96,56
IV-5-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.06.30-2015.07.01.	635 133,23	137 292,68	97,31
IV-6-D	130,00	130,10	28,0	2015.10.08-2015.10.14	635 194,27	137 293,99	97,22
IV-7-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.06.22-2015.06.23.	635 325,16	137 304,30	97,12
IV-8-B	25,00	25,00	végig spirál	2015.06.30-2015.07.01.	635 382,41	137 304,42	96,75
V-1-C	50,00	50,50	27,1	2015.11.17-2015.11.20.	634 622,10	136 949,05	97,06
V-2-A	15,00	nem készült el					
V-3-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.12.08	634 805,60	136 989,28	97,14
V-4-C	50,00	50,50	26,5	2015.10.27-2015.11.04.	634 950,94	137 101,19	97,12
V-5-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.06.19-2015.06.20.	635 072,79	137 098,49	97,20
V-6-D	130,00	130,00	27,0	2015.10.19-2015.10.22.	635 179,11	137 119,47	97,04
V-7-A	15,00	15,00	végig spirál	2015.07.01-2015.07.02.	635 242,37	137 092,07	97,12
V-8-B	25,00	25,00	végig spirál	2015.07.06-2015.07.07.	635 285,33	137 092,53	96,91

Összefoglalóan kijelenthető, hogy a fúrások három eltérő technológiával mélyülő szakasza (talajvíz feletti pleisztocén, talajvíz alatti pleisztocén, pannon) esetén alkalmazott fúrás- és furatmegtámasztási technológiák egyértelműen alkalmasak voltak a szükséges magminták vételéhez.

Az elvárt magkihozatal mind a pleisztocén, mind pedig a pannon rétegekből a fenti technológiák által elérhető volt. A magminták minősége a talajvíz feletti szemcsés pleisztocén rétegekben megfelelő volt, ám – ahogy előzetesen várható volt – a víz alatti szemcsés rétegekből nem sikerült megfelelő minőségű magmintát venni, így ezeket a mintákat a mintavétel és a feldolgozás során sem lehetett ténylegesen zavartalan mintáknak tekinteni.

A pannon rétegekből vett magminták minősége megfelelő volt, „A” kategóriájú, 1. osztályúnak volt minősíthető.

2.3.4.4 CPTu szondázások

Mindegyik feltérési pontban készült CPTu szondázás a magfúrások mellett, attól maximum 3-4 m-es távolságra. A szondázások során disszipációs mérések is készültek.

A szondázások 200 kN teherbírású, teherautóra épített szondázó berendezéssel történtek.

A CPTu szondázások tervezett hossza minden ponton 40 m volt. Ezt azonban nem minden esetben lehetett elérni a tömör kavics rétegek miatt.

A szondázások legfontosabb adatait a 36. táblázat mutatja.

A feltérési pontokban elvégzett szondázásokon kívül készült még mérés a crosshole furatok mellett szeizmológiai vizsgálatok céljából. A CH-1 és CH-2 jelű szondázás hossza 36,00 m illetve 33,40 m volt. Ezek közül a CH-2 jelűben disszipációs mérések is készültek.

A szondázások helye a feltérési helyszínrajzon (13. melléklet) bejelölésre került.

Összesen 39 pontban készült CPTu szondázás, ebből 8 pontban újramérés is történt. Az újramérés esetén minden esetben a két mérés közül a hosszabb eredményei kerültek feldolgozásra.

A szondázások összhossza 1338 fm, minimális hossza 23,0 m, maximális hossza 40,2 m volt. Az átlagos szondázási hossz 34,3 m volt.

36. táblázat: CPTu szondázások legfontosabb adatai

CPT jele	Tervezett mélység (m)	Tényleges mélység (m)	Szondázás dátuma	Újra szondázás dátuma	Újra szondázás mélysége (m)	Elért maximális mélység (m)	EOV Y	EOV X	Magasság (mBf.)
CPTu_I-1	40	37,0	2015.06.26	-	-	37,0	634925,43	137960,73	96,83
CPTu_I-2	40	34,0	2015.07.22	-	-	34,0	635035,34	137953,92	96,98
CPTu_I-3	40	25,0	2015.06.29	2015.07.29	39,0	39,0	635243,96	137907,15	97,19
CPTu_I-4	40	39,0	2015.07.20	-	-	39,0	635415,64	137907,90	96,81
CPTu_I-5	40	37,0	2015.06.29	-	-	37,0	635540,58	137910,29	96,81
CPTu_I-6	40	40,1	2015.07.23	-	-	40,1	635672,68	137918,76	96,41
CPTu_I-7	40	39,6	2015.08.18	-	-	39,6	635694,41	137952,75	96,41
CPTu_I-8	40	34,5	2015.07.13	-	-	34,5	635880,51	138078,02	96,61
CPTu_II-1	40	36,0	2015.07.21	-	-	36,0	634711,91	137716,52	96,17
CPTu_II-2	40	34,3	2015.07.17	-	-	34,3	634919,50	137741,27	97,19
CPTu_II-3	40	24,6	2015.07.16	2015.07.29	24,7	24,7	635060,38	137721,47	96,99

CPT jele	Tervezett mélység (m)	Tényleges mélység (m)	Szon-dázás dátuma	Újra szon-dázás dátuma	Újra szon-dázás mélysége (m)	Elért maximális mélység (m)	EOV Y	EOV X	Magasság (mBf.)
CPTu_II-4	40	36,5	2015.07.10	-	-	36,5	635198,15	137771,39	96,98
CPTu_II-5	40	25,0	2015.07.14	2015.07.30	38,3	38,3	635316,11	137760,04	96,97
CPTu_II-6	40	39,3	2015.07.14	-	-	39,3	635405,99	137746,92	96,87
CPTu_II-7	40	36,2	2015.07.01	-	-	36,2	635490,19	137738,16	96,87
CPTu_II-8	40	40,2	2015.07.16	-	-	40,2	635548,75	137733,32	96,73
CPTu_III-1	40	23,0	2015.11.18	-	-	23,0	634639,19	137489,10	97,05
CPTu_III-2	40	36,6	2015.07.21	-	-	36,6	634809,39	137541,50	96,96
CPTu_III-3	40	35,2	2015.07.08	-	-	35,2	634919,74	137503,99	97,00
CPTu_III-4	40	38,7	2015.07.15	-	-	38,7	635048,41	137494,66	97,27
CPTu_III-5	40	37,4	2015.07.28	-	-	37,4	635170,62	137486,26	96,88
CPTu_III-6	40	40,2	2015.07.15	-	-	40,2	635236,37	137512,55	97,07
CPTu_III-7	40	26,0	2015.07.20	2015.07.30	25,8	26,0	635307,33	137494,73	97,05
CPTu_III-8	40	26,4	2015.07.20	2015.08.14	26,2	26,4	635415,62	137498,64	96,94
CPTu_IV-1	40	34,2	2015.08.14	-	-	34,2	634515,63	137191,20	93,71
CPTu_IV-2	40	24,6	2015.11.16	-	-	24,6	634810,39	137205,32	97,02
CPTu_IV-3	40	35,2	2015.06.30	-	-	35,2	634963,63	137279,98	96,60
CPTu_IV-4	40	22,8	2015.07.03	2015.08.03	24,6	24,6	635049,03	137284,01	96,56
CPTu_IV-5	40	36,2	2015.07.08	-	-	36,2	635130,33	137293,12	97,33
CPTu_IV-6	40	40,1	2015.07.13	-	-	40,1	635199,71	137294,71	97,06
CPTu_IV-7	40	40,1	2015.06.30	-	-	40,1	635322,28	137304,29	97,19
CPTu_IV-8	40	30,4	2015.07.09	-	-	30,4	635382,15	137300,71	96,77
CPTu_V-1	40	25,8	2015.11.12	-	-	25,8	634618,87	136951,24	97,00
CPTu_V-2	40	nem készült el							
CPTu_V-3	40	25,4	2015.11.13	-	-	25,4	634805,31	136989,87	97,16
CPTu_V-4	40	35,0	2015.07.09	-	-	35,0	634954,46	137101,73	97,08
CPTu_V-5	40	26,9	2015.06.30	2015.07.31	25,9	26,9	635072,90	137101,63	97,25

CPT jele	Tervezett mélység (m)	Tényleges mélység (m)	Szondázás dátuma	Újra szondázás dátuma	Újra szondázás mélysége (m)	Elért maximális mélység (m)	EOV Y	EOV X	Magasság (mBf.)
CPTu_V-6	40	39,6	2015.07.02	-	-	39,6	635182,04	137115,81	97,06
CPTu_V-7	40	28,8	2015.06.30	2015.07.31	32,0	32,0	635242,48	137093,94	97,28
CPTu_V-8	40	39,0	2015.07.02	-	-	39,0	635282,46	137092,65	96,85

Végeredményben a CPTu szondázások a tervezett helyeken elkészültek. A 40 m-es tervezett mélységet 5 ponton lehetett csak elérni, a többi ponton ennél rövidebb szondázást lehetett csak készíteni a szondacsúcs elakadása miatt.

2.3.4.5 Disszipáció mérések

A CPTu szondázások során mindegyik mérési pontban disszipáció mérések történtek. A mérések a szondázásokban eredetileg 15-20-25-30-35-40 m-es mélységekben történtek volna, ám a talajkörnyezet miatt több esetben a terv szerinti mélységek nem voltak elérhetőek,

A III-1 és IV-4 pontokban végzett szondázások során csak két mélységben (~15 m és ~20 m) lehetett mérni, a III-1 pontban ezen kívül 9,99 m-es mélységben is sikerült egy mérést készíteni. Maximum 25 m-es mélységben összesen 7 esetben sikerült mérni (II-3, III-7, III-8, IV-2, V-1, V-3 és V-5 pontok). Egy esetben sikerült a mérés 40 m-es mélységben is (IV-7 pont).

A mérések legfontosabb adatait a 37. táblázat mutatja.

A disszipációs vizsgálat a pórúsvíznyomás-mérő fejjel ellátott nyomószondázás (CPTu) közben történik. A CPTu vizsgálat során állandó behatolási sebességgel lenyomott, kúpos szondacsúcs a kívánt mélységben megállításra kerül, miközben folyamatosan kerül regisztrálásra a pórúsvíznyomás (u) értéke az eltelt idő (t) függvényében.

A mérés során a t_{50} időtartam kerül meghatározásra, melyből ezt követően a konszolidációs paraméterek és a vízáteresztő-képességi együttható is meghatározható.

37. táblázat: Disszipációs mérések legfontosabb adatai

CPT jele	Disszip. mérés mélysége (m) 1.	Disszip. mérés mélysége (m) 2.	Disszip. mérés mélysége (m) 3.	Disszip. mérés mélysége (m) 4.	Disszip. mérés mélysége (m) 5.	Megjegyzés	CPTu szondázás hossza (m)
CPTu_I-1	14,99	20,00	24,99	25,84			37,00
CPTu_I-2	15,00	19,98	24,94	33,78			34,00
CPTu_I-3	15,00	19,99	25,94	34,84		újrapróbált helyen	39,00
CPTu_I-4	14,97	19,93	24,88	34,66			39,00
CPTu_I-5	15,00	19,98	24,93	34,71			37,00
CPTu_I-6	15,00	19,97	24,95	34,87			40,10

CPTu jele	Disszip. mérés mélysége (m) 1.	Disszip. mérés mélysége (m) 2.	Disszip. mérés mélysége (m) 3.	Disszip. mérés mélysége (m) 4.	Disszip. mérés mélysége (m) 5.	Megjegyzés	CPTu szondázás hossza (m)
CPTu_I-7	14,98	19,96	24,93	34,83			39,60
CPTu-I-8	14,99	19,96	24,91	34,21			34,50
CPTu_II-1	14,98	19,99 (20,10)	24,96	34,61			36,00
CPTu_II-2	15,00	20,00	24,99	34,30			34,30
CPTu_II-3	14,96	19,91	24,48				24,70
CPTu_II-4	15,00	19,99	24,99	34,87			36,50
CPTu_II-5	14,98	19,95	24,86	34,85			38,30
CPTu_II-6	14,99	19,98	24,95	34,83			39,30
CPTu_II-7	15,00	20,21	24,97	34,75			36,20
CPTu_II-8	14,98	19,93	24,83	34,30			40,20
CPTu_III-1	14,99	19,98				9,99 m is készült	23,00
CPTu_III-2	15,00	20,07	24,98	34,85			36,60
CPTu_III-3	15,00	19,99	24,96	34,79			35,20
CPTu_III-4	14,98	19,95	24,91	34,61			38,70
CPTu_III-5	14,98	19,97	24,93	34,73		mérések m-ként 10,00-36,68 m-ig	37,40
CPTu_III-6	14,99	19,97	24,92	34,58			40,20
CPTu_III-7	14,99	19,98	24,97				26,00
CPTu_III-8	15,00	20,02	24,97				26,40
CPTu_IV-1	14,99	19,97	24,94	33,89			34,20
CPTu_IV-2	14,99	20,00	24,44			10,00 m is készült	24,60
CPTu_IV-3	14,99	20,02	24,87	34,27			35,20
CPTu_IV-4	14,97	19,96					24,60
CPTu_IV-5	14,96	19,90	24,77	34,20			36,20
CPTu_IV-6	14,98	19,97	24,92	34,57			40,10
CPTu_IV-7	14,99	19,99	24,97	34,98	40,08		40,10
CPTu_IV-8	14,99	19,93	24,85	30,07			30,40
CPTu_V-1	14,92	19,80	24,60			9,98 m is készült	25,80
CPTu_V-2	nem készült						
CPTu_V-3	14,97	20,01	24,94			10,00 és 10,98 m is készült	25,40
CPTu_V-4	14,95	19,86	24,63	33,07			35,00
CPTu_V-5	14,93	19,91	24,90				26,90
CPTu_V-6	14,96	19,92	24,85	34,57			39,60
CPTu_V-7	14,98	19,96	24,92	31,89		újrapróbált helyen	32,00

CPT jele	Disszip. mérés mélysége (m) 1.	Disszip. mérés mélysége (m) 2.	Disszip. mérés mélysége (m) 3.	Disszip. mérés mélysége (m) 4.	Disszip. mérés mélysége (m) 5.	Megjegyzés	CPTu szondázás hossza (m)
CPTu_V-8	15,00	19,99	24,98	34,82			39,00
CH-2	15,00	20,03	24,99	29,98		crosshole furat mellett, 10,00 m is készült	36,00

A disszipációs mérések során minden esetben az a tendencia volt tapasztalható, hogy a szondacsúcs megállítást követően a pórusvíznyomás növekedett. Azaz a hagyományosan a geotechnikai paraméterek számításához használt, a többlet-pórusvíznyomás 50 % disszipációjához tartozó t_{50} időtartam nem volt meghatározható a hagyományos módon.

Az eredmények értékeléshez szükséges volt tehát annak vizsgálata, hogy mi okozhatta a mérések során tapasztalt pórusvíznyomás-növekedést.

A pórusvíznyomás növekedés egyik lehetséges oka az előterhelt talajok dilatációja. Tömör talajokban a szondabenyomódás okozta talajtörés a környező talaj térfogat-növekedését (dilatációját) okozza. Talajvízszint alatt, telített talajban ez csak úgy alakulhat ki, ha az expandáló talaj hézagaiba víz áramlik, azaz a kezdeti időpillanatban a talajban a víznyomás lecsökken, majd a térfogat-növekedéssel egyidejűleg visszaáll a hidrosztatikus víznyomás szintjére. Ilyen esetekben a vizsgálat kezdetén a többlet-pórusvíznyomás időben növekszik, majd a vizsgálat végén ismét csökkenő tendenciát mutat, mert a dilatáló zóna térfogat-növekedése gyorsabban játszódik le, mint a disszipáció a tágabb talajkörnyezetben. A mostani vizsgálatoknál ezzel a folyamattal ellentétben a pórusvíznyomás folyamatos növekedését mérték, azaz a tapasztalt tendenciát vélhetően nem a talaj dilatációja okozta.

Egy másik lehetséges magyarázat a szondacsúcs mögötti szűrőelem telítetlensége. A CPTu szondázásoknál gyakori probléma, hogy a vizsgálat kezdetén telített szűrőelem – amely a pórusvíznyomást a szonda nyomásmérőjéhez közvetíti – nagyobb vastagságú telítetlen talajon áthaladva telítetlenné válik. Bár a vizsgálatokhoz glicerines telítő-folyadékot használtak, de tekintettel a nagy vastagságú talajvíz feletti rétegekre elképzelhető, hogy a szűrőelem mégis telítetlenné vált. Ez esetben az elem csak késleltetve közvetíti a pórusvíznyomást a nyomásmérőhöz, és a benyomódás során a szonda a valós pórusvíznyomásnál alacsonyabb értéket rögzít. A talajvízszint alatt a szondát megállítva a szűrőelem idővel ismét telítődik és a mért víznyomás beáll a környező pórusvíznyomás szintjére. Ez a folyamat a tapasztalathoz hasonló folyamatosan növekvő víznyomás ábrát eredményez. Valószínűsíthetően ez történt a mostani disszipációs mérések során is. Ilyen talajkörülményeknél a megfelelő disszipációs vizsgálat a száraz talajrétegek előfűrésével érhető el.

Végeredményben kijelenthető, hogy teljesült az a minimális igény, hogy legalább 15 – 20 – 25 m mélységekben készüljön disszipáció mérés. Ebben a mélységben (két kivétellel) mindegyik szondázásban elkészült a mérés. Természetesen a legalsó mérések szintje mindig igazodott a szondázások mélységéhez, így azokban a szondázásokban, ahol 30 m-t vagy azt meghaladó talpmélységet sikerült elérni, ott elkészült 25 m, 30 m illetve 35 m körüli mélységben a mérés. Egy esetben sikerült 40 m-es mélységben is mérni.

A mérési eredményeket azonban a fentiek alapján feldolgozni nem lehetett, a talaj vízáteresztő-képességének, illetve konszolidációs együtthatójának számításához szükséges t_{50} időtartam meghatározása nem volt lehetséges.

2.3.4.6 Szeizmikus CPT szondázások (SCPT)

Összesen 7 pontban készült szeizmikus fejjel ellátott SCPT szondázás szeizmológiai vizsgálatok céljából. Ezek a leghosszabb, 130 m hosszú magfúrások feltárási pontjaiban lettek kijelölve, a magfúrások és a CPTu szondázások közvetlen közelében. Készült továbbá SCPT szondázás mindkét crosshole furat mellett is.

Az SCPT szondázások legfontosabb adatait a 38. táblázat mutatja.

38. táblázat: Szeizmikus CPT (SCPT) vizsgálatok legfontosabb adatai

SCPT jele	Tervezett mélység	Tényleges mélység	Szondázás dátuma	EOV Y	EOV X	Magasság (mBf)
SCPTu_I-6	40	25,0	2015.08.18	635676,33	137920,90	96,51
SCPTu_II-2	40	34,3	2015.08.24	634919,55	137738,18	97,19
SCPTu_II-6	40	37,3	2015.08.19	635403,25	137745,68	96,83
SCPTu_III-6	40	36,6	2015.08.25	635236,48	137513,12	97,17
SCPTu_IV-2	40	24,6	2015.11.16	634808,01	137207,18	97,01
SCPTu_IV-6	40	25,8	2015.08.31	635197,73	137290,31	97,15
SCPTu_V-6	40	26,3	2015.08.26	635179,17	137115,99	97,00
SCPTu_CH-1b	40	23,9	2015.09.01	635113,94	137369,95	97,05
SCPTu_CH-2b	40	32,2	2015.08.31	635129,15	137651,99	97,30

Az SCPT szondázások tervezett hossza minden ponton 40 m volt. Ez azonban a talajkörnyezet miatt nem volt elérhető, így a szondázások végül 23,9-37,3 m közötti hosszal készültek el.

Összesen 266 fm hosszban készült SCPT szondázás a crosshole furatok mellett végzett mérésekkel együtt.

A szeizmikus CPT (SCPT) szondázás a CPTu szondázás berendezéseivel készült, melyhez képest három kiegészítő eszköz került alkalmazásra:

- hullámforrás (jellemzően acél tartó, illetve kalapács)
- szeizmikus hullámokat érzékelő egység a speciális szeizmikus szondafejben
- szeizmográf

A mérés a CPTu mérésnél leirtaknak megfelelően zajlott, azzal a különbséggel, hogy a szondacsúcsot kb. 2 m-ként megállították, majd egy kalapáccsal az acél tartón hullámot generáltak, mely közvetlenül átadódott az altalajra. A hullám a talajban a rétegre jellemző sebességgel továbbterjedt. A szondafejen található geofon azonos időközönként rögzítette a beérkező jeleket, mely alapján a hullám terjedési ideje megkapható volt. A különböző rétegekben mért hullámterjedési idők függvényében kiszámítható volt az egyes talajrétegekre jellemző hullámterjedési sebesség.

A mérés során nem csak a szeizmikus paraméterek, hanem a normál CPTu mérés adatai (csúcshellenállás, köpenysúrlódás és pórúsvíznyomás) is rögzítésre kerültek, így az SCPT szondázás ezen eredményei is felhasználhatók voltak.

A szeizmikus mérések részletes értékelését a szeizmológiai szakterületi jelentés tartalmazza.

A tervezett összesen 9 db pontban a mérések megfelelően elkészültek. Az SCPT mérések mélysége az eredetileg tervezet 40 m-től jelentősen elmaradt, ennek oka a tömör kavicsos öszszlet, másrészt a hagyományos CPTu fejnél sokkal érzékenyebb (és jelentősen drágább) szondafej, melynek károsodása hamarabb bekövetkezhet. A tervezetthez képest így 94 fm-rel kevesebb mérés készült.

2.3.4.7 SPT szondázások

Az SPT szondázás a világon igen elterjed in-situ vizsgálati módszer, mely segítségével számtalan közvetett talajparaméter határozható meg, valamint egyéb empirikus számítások (pl. síkalapozás tervezése, stb.) végezhető el. Jelen vizsgálati program során elsősorban a talajfolyósodás veszélyének értékelése céljából készült SPT szondázás.

A vizsgálat lényege, hogy a mintavevő beveréséhez egy 63,5 kg tömegű verőkost 760 mm magasságból ejtenek az üllőre vagy verőfejre, egyenletes frekvenciával. A mintavevő henger vagy zárt végű fej ezáltal kerül beverésre összesen 450 mm hosszban. A vizsgálat eredménye a 150 mm behatoláshoz szükséges ütőszám, amely helyszíni mérési jegyzőkönyvben került rögzítésre kézi adatgyűjtéssel. Az első 150 mm behatoláshoz szükséges ütőszámot figyelmen kívül hagyva a $2 \times 150 = 300$ mm-es alsó szakaszhoz tartozó ütőszám jelenti a behatolási „ellenállást” (N érték).

Az SPT(C) vizsgálat során a zárt szondacsúcs szintén szabványos ütőmunkával kerül leverésre, így az N érték 15 cm-ként kerül mérésre.

Eredetileg szelvényenként 4 mérési pontban (2, 4, 6 és 8. jelű pontok) készültek volna SPT vizsgálatok 1,5 m-ként összesen 40 m-es mélységig. A mérések a 25 m-es (8. pontok), illetve 50 m-es és 130 m-es (2., 4. és 6. pontok) magfúrásokban készültek volna. Az eredeti tervek szerint az 50 m illetve 130 m hosszú fúrásokban 27 darab mérés készült volna 40 m-es mélységig, míg a 25 m hosszú magfúrásban 17 darab mérés készült volna értelemszerűen a 25 m-es talpmélységig.

Az SPT vizsgálat azonban – jellegéből adódóan – megszakította volna a folyamatos magmintavételt, ami nem volt megengedhető, különösen a kevés számú 130 m-es magfúrás esetén hiányoztak volna az SPT vizsgálat miatt kimaradó magminták. Emiatt végül zárt végű SPT szondázás készült, melyet szabvány SPT(C) vizsgálatként említ. Lényege, hogy a szabványos SPT vizsgálat paraméterei (ütőszám, verőkos tömege, stb.) mellett nem egy üreges cső kerül leverésre a talajba, hanem egy zárt végű kúpos fej. Tehát egy hasonló kialakítású fej kerül alkalmazásra, mint a hagyományos dinamikus szondázásnál alkalmazott fej, csak a fej méretei különböznek. Az SPT(C) szondázás során mintavétel nem történik, viszont folyamatosan, 15 cm-ként megkapható az SPT ütőszám (N érték).

Meg kell jegyezni, hogy a hagyományos és zárt végű SPT mérések korrelációjához vagy felhasználásához még nem áll rendelkezésre jelentős hazai vagy nemzetközi szakirodalom, ám a szabvány megengedi alkalmazását. Mivel mindenképpen biztosítani

kellett a folyamatos magmintavételt, a hagyományos SPT vizsgálat nagy tömegben nem volt elvégezhető, csupán 5 pontok készültek hagyományos mérések.

Az elvégzett SPT(C) vizsgálatok legfontosabb adatait a 39. táblázat mutatja.

39. táblázat: SPT(C) vizsgálatok legfontosabb adatai

SPT jele	Szonda kezdő-mélység (m)	Szonda talp-mélység (m)	Szondázási hossz (m)	EOV Y	EOV X	Magasság (mBf)	Megjegyzés
SPT_I-2	5	25,1	20,1	635032,58	137948,98	97,08	
SPT_I-4	5	25,1	20,1	635418,05	137905,61	96,91	
SPT_I-6	5	25,1	20,1	635671,82	137919,56	96,50	
SPT_I-8	5	25,1	20,1	635883,14	138079,97	96,55	
SPT_II-2	5	25,1	20,1	634916,29	137741,25	97,16	
SPT_II-4	5	25,1	20,1	635194,80	137769,64	96,96	magfúrásban is készült
SPT_II-6	5	25,1	20,1	635402,82	137747,62	96,87	
SPT_II-8	2,5	23,5	21,0	635546,33	137735,38	96,78	
SPT_III-2	5	25,1	20,0	634809,63	137544,77	97,02	
SPT_III-4	5	25,1	20,0	635048,36	137493,39	97,17	
SPT_III-6	5	25,1	20,1	635240,05	137514,18	97,33	
SPT_III-8	2,5	20,5	18,0	635419,54	137503,26	96,73	
SPT_IV-2	5	25,1	20,1	634810,26	137201,34	97,04	
SPT_IV-4	5	25,1	20,1	635049,95	137274,57	96,56	
SPT_IV-6	5	25,1	20,1	635194,27	137293,99	97,22	
SPT_IV-8	2,5	23,5	21,0	635382,41	137304,42	96,75	
SPT_V-1	5	25,1	20,1	634622,10	136949,05	97,06	
SPT_V-4	5	25,1	20,1	634950,94	137101,19	97,12	
SPT_V-6	5	25,1	20,1	635179,11	137119,47	97,04	
SPT_V-8	2,5	20,5	18,0	635285,33	137092,53	96,91	

Összesen 20 mérési ponton készült SPT(C) vizsgálat.

Az SPT(C) vizsgálatok összességében 5 m és 25 m közötti talajrétegekben készültek. Szakirodalmi adatok és nemzetközi tapasztalatok alapján 15-20 m alatt elhanyagolható a megfolyósodási veszély, így kijelenthető, hogy a 25 m-es mélységig végzett SPT vizsgálatok határmélysége megfelelő a talajfolyósodás értékelésére.

A két mérési módszer közötti korrelációt a vizsgált területre meg lehetett határozni, mivel a II-4. jelű pontban készült magfúrás során hagyományos SPT szondázás készült, valamint a II-8., III-8., IV-8. és V-8. jelű pontokban is meghatározásra kerültek hagyományos SPT méréssel az N értékek. A II-4. jelű volt a legelső magfúrás, mely még az FKP előírásai szerint került lemélyítésre, ennek a fúrásnak elkészülte után került sor a már említett módosításra.

Összesen tehát 5 darab fúrásban készült hagyományos SPT mérés valamint az új módszer szerinti SPT(C) mérés is. Továbbá az 1-4. blokkok közelében is készültek

hagyományos SPT vizsgálatok, így ezeket az archív adatokat is fel lehetett használni a korreláció meghatározására.

A folyamatos SPT(C) mérések általában 5 m-es mélységben indultak (kivéve a 8. ponton készített méréseket), mélységük legalább 20 m volt. A teljes szondázási mennyiség 399 fm volt.

2.3.4.8 Menard pressziométer (MPM) mérések

A Menard pressziométeres mérések célja adott mélységben a pressziométeres rugalmassági modulus (E_M) meghatározása volt.

A talaj in-situ összenyomódási modulusa a Menard-féle modulusból jó korrelációval számítható volt, továbbá a „limit pressure” határnyomás és a „creep pressure” kúszási nyomás nagysága is meghatározható volt.

A végrehajtott mérések legfontosabb adatait a 40. táblázat mutatja.

40. táblázat: Menard pressziométer mérések legfontosabb adatai

Presszió méter jele	Vizsgálati mélység (m)	Mérési darabszám	Vizsgálat dátuma	EOV Y	EOV X	Magasság (mBf)
I-6-P	31,50	8	2015.12.02	635666,33	137915,62	96,43
	33,00		2015.12.02			
	35,50		2015.12.02			
	36,60		2015.12.03			
	39,00		2015.12.04			
	40,50		2015.12.04			
	42,00		2015.12.04			
	43,20		2015.12.04			
II-2-P	30,50	7	2015.12.09	634921,99	137739,40	97,09
	31,60		2015.12.09			
	34,00		2015.12.09			
	35,50		2015.12.09			
	37,00		2015.12.09			
	38,60		2015.12.09-10			
	39,80		2015.12.10			
II-6-P	30,00	6	2015.12.06	635404,86	137749,60	96,74
	31,30		2015.12.06			
	32,70		2015.12.06			
	36,55		2015.12.07			
	38,00		2015.12.07			
	39,50		2015.12.07			
III-2-P	26,50	6	2015.12.14	634809,52	137548,04	97,02
	28,50		2015.12.14-15			
	31,00		2015.12.15			
	34,00		2015.12.15			

Presszió méter jele	Vizsgálati mélység (m)	Mérési darabszám	Vizsgálat dátuma	EOV Y	EOV X	Magasság (mBf)
	36,70		2015.12.15			
	39,70		2015.12.15			
III-6-P	30,00	6	2015.12.17	635234,24	137511,14	97,04
	32,00		2015.12.17			
	34,00		2015.12.17			
	36,00		2015.12.17			
	38,00		2015.12.17			
	39,70		2015.12.17			
IV-4-P	28,20	6	2016.02.09	635050,04	137271,03	96,51
	30,20		2016.02.09			
	32,20		2016.02.09			
	34,20		2016.02.09			
	36,20		2016.02.09			
	38,70		2016.02.10			
IV-6-P	31,70	5	2016.01.14	635196,01	137296,84	97,07
	33,50		2016.01.15			
	35,20		2016.01.15			
	37,00		2016.01.15			
	38,50		2016.01.15			
V-6-P	29,20	6	2016.01.18	635185,04	137116,93	97,08
	33,00		2016.01.19			
	36,00		2016.01.20			
	37,50		2016.01.20			
	38,80		2016.01.20			
	40,00		2016.01.20			

A program végrehajtása során végeredményben 50 darab Menard pressziométer mérés készült, változó mélységben.

A mérések minden esetben az 50 m vagy 130 m magfúrás mellett készültek külön furatban, így a magfúrások zavartalan mintáinak triaxiális és ödométeres vizsgálati eredményei összehasonlíthatók voltak a pressziométeres mérések eredményeivel.

A mérések minden esetben a pannon rétegekben készültek. Ennek oka, hogy a pleisztocén szemcsés rétegekben a mérés számára állékony furatfal nem volt biztosítható, az esetlegesen kitüremkedő éles vagy nagyobb szemcsék a szonda kidurranását okozták volna. A mérések így 26,5 m és 43,2 m közötti mélységekben készültek, egy furatban 5-8 különböző mélységben, ez átlagosan 6 darab mérés készült furatonként.

Két mérési pontban ezen kívül önbefúró pressziométeres mérések is készültek.

A pressziométeres mérések külön erre a célra mélyült teljes szelvényű furatokban készültek, mely során a pleisztocén rétegek bélésű vagy HSA spirál kerültek megtámasztásra. A pannon rétegekben azt követően öblítéses fúrás készült a teljes mélységéig 66 mm átmérővel. A furatba ezt követően a kívánt mélységbe leengedésre került a

pressziométeres szonda. A mérések során a „nyomásnövekményű módszer” került alkalmazásra, melynek során a maximális terhelés kb. 9-10 lépcsőben került elérésre. A felterhelési lépcsők 60 másodpercenként követték egymást és minden felterhelést követően 30 és 60 másodperc után az alkalmazott műszer rögzítette a nyomás és a hozzá tartozó szondatérfogat értékeit. A 30 és 60 másodperchez tartozó térfogat leolvasásokból megszerkeszthető volt a kúszási diagram.

A kúszási diagram lineárisnak tekinthető szakaszából a Menard-féle pressziométeres modulus (E_M) számítható volt, mely korrelálható volt az önbefúró pressziométeres valamint a magminták vizsgálataiból kapott eredményekkel. A mérés során meghatározásra került továbbá a pressziométeres határfeszültség (P_1), mely a kezdeti (a membrán lyukfalhoz érintkezéshez tartozó) térfogat kétszereséhez tartozó feszültség értéke.

Összefoglalóan kijelenthető, hogy a Menard pressziométeres mérések a tervezett helyeken és darabszámban elkészültek.

2.3.4.9 Önbefúró pressziométer (SBP) mérések

A vizsgálati program során két furatban (III-6. és IV-6. pontok) összesen 5 db önbefúró pressziométeres mérés készült.

A mérési pontok kiválasztása részben a korábban elvégzett Menard pressziométeres mérések valamint a magmintákból készített triaxiális vizsgálatok eredményeinek ismeretében történt. Ennek megfelelően az SBPM mérések egyrészt az 50 m illetve 130 m hosszú magfúrások mellett készültek, másrészt olyan pontokon, ahol Menard pressziométeres mérések is készültek. A SBPM mérések mélységei is ennek megfelelően úgy lettek meghatározva, hogy abban a mélységben (vagy ahhoz nagyon közel) Menard-féle mérési eredmény, illetve triaxiális vizsgálati eredmény is álljon rendelkezésre.

Az önbefúró pressziométer (SBP) lényegében abban különbözik a Menard féle pressziométertől, hogy az egyes mérési szakaszokat a pressziométer alján lévő saját fúrókorona fúrja meg rotari öblítéses módszerrel. Ezzel a lehető legtokéletesebb kapcsolat alakítható ki a talaj és a szondamembrán között, tehát a talajkörnyezet minimális roncsolásával lehet a méréseket elvégezni. Jelenleg a legpontosabb in-situ vizsgálati módszernek tekinthető.

A mérés teljesen hasonló elven működik, mint a Menard-féle pressziométer esetén, azzal a fontos különbséggel, hogy nem a szondatérfogat változása kerül rögzítésre, hanem a szondában körkörös elhelyezkedő digitális elmozdulásmérők közvetlenül mérik a szondaköpeny és az abban lévő gáznyomás hatására a furatfal elmozdulását. Összességében hat, egymástól egyforma távolságra elhelyezkedő jelátalakító követi nyomon a membrán belsejének elmozdulását, eközben kerül rögzítésre az alkalmazott nyomás értéke is. Ezáltal nem közvetett, hanem közvetlen módon lehet az elmozdulást meghatározni, így a kapott eredmény jóval pontosabb. Az önbefúró pressziométer feje ezen kívül két pórúsvíznyomás-mérő érzékelővel is fel van szerelve, melyek lehetővé teszik a pórúsvíznyomás változásainak megfigyelését és mérését is a vizsgálat során.

A pressziométeres mérési diagramokból egyértelműen meghatározhatók voltak a határfelületi elmozdulások, a talajnyomások, pórúsvíznyomások, valamint közvetlen vagy közvetett méréssel meghatározható volt a talajfeszültség, a K_0 és a talajelmozdulás is. A pressziométeres diagram elemzése alapján lehetőség nyílt a talajréteg drénezetlen in-situ

paramétereinek, alakváltozási jellemzőinek, valamint a nyírószilárdságával összefüggő jellemzők mélységbeli eloszlásának, továbbá a vektoriális jellegű paraméterek meghatározására is.

A SBP mérések legfontosabb adatait a 41. táblázat tartalmazza.

41. táblázat: Önbefűró pressziométer (SBP) mérések legfontosabb adatai

Pressziométer jele	Vizsgálati mélység (m)	Mérési darabszám	Vizsgálat dátuma	EOV Y	EOV X	Magasság (mBf)
III-6-SBP	31,80	2	2016.01.26	635243,49	137513,58	97,29
	37,80		2016.01.26			
IV-6-SBP	31,90	3	2016.01.29	635191,56	137292,44	97,13
	36,00		2016.01.29			
	38,00		2016.01.29			

Összefoglalóan elmondható, hogy az 5 darab SBP mérés a tervezett helyeken és mélységekben elkészült. Az eredmények értékelhetőek és felhasználhatóak voltak az egyes vizsgálatok és vizsgált paraméterek közötti összefüggések meghatározása céljából.

2.3.4.10 Geofizikai CPT szondázások (GCPT)

A negyedidőszaki rétegekben történő magmintavétel nehézségei és minősége (sok esetben hiánya) miatt statisztikailag nagyon kevés laborvizsgálati adat állt kezdetben rendelkezésre a felső 25-30 m-es negyedidőszaki összlet térfogatsűrűségére vonatkozólag.

A negyedidőszaki rétegekből nem voltak kinyerhetőek megfelelő minőségű magminták, így a rétegek térfogatsűrűségét megfelelő megbízhatósággal meg lehetett határozni. Mivel a laza, cementálatlan homok-finomhomok valamint kavicsos homok minták a PVC csövek felvágása után szétestek, nem lehetett megfelelő megbízhatósági adatokat szerezni. A talajrétegek térfogatsűrűsége a vizsgált terület geotechnikai jellemzéséhez fontos adat valamint a szeizmológiai-talajfolyósodási vizsgálatok egyik legfontosabb bemenő adata.

A geofizikai CPT (GCPT) szondázás elvégzésével részben ellenőrizni lehetett azt a kevés térfogatsűrűségi adatot, amelyet a laboratóriumi vizsgálatok során a rendelkezésre álló kevés számú és rossz minőségű magmintából kapható volt. Másodsorban a talajfolyósodás kockázatának értékeléséhez szükséges sűrűségi adatok tekintetében statisztikailag értékelhető mennyiségű eredmény állt rendelkezésre.

Mivel a mérési pontokon előzetesen már készültek CPTu vizsgálatok, a GCPT mérés során a CPT szondázási paraméterek (q_c, f_s, u) nem kerültek meghatározásra, kizárólag a geofizikai paraméterek kerültek rögzítésre.

Első lépésben a lehető legkisebb geometriai hosszúságú CPT fej került felszerelésre, majd az üreges rudazat a fejjel együtt a talajba került lesajtolásra. Ezt követően a béléscsőben a karotázsmérés elvégzésre került.

A karotázsmérés során a csörlővel leeresztett szondafej a talpról felfelé haladva 10 cm-ként mérte a szükséges paramétereket. A szonda a vizsgálat során érzékelte a vizsgált talajparaméter mélység szerinti változását a felfelé haladás közben.

A szondázás során az alábbi paraméterek mérése történt:

- természetes gamma aktivitás (GAM)
A mérőszár belsejében, sugármérő szondával mért mennyiség, amely elsősorban az agyagok kálium-tórium tartalmával van összefüggésben. A leggyakoribb képződmények egyéb radioaktív elemet csak igen ritkán tartalmaznak, így ez a mennyiség az agyagtartalmat jelzi
- gamma-gamma térfogatsúly (DEN, halmazsűrűség)
A sugármérő szondához illesztett mesterséges sugárforrás (Ce137) gamma részecskéinek a rétegben történő szóródásának mérése. A mért adatok - etalonokban végzett hitelesítések alapján - térfogatsúly adatokká kerülnek átalakításra
- neutron-neutron víztartalom (NPHI, víz pórustérfogat)
A sugármérő szondához illesztett mesterséges neutronforrás (Am-Be) részecskéinek a rétegben történő fékeződésének mérése. A mért adatok – etalonokban végzett hitelesítések alapján – víztartalom adatokká alakíthatók

A természetes gamma aktivitás (GAM) az agyagtartalommal, a neutronmérés (NPHI) a víz,- és agyagtartalommal, a gamma-gamma mérés (DEN) pedig mindegyik komponens átlagos térfogatsúlyával van közvetlen összefüggésben. Az egyes komponensek birtokában igen pontosan számítható volt a száraz térfogatsúly, porozitás, hézagtenyező és víztartalom.

Össességében 14 darab ponton készült mérés, átlagosan 21,4 fm hosszban. A szondázások 15,5-25,5 fm hosszúak voltak.

Végeredményben a felső 20-25 m öszvastagságú rétegekre kellő mennyiségű mérési adat állt rendelkezésre.

A GCPT mérések legfontosabb adatait a 42. táblázat összesíti.

42. táblázat: Geofizikai CPT (GCPT) szondázások legfontosabb adatai

GCPT jele	Tervezett mélység	Tényleges mélység	Szondázás dátuma	EOV Y	EOV X	Magasság (mBf)
GCPTu_I-2	30	15,5	2016.06.25	635024,09	137959,49	96,89
GCPTu_I-4	30	22,1	2016.06.24	635413,41	137905,47	96,87
GCPTu_I-6	30	24,2	2016.06.25	635673,01	137916,41	96,56
GCPTu_II-2	30	24,3	2016.06.26	634920,31	137739,63	97,19
GCPTu_II-4	30	17,3	2016.06.21	635049,80	137279,07	96,60
GCPTu_II-6	30	22,8	2016.06.24	635404,95	137749,21	96,76
GCPTu_III-2	30	20,4	2016.06.28	634809,35	137547,36	96,99
GCPTu_III-4	30	21,4	2016.06.22	635048,05	137500,05	97,17
GCPTu_III-6	30	20,4	2016.06.28	635239,51	137508,81	96,98
GCPTu_III-8	30	23,0	2016.06.26	635427,78	137495,94	96,87
GCPTu_IV-4	30	19,9	2016.06.23	635049,80	137279,07	96,60
GCPTu_IV-6	30	25,5	2016.06.23	635195,42	137292,65	97,19
GCPTu_V-4	30	24,2	2016.06.22	634954,64	137103,56	97,13
GCPTu_V-6	30	18,0	2016.06.23	635180,32	137116,10	97,06

2.3.4.11 Helyszíni vizsgálatok összefoglaló értékelése

A korábban részletezett vizsgálati program teljes mennyiségi összefoglalását a 43. táblázat mutatja be.

A feltárások típusa és mennyisége alapján kijelenthető, hogy a FKP geotechnikai feltárásra vonatkozó célkitűzései maradéktalanul teljesültek, sőt a hiányzó adatok pótlására a programban eredetileg nem szereplő vizsgálat (GCPT) is készült.

A feltárások mennyisége megfelelő mennyiségben, eloszlásban és mélységben tárta fel a vizsgált terület és közvetlen környezetének altalajviszonyait. A feltárások eredményeképpen megfelelő mennyiségű és minőségű zavart és zavartalan magminta állt rendelkezésre a laboratóriumi vizsgálatok számára, az értékelés elvégzéséhez, valamint a társ-szakterületek részére szükséges adatszolgáltatás is időben és megbízhatóan teljesíthető volt.

43. táblázat: Helyszíni mérések mennyiségi összefoglalása

Ssz.	Feltárás megnevezése	Mennyiség	Egység
1.	Folyamatos magfúrás	1726,6	fm
2.	CPTu szondázás	1338,3	fm
3.	SCPT szondázás	266,0	fm
4.	SPT(C) szondázás	399,6	fm
5.	GCPT szondázás	299,0	fm
6.	Disszipáció mérés	178	db
7.	Menard pressziométer (MPM) mérés	50	db
8.	Önbefúró pressziométer (SBP) mérés	5	db

2.3.5 Geotechnikai magfúrások leírása, mintázása, laboratóriumi vizsgálatok

2.3.5.1 Magminták leírása, dokumentálása

Az elvégzett geotechnikai fúrások magmintái a feltárási területről a paksi magraktárba kerültek beszállításra, majd tárolásra a dokumentálás megkezdéséig.

A beszállítást követő néhány napon belül megkezdődött a talajminták részletes leírása és dokumentálása.

Első lépésben a magraktárba beszállított magmintákról részletes **fotódokumentáció** készült. A magminták először a magládában, kibontás előtt, eredeti állapotában kerültek lefényképezésre, ezzel dokumentálva a fúrást végző vállalkozótól átvett állapotot.

Az átvett állapot fényképes rögzítését követően a magládából kivett műanyag magcsövek gyorsvágó berendezéssel felvágásra kerültek, majd a fúróiszaptól megtisztított magokról nagy felbontású, műtermi minőségű fényképek készültek, mely a magminták állapotát rögzítette.

A **fúrómagok részletes leírására és dokumentálására** a fotódokumentálás után került sor, melynek során a dokumentáló mérnök részletesen megvizsgálta és dokumentálta a fúrómagokban tapasztalható talajparamétereket. Az eredmények mintaleírási jegyzőkönyvben kerültek rögzítésre az alábbi adatok és megfigyelések feltüntetésével:

- munka száma
- jegyzőkönyv száma
- megrendelő
- minta származási helye
- leíró neve, aláírása
- laboratóriumvezető neve, aláírása
- feltárás dátuma
- leírás dátuma
- feltárás jele, mélységköz
- réteghatárok bejelölve, mélységgel együtt
- feltárt talajrétegek jellemzői:
 - talajmechanikai megnevezés
 - szín
 - talajtípus (természetes, szerves, vulkanikus talaj)
 - várható szemeloszlás (fő-és mellékfrakciók)
 - a szemcsék alakja és szögletessége
 - szemcsék felületi érdessége
 - várható finomszemcse-tartalom
 - plaszticitás (kötött talaj állapota, konzisztenciája)
 - tömörség / konzisztencia
- mintavétel
 - minta mélysége
 - minta típusa (zavart/zavartalan)
- kijelölt talajmechanikai laborvizsgálat vizsgálat megnevezése (előzetes kijelölés)
- egyéb megfigyelések: nedvesedés, meszeség, rozsdafoltok-rozsdarek, folytonossági hiányok, maghiány, magminták állapota, stb.

2.3.5.2 Magminták mintázása

A talajmechanikai célú fúrások maganyagának leírását és dokumentálását követően került sor a **mintázásra**. Ennek során kerültek kijelölésre azok a fúrómag szakaszok, melyekből mintavételezés, majd laboratóriumi vizsgálat készült.

A mintavételezés során figyelembe lett véve minden esetben az egyes geotechnikai paraméterek jelentősége. Elsődleges fontosságú volt a szilárdsági és dinamikus vizsgálatokhoz szükséges zavartalan magminták kivétele, így első lépésben minden esetben ezeket kerültek kivételre. Ezt követték az alakváltozási és szivárgási paraméterek vizsgálatához szükséges zavartalan minták, majd a fázisos összetételi és végül az azonosítási és víztartalmi vizsgálatok zavart mintái.

A mintavételezés során zavartalan és zavart típusú minták kerültek kivételre.

Az eredeti talaj állapotát legjobban megőrző **zavartalan magminták** elsődleges fontosságúak voltak a laboratóriumi vizsgálatok szempontjából. Ehhez a műanyag mintavevő csővel együtt a maganyag adott hosszúságú része (általában 10-30 cm hosszban) kivágásra és becsomagolásra került. A magmintavétel során kizárólag ép, zavartalan állapotú, hengeres alakú minták kerültek kivágásra. Repedezett, töredezett, széteső maganyagból zavartalan mintavétel nem történt.

Zavart talajminta a magcsőből annak visszazárása előtt kislapáttal és/vagy kézzel került kivételre. A kivett zavart minta tiszta és száraz, légmentesen lezárt műanyag zacskóba került.

A kivett zavart és zavartalan minták azonnal **jelöléssel** lett ellátva. Az azonnali jelölés biztosította, hogy a minta azonosító adatai ne keveredjenek össze, minden esetben az adott mélységű minta kerüljön megjelölésre.

A minta megjelölése során többféle módszer került alkalmazásra, függően a minta típusától:

- zavart minta esetén a mintavevő zacskón alkoholos filctollal kerültek feltüntetésre az adatok
- a zavart mintát tartalmazó zacskó mintától vízhatlanul elválasztott részbe (általában egy külső zacskóba) behelyezendő cédulára kerültek tollal felírva az adatok
- zavartalan minta esetén az azonosító adatokat tartalmazó cédula a magmintát tartalmazó harmadik zacskóba került behelyezésre

A mintákra kerülő feliratok az alábbi paramétereket tartalmazták:

- fúrás helyszíne (Paks-II)
- fúrás jele (pl. V-1-A)
- minta mélysége vagy mélységköze (pl. 4,3 m vagy 4,30-4,50 m)
- előzetesen kijelölt vizsgálat jele (pl. SZ – szemeloszlás, NY – nyírás, stb.)

A talajmechanikai mintavételezés során a különböző célú vizsgálatokra kivett minták helye a magládában egyértelmű és beazonosítható módon került megjelölésre. Ennek során a magláda belső oldalfalára rögzített papírlapon – a kivett minta helyénél – feltüntetésre került a fúrás jele, a minta mélysége, a kivett minta típusa, a mintavételezés dátuma, valamint a tervezett laboratóriumi vizsgálat megnevezése.

2.3.5.3 Laboratóriumi vizsgálatok

A mintázást követően a talajminták a geotechnikai laboratóriumba kerültek beszállításra.

A laboratóriumi vizsgálatok legfontosabb célja volt, hogy a fúrások során feltárt talajokat azonosítsa valamint azok mechanikai és talajdinamikai jellemzőit egyértelműen meghatározza, így a vizsgálatok kijelölésénél az alábbi szempontok kerültek figyelembe véve:

Minden talajrétegből, valamint minden jellemző talajtípusból készüljön talajazonosító vizsgálat.

A területen jellemző, nagy vastagságban előforduló rétegek esetén olyan sűrűséggel készüljenek talajazonosító, illetve a talaj mérnöki jellemzőit meghatározó vizsgálatok, hogy azok alapján a talajréteg statisztikai jellemzése lehetséges legyen.

A talajok fázisos összetétele (térfogatsúlyok, hézagtényező, hézagterfogat, telítettség) minden olyan talaj esetén legyen meghatározva laboratóriumi vizsgálatokkal, amelyekből megbízható módon zavartalan talajmintát lehetett venni.

Minden jellemző talajtípus esetén készüljön vizsgálat az anyagsűrűség (szemcsesűrűség) meghatározására.

Minden jellemző talajréteg mechanikai (alakváltozási, nyírószilárdsági) jellemzői kerüljenek meghatározásra. Ahol ez lehetséges, ott a geotechnikai jellemzők meghatározásához párhuzamosan különböző típusú vizsgálatok is készüljenek (pl. közvetlen nyírókísérlet és háromtengelyű nyomóvizsgálat).

A pleisztocén rétegek esetén – ahol a talaj eredeti állapota a magminták minősége miatt nem határozható meg – a nyírószilárdsági és alakváltozási vizsgálatokat különböző állapotú (tömörsgű, telítettségű) talajmintákon legyenek elvégezve, hogy ezek geotechnikai paraméterekre gyakorolt hatását értékelni lehessen.

Fontos szempont volt a kiindulási adatok szolgáltatása a telephely engedélyeztetési eljárás fontos részét képező szeizmológiai vizsgálatokhoz. Ennek érdekében különböző talajdinamikai vizsgálatok készültek (pl. talajfolyósodás laboratóriumi vizsgálata, leromlási görbe meghatározása).

A legtöbb vizsgálat a BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszékének Talajmechanikai Laboratóriumában, akkreditált módon készült. A rezonancia oszlop (resonant column) és torziós nyírás vizsgálatok a győri Széchenyi Egyetem laboratóriumában készültek.

A kísérletek a hatályos magyarországi MSZ EN vizsgálati szabványok előírásai szerint készültek. Azon vizsgálatok esetén, amelyeknél nem állt rendelkezésre Magyarországon hatályos szabvány, nemzetközileg elfogadott szabvány (pl. ASTM, DIN) előírásai, illetve javaslatai lettek figyelembe véve.

A vizsgálatok során alkalmazott szabványokat a 44. táblázat és a 45. táblázat foglalják össze. A táblázatokban a megjegyzés oszlopban került feltüntetésre, hogy az adott szabvány több lehetséges eljárása közül melyik került alkalmazásra.

44. táblázat: Azonosító vizsgálatokra vonatkozó vizsgálati szabványok

Vizsgálat	Vonatkozó szabvány	Megjegyzés
Természetes víztartalom	MSZ EN ISO 17892-1:2015 A víztartalom meghatározása	
Térfogatsúlyok meghatározása	MSZ EN ISO 17892-2:2015 Finom szemcséjű talajok térfogatsűrűségének meghatározása	Hosszmérési módszer a 4.1. és 5.1. szakaszokban leírtak szerint
Hézagtérfegyőző		
Porozitás		
Telítettség		
Azonosítás (Atterberg-határok, szemeloslás)	MSZ CEN ISO/TS 17892-4:2015 A szemeloszlás meghatározása MSZ CEN ISO/TS 17892-12:2015 Az Atterberg-határok meghatározása	A szemeloszlás meghatározása a MSZ CEN ISO/TS 17892-4:2015 szabványban megfogalmazott eljárások közül a szitálás (5.2 szakasz) és a hidrometrálás (5.3. szakasz) segítségével történik
Anyagsűrűség	MSZ CEN ISO/TS 17892-3:2015 A szemcsék sűrűségének meghatározása. Piknométeres módszer	

45. táblázat: A talaj mérnöki jellemzőinek meghatározására irányuló vizsgálatokra vonatkozó szabványok

Vizsgálat	Vonatkozó szabvány	Megjegyzés
Vízáteresztőképesség	MSZ CEN ISO/TS 17892-11:2010 A vízáteresztő képesség meghatározása állandó és változó víznyomással	
Konzolidációs vizsgálat	MSZ CEN ISO/TS 17892-5:2010 Ödométeres vizsgálat lépcsőzetes terheléssel	Az alkalmazott terhelési lépcsőket a vizsgálatot felügyelő mérnök határozta meg.
Közvetlen nyírókísérlet	MSZ CEN ISO/TS 17892-10:2010 Közvetlen nyíróvizsgálat	4.1. szakasz szerinti dobozos nyíróberendezéssel, az alkalmazott normál feszültségek: 100-200-300 kPa
Triaxiális vizsgálat (UU)	MSZ CEN ISO/TS 17892-8:2010 Konzolidálatlan, drénezetlen triaxiális vizsgálat	Alkalmazott cellanyomás értékek: 50-100-200-300 kPa
Triaxiális vizsgálat (CD és CU)	MSZ CEN ISO/TS 17892-9:2010 Konzolidált triaxiális nyomóvizsgálat vízzel telített talajon	A cellanyomás úgy választandó meg, hogy a hatékony konzolidációs feszültség a mintamélységre jellemző hatékony feszültség fele és kétszerese között legyen.
Ciklikus triaxiális vizsgálat	ASTM D5311/d5311M-13 Standard Test Method for Load Controlled Cyclic Triaxial Strength of Soil és ASTM D3999 / D3999M - 11e1 Standard Test Methods for the Determination of the Modulus and Damping Properties of Soils Using the Cyclic Triaxial Apparatus	A működtetendő ciklikus terhelés módja és mértéke a mintamélység és a mértékadó földrengés-paraméterek függvénye.
Rezonancia oszlop vizsgálat	ASTM D4015 Standard Test Methods for Modulus and Damping of Soils by the Resonant- Column Method	A vizsgálat üreges, hengeres mintán készült, ez a talajmintában egyenletesebb nyírófeszültség-eloszlást biztosít, így a nagyobb alakváltozási tartományokban is megbízható nyírási modulus és csillapítási tényezőket ad. Az acél terhelőlapok felületére – annak érdesítése érdekében – homok- epoxigyanta keverék került rögzítésre. A mérés végrehajtása során a minta alsó síkján rögzített és a felső síkján alakulhatnak ki elmozdulások. A vizsgálatok mellett torziós nyírókísérletek is készültek.
Egyirányú nyomókísérlet	MSZ CEN ISO/TS 17892-7:2010 Finom szemcsésű talajok egyirányú nyomóvizsgálata	
Maximális és minimális hézag tényező	DIN 18126 Bestimmung der Dichte nichtbindiger Böden bei lockerster und dichtester Lagerung	
Tömöríthetőség (Proctor) vizsgálat	MSZ EN 13286-2:2011 V Laboratóriumi viszonyítási térfogatsűrűség és víztartalom - Proctor tömörítés	

2.3.5.3.1 *Azonosító vizsgálatok*

A talajok azonosítása és alapvető fizikai jellemzőinek meghatározása érdekében azonosító vizsgálatok készültek. Szemcsés talajok esetén szemeloszlási, míg kötött talajok esetén Atterberg-határok (konzisztencia-határok) vizsgálat készült.

Legnagyobb mennyiségben a víztartalmi és talajazonosító vizsgálatok készültek. Ezek kijelölésénél fontos szempont volt, hogy minden feltárt talajrétegből, a nagyobb vastagságú rétegek esetén pedig kb. 1,5-2,0 méterenként készüljenek ilyen vizsgálatok.

Összesen 1793 db víztartalmi és 1758 db talajazonosító vizsgálat készült. Utóbbiak közül 1506 alkalommal került meghatározásra a talaj szemeloszlása, 252 alkalommal a talajréteg konzisztencia határai.

2.3.5.3.2 *Térfogati jellemzők*

A térfogati jellemzők (térfogatsűrűség, hézagtérfogat, telítettség) meghatározásához zavartalan talajminta szükséges, ezért a természetes állapotra vonatkozó értékeket csak azoknál a rétegeknél lehetett megbízhatóan meghatározni, ahol jó minőségű zavartalan minták álltak rendelkezésre.

A negyedidőszaki rétegek esetén csak a kötött, illetve gyengén kötött talajrétegek esetén volt lehetőség ilyen mintavételre, a talajréteget döntően alkotó negyedidőszaki durvaszemcsés talajokból nem állt rendelkezésre megfelelő talajminta. Ebből adódóan a kvarter rétegeknél csak néhány helyen lehetett a természetes állapotú talaj térfogati jellemzőit meghatározni, és ezek a minták sem tekinthetők reprezentatívnak az összletre nézve.

Itt is meg kell jegyezni, hogy a pleisztocén rétegek természetes állapotára vonatkozó adathiány kiküszöbölésére készültek a geofizikai CPT (GCPT) vizsgálatok.

A pannon kötött vagy cementált rétegekből megbízható minőségű talajminták álltak rendelkezésre, így a térfogati jellemzők meghatározhatók voltak.

Végeredményben 763 db zavartalan és rekonstruált minta térfogatsűrűsége, hézagtérfogata és telítettsége került meghatározásra.

2.3.5.3.3 *Anyagsűrűség (szemcsesűrűség)*

Anyagsűrűség vizsgálat (piknométeres módszerrel) minden jellemző talajrétegből készült. Ezek során került meghatározásra a pleisztocén és pannon összlet jellemző rétegeinek anyagsűrűsége.

Összesen 37 db ilyen vizsgálat készült.

2.3.5.3.4 *Vízáteresztő-képesség*

A vízáteresztő-képességi vizsgálatok állandó és változó víznyomású készülék segítségével készültek. A negyedidőszaki zavart rétegekből megbízható zavartalan minták hiányában rekonstruált minták kerültek vizsgálatra, a pannon rétegek esetén zavartalan talajmintákon készültek a kísérletek.

A negyedidőszaki talajmintákon végzett 36 kísérletből 15 esetben a természetes állapothoz hasonló tömörségű talajminta került vizsgálatra, a maradék 21 vizsgálat pedig a rétegekre jellemző 7 talajtípus különböző tömörségű (laza, természetes, tömör) beépítése mellett készült.

A pannon rétegek vízáteresztő-képességének meghatározásához összesen 22 db zavartalan talajminta került vizsgálatra.

2.3.5.3.5 Ödométeres vizsgálatok

A talajok alakváltozási jellemzőinek megismerése érdekében ödométeres vizsgálatok készültek.

A vizsgálatokhoz rekonstruált és zavartalan minták kerültek alkalmazásra. A pleisztocén szemcsés rétegekből nem lehetett az eredeti talajállapotnak megfelelő zavartalan mintákat venni, ezért ezen rétegek ödométeres vizsgálatai rekonstruált mintákon készültek. A rekonstruált mintáknál a talaj laza állapotban került beépítésre és változó víztartalmak mellett készültek el a kísérletek. A futóhomok, illetve öntéshomok rétegekből rekonstruált mintákon azt került vizsgálatra, hogy a víztartalom miként befolyásolja a lazán beépített talaj kompressziós görbét, ehhez ugyanaz a talaj légszáraz, telített és természetes víztartalom mellett is beépítésre került. A többi talajrétegnél illetve kísérletnél – tekintettel arra, hogy a minták nagyobb része a talajvíz alatti mélységből származott – jellemezően telített, esetenként természetes víztartalmú minták kerültek vizsgálatra.

A hagyományos ödométeres kísérlethez használt 75 mm átmérőjű és 20 mm magasságú minta nem teszi lehetővé kavicsos talajok megbízható vizsgálatát, ezért a kavicsos homok rétegből egy speciális terhelőkeret segítségével készültek kísérletek 15 cm átmérőjű és 8,7 cm (kezdeti) magasságú talajmintán.

A pannon rétegekből a kísérletekhez zavartalan minták kerültek kivételre és ezeken készültek el a vizsgálatok.

Összesen 105 db kompressziós kísérlet készült. A vizsgálatok nagyobb részénél rögzítésre kerültek a különböző terhelési lépésekben mért konszolidációs görbék is, ezekből 383 db készült.

2.3.5.3.6 Egyirányú nyomószilárdság

A nyírószilárdsági paraméterek meghatározása céljából összesen 20 esetben készült egyirányú nyomókísérlet. Ezek a vizsgálatok minden esetben a pannon rétegekből vett, nagyméretű zavartalan magmintákon készültek.

2.3.5.3.7 Közvetlen nyíróvizsgálatok

A pleisztocén rétegekből vett zavart mintákon 63 db közvetlen nyírókísérlet készült. A vizsgálatokhoz minden esetben rekonstruált minták kerültek beépítésre a zavartalan minták hiányában.

Ebben az esetben is készült egy vizsgálat sorozat, melynek során a talaj nyírószilárdsági paramétereinek változása volt elemezhető a tömörség változásával. Ezen túlmenően 39 db kísérlet készült a természetes állapotot megközelítő víztartalmú és tömörségi mintákon.

2.3.5.3.8 *Triaxiális vizsgálatok*

A háromtengelyű (triaxiális) nyomókísérlettel minden feltárt talajtípus nyírószilárdsági paramétereinek meghatározása lehetséges volt.

A triaxiális vizsgálatok az alábbi pórúsvíznyomási peremfeltételek mellett készülhetnek:

- I.) konszolidálatlan, drénezetlen (UU),
- II.) konszolidált drénezetlen (CU),
- III.) konszolidálatlan drénezetlen (CD).

A pleisztocén rétegekből itt is csak rekonstruált minták vizsgálatára volt lehetőség. A korábbiakhoz hasonlóan itt is készült egy vizsgálatosorozat reprezentatív mintákon, valamint készültek kísérletek a természetes állapothoz közeli talajmintákon is.

A pannon rétegek esetén rendelkezésre álltak ugyan megfelelő magminták, azonban ezek szinte mindig erősen heterogének, mikrorétegzettek voltak, így a legtöbb esetben nem lehetett három azonos talajmintát kifaragni vagy kiszűrni a nagyobb hengerekből. A triaxiális kísérletek ezeknél a talajoknál a mintavevőcsőből kivett, eredeti átmérőjű mintán készültek.

Annak érdekében, hogy a nyírószilárdsági paraméterekre megbízhatóbb becslést lehessen adni, a hagyományos terhelési séma helyett feszültségpálya-vezérelt vizsgálatok készültek.

Végeredményben 186 db triaxiális nyomókísérlet készült.

2.3.5.3.9 *Dinamikus triaxiális vizsgálatok*

Összesen 80 darab ciklikus triaxiális vizsgálat készült, amelyek céljuk és végrehajtásuk módja szerint 3 fő csoportra voltak bonthatók:

- I.) a terület talajfolyósodási hajlamának értékelését elősegítő feszültségvezérelt vizsgálatok
- II.) az altalaj dinamikus talajparamétereinek (nyírási modulus és csillapítási tényező) meghatározására szolgáló feszültségvezérelt vizsgálatok
- III.) az altalaj módosító hatásának kalibrálására szolgáló alakváltozás vezérelt vizsgálatok

Az I. csoport vizsgálatainak célja a talaj ciklikus teherbírását jellemző görbék meghatározása volt, amely a ciklikus terhelés és a talajfolyósodás bekövetkezéséig szükséges ciklusszám közötti összefüggést mutatja meg.

A II. csoportba tartozó vizsgálatok célja az altalaj dinamikus paramétereinek (nyírási modulus és csillapítási tényező) meghatározása volt. A ciklikus triaxiális vizsgálat a nagy alakváltozások tartományában érvényes dinamikai paraméterek meghatározására alkalmas, míg a kis alakváltozások tartományában érvényes paraméterek előállításához rezonancia oszlopos vizsgálat szükséges. Mivel a szeizmikus vizsgálatok során az alakváltozások elsősorban a kis alakváltozások tartományában mozognak, ezért a ciklikus triaxiális vizsgálatok elsősorban a rezonancia oszlop teszt kiegészítéseként szolgáltak.

A III. csoportba tartozó vizsgálatok célja az volt, hogy a helyszíni módosító hatás vizsgálatához felhasznált többlet pórúsvíznyomás modell kalibrációjához adatot szolgáltatson.

2.3.5.3.10 *Resonant column (rezonancia oszlop) vizsgálatok*

A telített szemcsés rétegek leromlási görbéjének meghatározása érdekében összesen 22 db rezonancia oszlop vizsgálat készült.

A kísérletek rekonstruált homokmintákon készültek változó tömörség, víztartalom és befogási feszültségek mellett.

A vizsgálatok kiegészítéseként 22 db torziós nyíróvizsgálat is készült. A vizsgálat során – a rezonancia oszlop vizsgálatot követően – a minta ugyanazon eszközben nagyobb amplitúdójú, lassú, ciklikus torziós terhelést kapott.

A leromlási görbe, illetve a csillapítási jellemzők értéke a rezonancia oszlop vizsgálatnál körülbelül a $\gamma=10^{-6}$ - 10^{-4} alakváltozás tartományban határozhatók meg, a ciklikus torziós nyírókísérlet ezt a $\gamma=10^{-4}$ - 10^{-3} tartománnyal bővíti ki.

2.3.5.3.11 *Minimális és maximális hézag tényező*

A talajok tömörségi indexének meghatározása céljából meghatározásra kerültek a jellemző rétegek minimális és maximális hézag tényezői (e_{\min} , e_{\max}).

Tekintettel arra, hogy ez elsősorban a talajfolyósodás-vizsgálat szempontjából érdekes, a kísérletek minden esetben a negyedidőszaki szemcsés rétegekből vett mintákon készültek. Összesen 42 esetben kerültek meghatározásra a leglazább és legtömörebb állapothoz tartozó hézag tényezők.

2.3.5.3.12 *Izzítási veszteség*

A szervesstartalmú rétegek azonosítása céljából összesen 14 mintából készült izzítási vizsgálat. Ilyen rétegek a feltöltésben illetve közvetlenül alatta fordultak elő.

2.3.6 *Monitoring rendszer koncepcióterve*

Az új blokkok építése során igen fontos feladat egy olyan geotechnikai monitoring rendszer kiépítése, mely a bővítési munkálatok megkezdésétől kezdve hosszú távon folyamatosan figyelemmel kíséri a geotechnikai-talajmechanikai eredetű változásokat. A változások figyelemmel kísérése igen fontos annak érdekében is, hogy az esetlegesen szükségessé váló beavatkozásokat, módosításokat vagy változtatásokat be lehessen vezetni vagy el lehessen rendelni.

A geotechnikai monitoring rendszer általánosságban a hidrogeológiai adatokról, a talajkörnyezet deformációiról, a póruszvíznyomásról, a talajban keletkező feszültségekről, a környező épületek rezgéseiről valamint mozgásairól kell adatokat szolgáltatson.

A későbbiekben, a létesítmény terveinek birtokában megtervezendő és kiépítendő monitoring rendszernek – a létesítmény nukleáris kockázata és összetettsége miatt – képesnek kell lennie arra, hogy valós időben, folyamatosan adatokat szolgáltatson a földtani-geotechnikai-hidrogeológia környezet változásairól, a meglévő és tervezett szerkezetek viselkedéséről valamint minden olyan körülményről, mely a geotechnikai jellegű kockázatok folyamatos elemzéséhez elengedhetetlen.

Igen fontos megjegyezni, hogy jelen tervezési fázisban nem állt rendelkezésünkre semmilyen információ a bővítési területen tervezett épületekről, létesítményekről, azok méretéről, szerkezetéről, terheléséről, tehát az ezekhez szorosan kapcsolódó monitoring elemek részletes tervezése ebben a fázisban nem végezhető el. Hasonlóképpen nem álltak rendelkezésre a jelenleg üzemelő 1-4. blokkok esetén üzemeltetett monitoring rendszer adatai, elemei és eddigi eredményei.

A monitoring rendszer koncepcióterve ezért kizárólag a feltételezhető létesítmények esetén alkalmazásra javasolt monitoring elemeket valamint azok javasolt módszerét és mennyiségét tartalmazza, valamint javaslatokat az új és régi blokkok monitoring elemeinek összehangolására vonatkozóan.

2.3.6.1 Monitoring rendszer fázisai

A majdani geotechnikai monitoring rendszer három fázist kell, hogy felöleljen.

2.3.6.1.1 Tervezési és előkészítési fázis

A tervezési és előkészítési fázisban a létesítmény tervezése során kiépítendő rendszer elemeit lehet megtervezni, mely célja a létesítmény kiviteli tervezési folyamatának támogatása.

A tervezési és előkészítési fázishoz kapcsolódóan olyan monitoring elemek kiépítése szükséges, mely az építés megkezdése előtt már adatokat szolgáltat. A rendszer ezen elemei képesek az építkezés megkezdése előtti „nulla állapotot” regisztrálni, így a későbbi építési fázis során keltett hatásokat egy eredeti állapothoz lehet majd viszonyítani. Az ilyen elemek és mérőeszközök beépítése gyakorlatilag független a területen épülő létesítményektől, nem függenek azok elrendezésétől, méretétől, terhelésétől, szerkezetétől valamint egyéb paramétereitől.

A beruházás előkészítési fázisában alkalmazandó monitoring rendszerek:

- talajdeformációk és mozgások mérése hagyományos geodéziai módszerekkel
- talajdeformációk és mozgások mérése műholdas eszközökkel
- talajvízszint megfigyelő kutak
- pórusvíznyomásmérő szondák

2.3.6.1.2 Kivitelezési fázis

A kivitelezési fázisban lehet a monitoring rendszert olyan elemekkel bővíteni, melyekkel a kivitelezés során fellépő hatásokat (pl. épületszerkezetek süllyedései, feszültségnövekmények, igénybevételek, rezgések, stb.) lehet nyomon követni, beleértve az meglévő létesítmények ellenőrzését is.

A kivitelezési fázis során kiépülő monitoring rendszer elemei már egyértelműen a beépülő szerkezetektől függenek, azokhoz szervesen kapcsolódnak (pl. résfalak, cölöpfalak, épületek, csővezetékek, stb.). A monitoring elemek tervezése minden esetben együtt történik a létesítményi elemek kiviteli tervezésével, az elemek szorosan kapcsolódnak a tervezett szerkezethez, követik azok méreteit, elrendezését és beépítési fázisait. A rendszer ebben az esetben a tervezők által elvárt szerkezeti viselkedés ellenőrzésére szolgál, a tervezési paraméterek verifikálására, a számított elmozdulások, terhelések, feszültségek igazolására épül ki.

A kivitelezési fázisban az alábbi monitoring rendszerek alkalmazhatók előnyösen, célszerűen automata rendszerbe integrálva:

- beépített automata alakváltozás-, nyomás- és erőmérő cellák
- cölöp próbaterhelési eszközök
- szerkezeti integritásvizsgálat
- deformációmérés extenzométer, inklinométer és elhajlasmérő (tiltméter) eszközökkel
- automata szintező rendszer
- automata térbeli deformációmérő rendszer

2.3.6.1.3 Üzemeltetési fázis

Az üzemeltetési fázis során legtöbbször az előző fázisok során kiépített rendszer adatainak elemzése folyik, de előfordulnak olyan esetek, mely során a meglévő rendszert további monitoring elemekkel és mérőberendezésekkel kell bővíteni. Ilyen eset lehet pl. valamilyen szerkezeti károsodás figyelemmel kísérése, süllyedések utólagos mérése, repedések tágasságának mérése, esetleg rezgések és vibrációk detektálása.

Az előzőekben ismertetett eljárások közül várhatóan a következő monitoring elemek folyamatos és rendszeres megfigyelése szükséges az üzemeltetési időszak során:

- talajvízszint megfigyelő kúthálózat
- felszín-süllyedések mérése műholdas radar interferometriai módszerrel
- automata térbeli deformációmérő rendszer
- újonnan kiépítendő monitoring elemek is szükségessé válhatnak.

2.3.6.2 Intézkedési terv, riasztási szintek

A teljes monitoring rendszerhez minden esetben **intézkedési tervet** kell készíteni. Az intézkedési terv tartalmazza a folyamatos monitoring során tapasztalt esetleges eltérések, változások észlelése során szükségessé váló intézkedések részleteit.

A kiépülő monitoring elemek mindegyikéhez több szakterület együttműködése alapján riasztási szinteket kell kijelölni. A nemzetközi gyakorlat alapján három riasztási fokozatot szokás megkülönböztetni, melyek az alábbiak.

2.3.6.2.1 Elsőfokú (sárga) szint

Ebben az esetben azonnali beavatkozásra nincs szükség, de a kapott értékek figyelmeztetnek arra, hogy a káros folyamatok beindultak, fokozott körültekintéssel kell eljárni. Helyi szinten kell dönteni az esetleges beavatkozásokról, változtatásokról, valamint a kapott monitoring eredményeket elemezni kell. A monitoring mérések időpontjait és gyakoriságát szükség szerint időben sűríteni kell, esetleg újabb kiegészítő monitoring módszereket kell alkalmazni a problémás területen a jelenség pontosabb követhetősége érdekében.

2.3.6.2.2 Másodfokú (narancssárga) szint

Másodfokú szinten a káros folyamatok erőteljes változást mutatnak, de közvetlen veszély még nem áll fent. Ebben az esetben felelős szakértő, illetve mérnök jelenlétével szükséges dönteni a beavatkozásokról, esetleges változtatásokról. Minden esetben felelős döntés kell születessen a monitoring mérések sűrítéséről, továbbá szükséges szerint ki kell terjeszteni azokat az eredmények ismeretében.

2.3.6.2.3 Harmadfokú (piros) szint

Azonnali beavatkozás szükségessége lép fel, melyet az erőmű kárelhárítási szabályzataival összhangban kell elvégezni. Piros szint esetén azonnal teljes körű szakértői, illetve mérnöki feladatokat ellátó személyzet összehívása szükséges.

2.3.6.3 Meglévő és új monitoring rendszer kapcsolata

A meglévő erőműi blokkok esetén jelenleg is üzemel egy monitoring rendszer, mely a rendelkezésre álló információk szerint két fő elemből áll:

- geodéziai monitoring (mozgásmérések)
- hidrogeológiai monitoring (meglévő vízszint-érzékelő kutak észlelése)

A meglévő monitoring rendszer további üzemeltetése és a mérések folytatása szükséges és elengedhetetlen, mivel az új blokkok építésének mérhető és érzékelhető hatása lesz a most üzemelő blokkokra.

A jelenleg működő monitoring rendszer nem számolt az új blokkok építésével, így a meglévő rendszer felülvizsgálata igen fontos feladat. A monitoring elemek típusát, mérési gyakoriságát, a rendszer esetleges kiegészítésének szükségességét meg kell vizsgálni.

Fontos feladat tovább, hogy a jelenlegi és jövőbeli monitoring rendszer adatbázisa a jövőben egy rendszerbe kerüljön integrálásra. A régi és új blokkok közös üzemelési ideje alatt keletkezett adatok segítségével így részletes és megbízható elemzések készülhetnek a létesítmények geotechnikai eredetű mozgásairól, feszültségeiről, rezgéseiről és egyéb paramétereiről.

Mindenképpen az összehangolt monitoring rendszer részét kell képezze az új blokkok építéskor készítendő mély munkagödör esetén végzett víztelenítés hatása is. Adott esetben a talajvízszint leszívása jelentős hatással lehet a meglévő 1-4. blokkok épületeinek és szerkezeteinek süllyedéseire, süllyedés-különbségeire, melyet valós időben, megfelelő pontossággal kell követni, hogy az esetleges káros folyamatokat azonnal észlelni lehessen és a szükséges intézkedéseket meg lehessen tenni.

A meglévő blokkok esetén tehát elengedhetetlen egy folyamatosan működő, megfelelő pontosságú és megbízhatóságú monitoring rendszer, mely a meglévő elemek mellett tartalmazza az új blokkokhoz kiépülő rendszer bizonyos elemeit.

A régi blokkok vizsgálatához kiépítendő monitoring rendszer feltétlenül szükségesnek tartott elemei:

- automata térbeli deformációmérő rendszer
- hagyományos geodéziai módszerek
- hidrogeológia monitoring rendszer

A régi blokkokhoz szükséges monitoring rendszer további javasolt elemei:

- felszínsüllyedések mérése műholdas radar interferometriai módszerrel
- szerkezeti rezgéseket mérő rendszer
- szerkezeti repedésmérő rendszer (szükség esetén)

Feltárások helyszínrajza a jelentéshez csatolt mellékletként kerülnek közlésre (13. melléklet).

2.4 Szeizmológia

2.4.1 *A telephely geológiai, geofizikai, szeizmológiai kutatásainak áttekintése, a rendelkezésre álló elektronikus dokumentumtár kiegészítése, fejlesztése*

A paksi telephely földtani, geofizikai kutatása az 1960-as évekre nyúlik vissza. A vizsgálatokról sok száz kutatási jelentés és dokumentum készült, mely az adott kor technikai színvonalának megfelelően nagyrészt papír alapú dokumentáció.

A dokumentáció egy részét már szkenneléssel elektronikus formára alakították; kb. 200 kutatási jelentést szkenneltek, három témakörre (geotechnika, földtan, geofizika) osztva. A geotechnikai témakör 124 dokumentumával jól lefedett, a geofizika (52) és a földtan (15) esetleges.

Az azóta eltelt időszakban az anyag további dokumentumokkal bővült, melyek nagy része már elektronikusan is fellelhető (lásd 2.1.1 fejezet).

2.4.2 *A jelentős (karakterisztikus) magyarországi földrengések intenzitás eloszlásának és intenzitás csillapodásának vizsgálata*

A fejezetben foglaltakról részletes információk itt találhatóak: [225][234][236]

A földrengés hatásának távolság szerinti csillapodása az egyik olyan input, melyre a veszélyességi számítás leginkább érzékeny. Megfelelő számú helyi „strong motion” adat hiányában a szakirodalomban elérhető számos csillapodási összefüggés közül kell kiválasztani az adott szeizmotektonikai körülményekhez leginkább illeszkedőket. Az intenzitás csillapodás meghatározása a nagyobb magyarországi földrengésekre, illetve ezek összehasonlítása olyan régiók intenzitás-csillapodásaival, ahol a gyorsulás-csillapodás is rendelkezésre áll, nagymértékben segít a megfelelő egyenletek kiválasztásában, illetve a kiválasztott egyenletekhez rendelt súlyok meghatározásában.

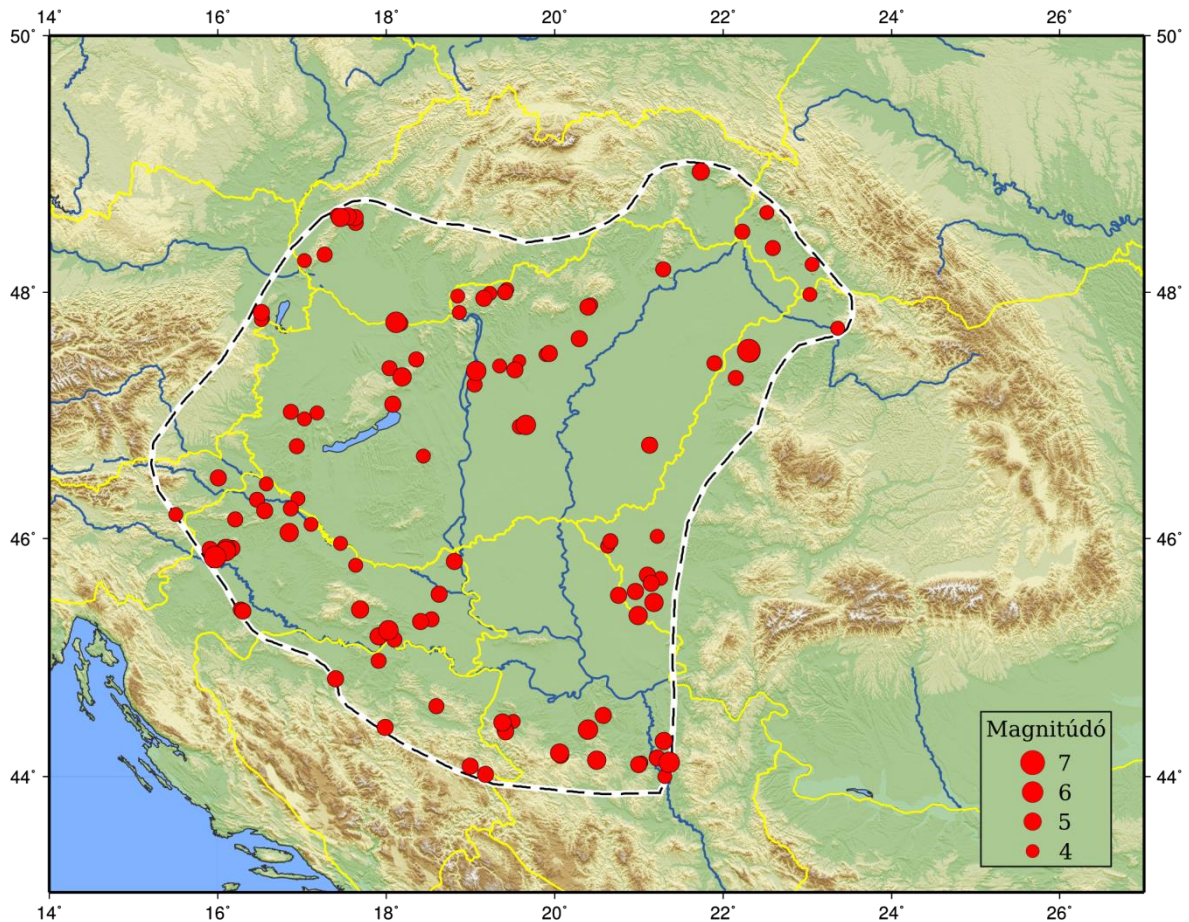
Magyarországon a földrengés adatok hivatalos és módszeres gyűjtése és feldolgozása 1881-ben kezdődött. Ennek is köszönhető, hogy rendelkezésre áll egy meglehetősen nagy terjedelmű történelmi földrengés adatbázis, ami a földrengések kipattanási helye, ideje és erőssége mellett az intenzitás-eloszlásról, annak a távolsággal való csillapodásáról is sok és értékes információt szolgáltat.

A munka a következő részfeladatok elvégzését foglalja magában:

- magyarországon és közvetlen környezetében kipattant nagyobb földrengések intenzitás adatainak összegyűjtése, értékelése
- az adatok rendszerezése, homogenizálása
- megfelelő intenzitáscsökkenési formulák kiválasztása
- regressziós együtthatók kiszámítása
- összehasonlítás más régiók csillapodási egyenleteivel
- értelmezés

2.4.2.1 A vizsgált terület

A Pannon-medence földtani felépítése és tektonikája különbözik a környező hegyvidéki területektől. A vékony, magas hőmérsékletű kéregben nem tudnak nagy feszültségek felhalmozódni, emiatt a 6,5-nél nagyobb magnitúdójú földrengések kipattanási valószínűsége nagyon kicsi. A rengések a kéreg külső, viszonylag ridegebb részében, általában 20 km-nél kisebb mélységben keletkeznek. Az eltérő földtani-tektonikai szerkezet miatt a földrengéshullámok csillapodása is különbözik a környező Alp-Kárpáti hegységrendszerbeli csillapítástól. Ezért a csillapodás vizsgálatához a kiválasztott terület a Pannon medence belseje, aminek határa a 30 km-es kéregvastagsággal lett definiálva (53. ábra).



53. ábra A Pannon medence 30 km-es kéregvastagsággal definiált határa és a vizsgálatban felhasznált földrengések epicentrumai

2.4.2.2 Eredmények

Az intenzitás-csillapodás meghatározása a következő formula alapján történt:

$$I = c \cdot M + d \cdot \log(h) + e - a \cdot \log \sqrt{\frac{R^2 + h^2}{h^2}} - b \cdot (\sqrt{R^2 + h^2} - h)$$

ahol I az EMS makroszeizmikus skálán meghatározott intenzitást, M a magnitúdót (M_w vagy M_L), h a fészekmélységet, R az epicentrális távolságot jelöli, a , b , c , d , e pedig regressziós eljárás során meghatározott konstansok. Az egyenlet első három tagja az

epicentrális távolságot, a negyedik tag a geometriai szóródást, az utolsó pedig az energia elnyelődést reprezentálja.

Az egyenlet regressziós együtthatóinak átlagértékeit és szórásait az alábbi táblázat foglalja össze. A determináltsági koefficiens értékére az intenzitás adatok nagy szórása miatt $R^2 = 0,56$ adódott.

A Pannon-medencére számított intenzitás-csillapodási egyenlet regressziós paraméterei és azok szórásait ($M_L \geq 4$) tartalmazza az alábbi (46. táblázat) táblázat.

46. táblázat A Pannon-medencére számított intenzitás-csillapodási egyenlet regressziós paraméterei és azok szórásai ($M_L \geq 4$)

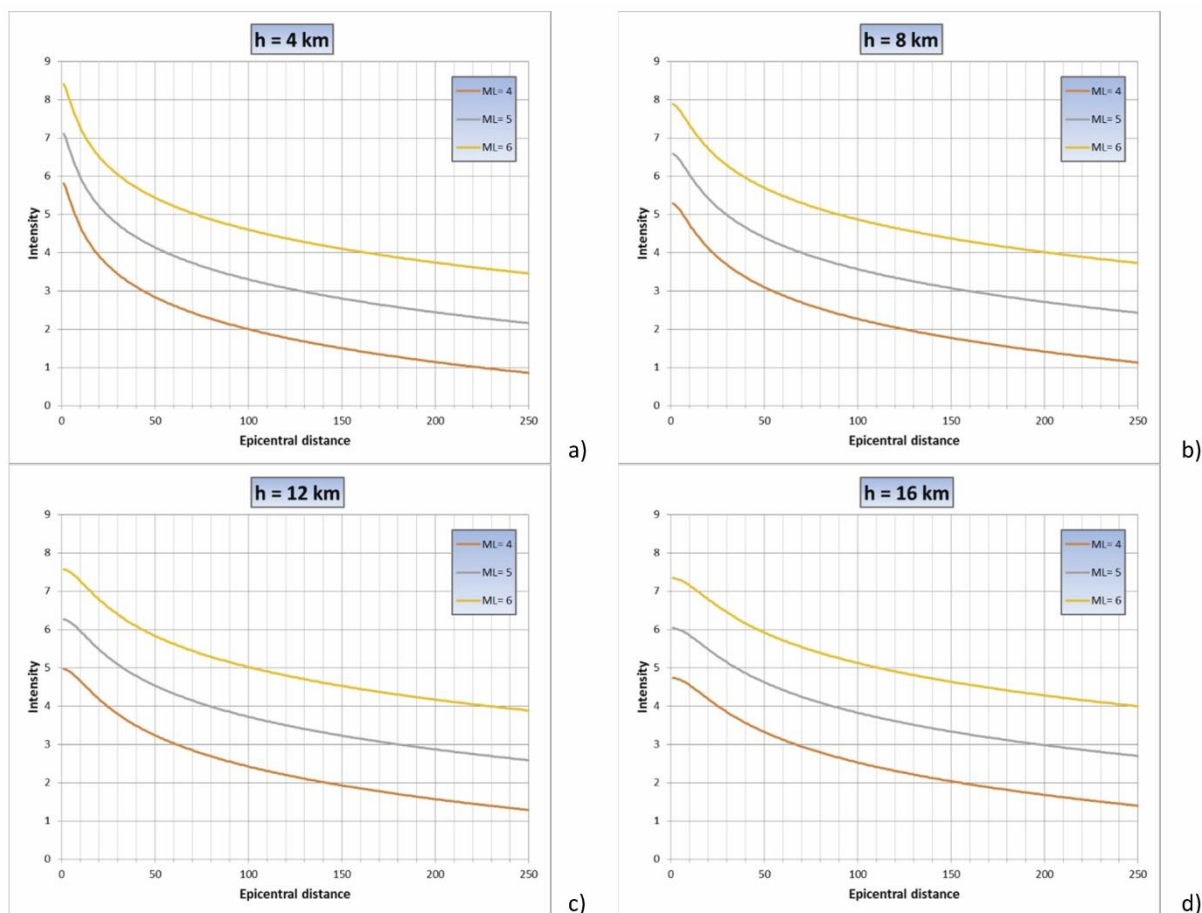
	a	b	c	d	e
átlag	2,7231	0,0004	1,2999	-1,8143	1,7407
szórás	0,0265	0,0002	0,0095	0,0291	0,0560

A paraméterek átlagértékeit behelyettesítve az alábbi csillapítást leíró egyenlet adódik (1. képlet):

$$I = 1,30M_L - 1,81 \cdot \log(h) + 1,74 - 2,72 \cdot \log \sqrt{\frac{R^2 + h^2}{h^2}} - 0,0004 \cdot (\sqrt{R^2 + h^2} - h)$$

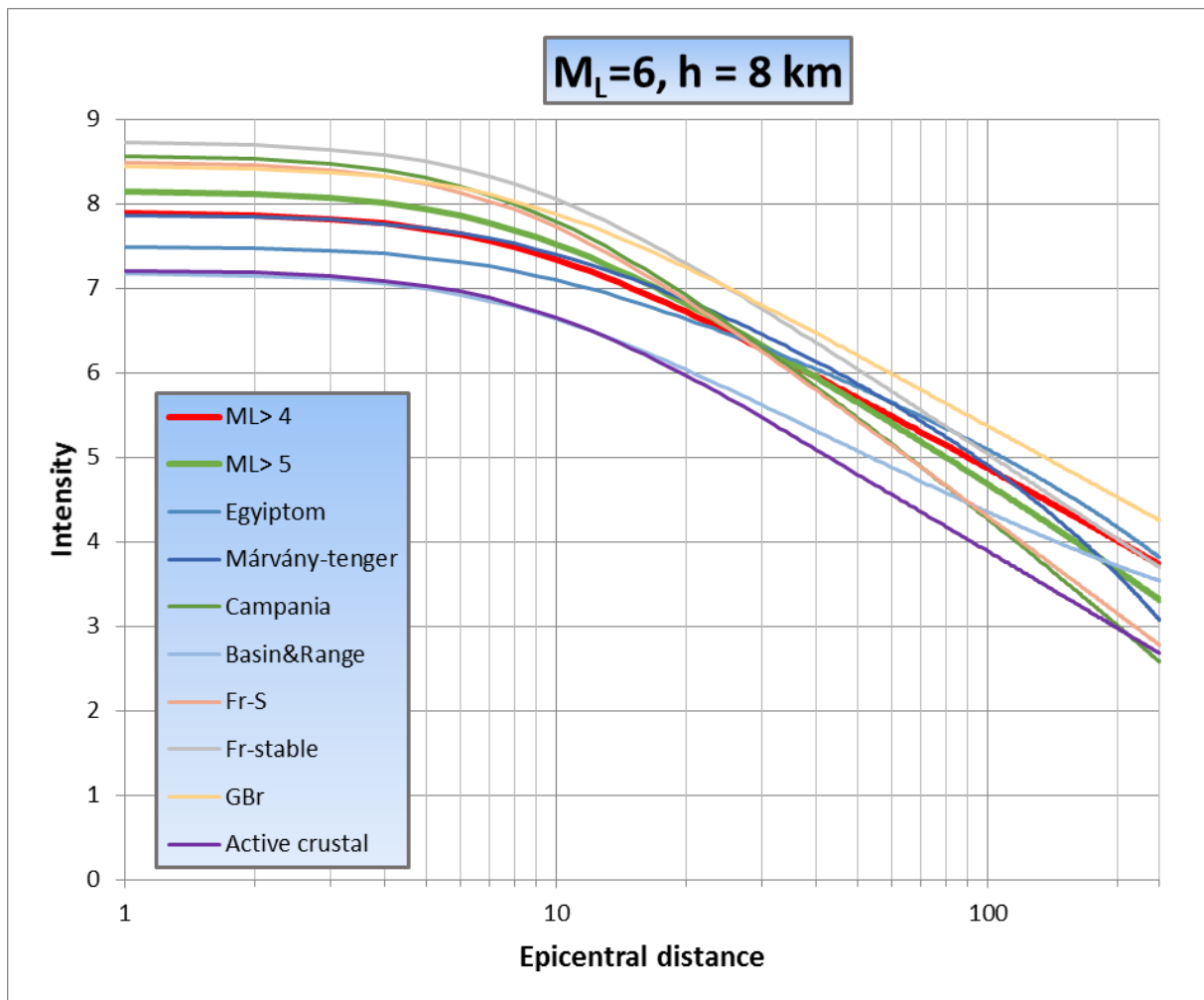
1. képlet A a csillapítást leíró egyenlet a paraméterek átlagértékeivel behelyettesítve

A különböző fészekmélységekre (4, 8, 12 és 16 km) és az ML 4, 5, 6 magnitúdójú földrengésekre számított átlagos csillapítási görbék lefutását az alábbi ábra mutatja (54. ábra).



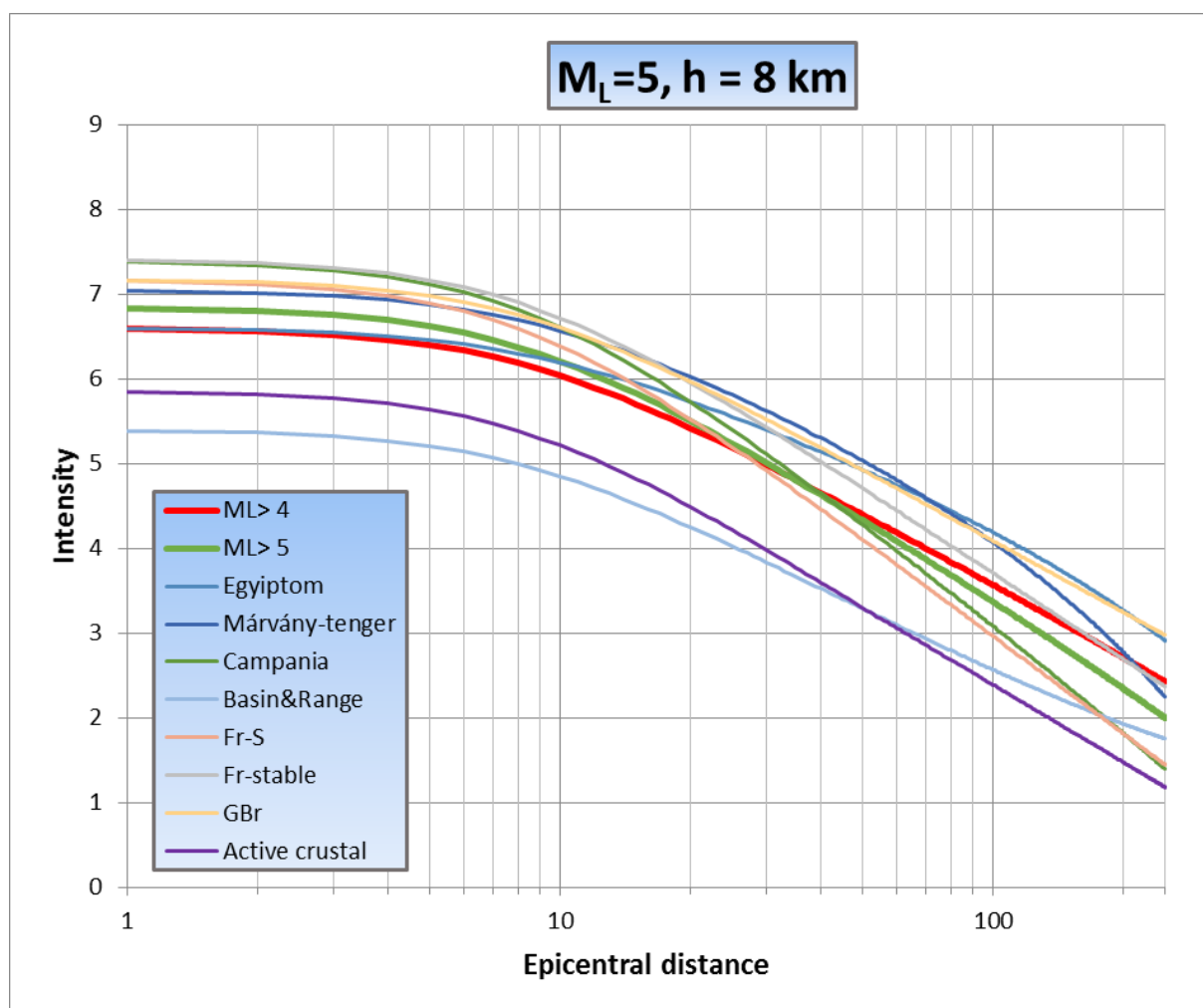
54. ábra Különböző fészekmélységekre (4, 8, 12 és 16 km) és ML 4, 5, 6 magnitúdójú földrengésekre számított átlagos csillapítási görbék

A hatos magnitúdójú földrengés számított gyengülési görbéi leginkább a Márvány-tenger környezetére meghatározott csillapodási egyenletre hasonlítanak (55. ábra). Ugyanez azonban nem mondható el az ötös magnitúdójú földrengésre számított egyenletre. Ott az epicentrum környezetében nagy a hasonlóság Egyiptom és a Márvány-tenger régiójával, azonban nagyobb távolságokra ez nem igaz, a különbség megközelíti az egy intenzitás fokot (56. ábra). A kapott intenzitás-gyengülési görbe minden epicentrális távolságnál párhuzamosan fut az aktív kontinentális kéregre kapott görbével, de a Pannon medencére becsült intenzitás érték minden esetben közel egy intenzitásfokkal nagyobb. A vizsgálat alapján nem mondható egyetlen vizsgált területre sem, hogy az ott tapasztalt intenzitás csökkenés pontosan megegyezik a Pannon-medencében az intenzitások távolsággal való csökkenésével.



55. ábra A 4-esnél nagyobb, illetve az 5-ösnél nagyobb magnitúdójú Pannon-medencei adatokra illesztett intenzitás-csökkenési egyenletek összehasonlítása más területek csillapodási egyenleteivel

$M_L=6$ magnitúdójú és 8 km-es fészekmélységű földrengés feltételezésével. Rövidítések: Fr-S: Dél Franciaország, Fr-stable: Franciaország stabil területei, GBr: Nagy-Britannia



56. ábra A 4-esnél nagyobb, illetve az 5-ösnél nagyobb magnitúdójú Pannon-medencei adatokra illesztett intenzitás-csökkenési egyenletek összehasonlítása más területek csillapodási egyenleteivel

$M_L=5$ magnitúdójú és 8 km-es fészekmélységű földrengés feltételezésével. Rövidítések: Fr-S: Dél Franciaország, Fr-stable: Franciaország stabil területei, GBr: Nagy-Britannia)

2.4.3 A kecskeméti földrengés forrásterület részletes szeizmológiai vizsgálata

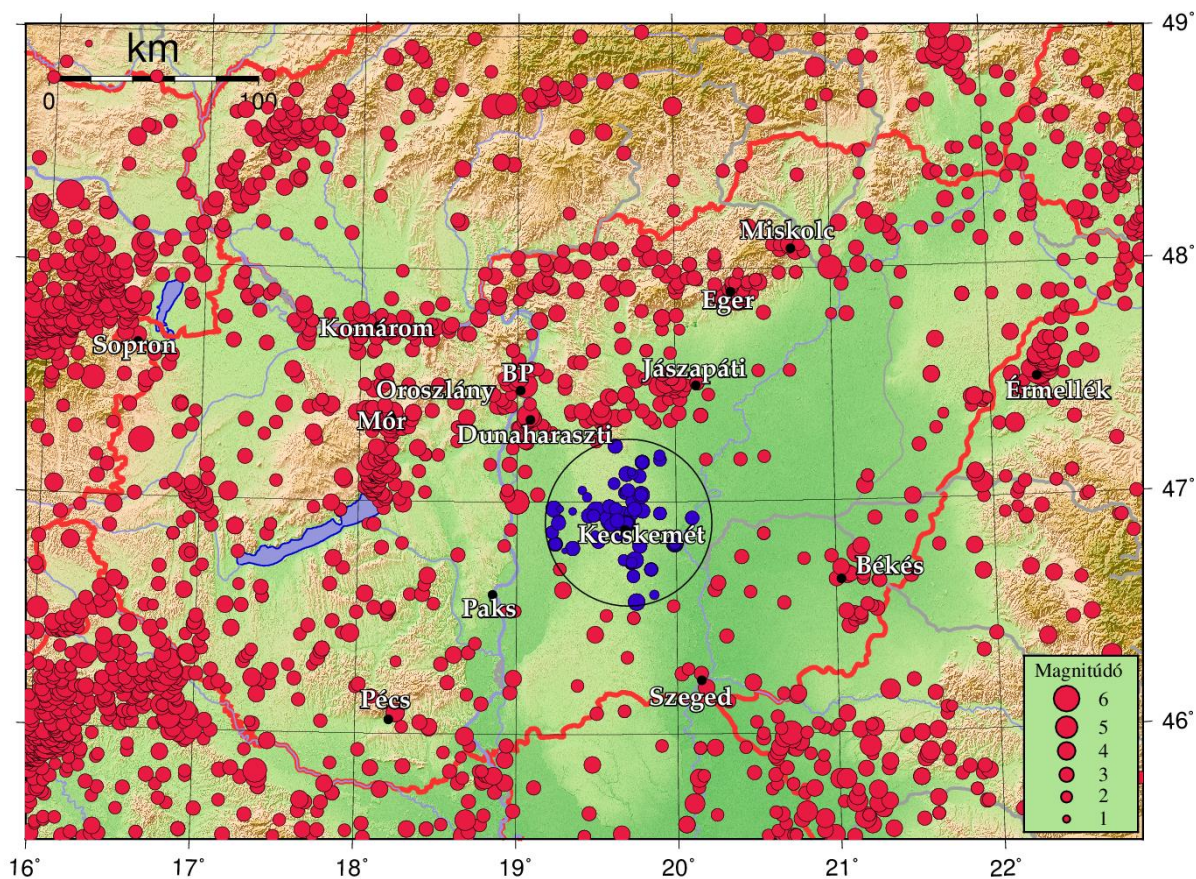
A fejezetben foglaltakról részletes információk itt találhatóak: [225][234][236]

A Kárpát-medence szeizmicitása mérsékeltnek mondható, ez viszont nem jelenti azt, hogy komoly károkat okozó földrengések nem történnek időnként hazánkban. Kecskemét városát 1911-ben rázta meg egy $M = 5,6$ méretű rengés, amiről már szeizmogramok is rendelkezésre állnak. Az 1911-es kecskeméti rengés a mai Magyarország történetében számon tartott kilenc legnagyobb földrengés egyike.

A kecskeméti földrengés-forrásterületnek kiemelkedő szerepe van a tervezett telephely földrengés veszélyeztetettségének meghatározásában, hiszen ez a legközelebbi olyan forrászóna, melyben jelentős, komoly károkat okozó földrengés fordult elő. Determinisztikus megközelítésben a Kecskeméten bekövetkezett földrengéseket némi konzervativizmus figyelembe vételével feltételezhetjük az atomerőmű telephelyen is.

2.4.3.1 A vizsgált terület

Kecskemét 40 km sugarú környezetében összesen 255 földrengés szerepel a hazai katalógusban, és a rengések ~10 %-ának a mérete a Richter skálán $M_L > 3$, és mintegy 90%-áról makroszeizmikus megfigyelések is rendelkezésre állnak (57. ábra). A rengések közül 7 mérete meghaladta a $M_L = 3,5$ értéket, amik közül a legnagyobb az 1911-es $M = 5,6$ földrengés volt.



57. ábra Kecskemét 40 km-es környezetében kipattant rengéseket kék körök jelzik 456 és 2014 között. Paktól Kecskemét 70 km-re fekszik

2.4.3.2 Eredmények

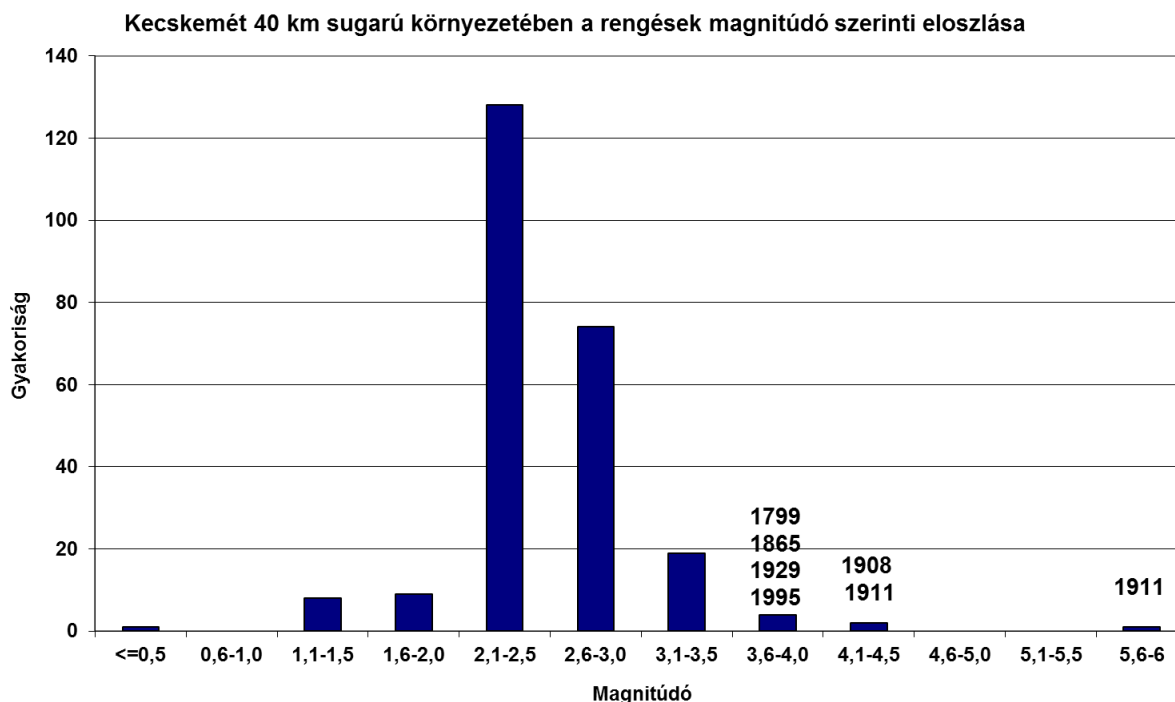
Az 1911-es $M = 5,6$ földrengés kipattanásáig 126 rengés keletkezett a vizsgált területen, elsősorban Kecskeméten, vagy annak közelében, Nagykőrös, Tiszaalpár, Fülöpszállás Nagykőrös, Cegléd, Lajosmizse is szerepel a katalógusokban. 1911 után kecskeméti epicentrumú földrengések még 1929-ig gyakran előfordultak, majd 10 évnyi szünet után 1937-ben pattant ki egy $M = 2,9$ rengés. Utoljára 1992-ben Kecskeméttől DK-i irányban 17 km-re $M = 2,7$ -es és 2003-ban Ágasegyházában (Kecskeméttől 17 km-re) $M_L = 1,5$ rengést regisztráltak. Érezhető rengés legutóbb 1995-ben Szabadszálláson (Kecskeméttől 38 km-re) történt $5,5^\circ$ -os intenzitással, és a Richter skálán $M_L = 3,4$ erősséggel (58. ábra).

A fészekmélység az egyik lényeges paraméter, mely nagyban befolyásolja a felszínen tapasztalható intenzitás értékeket, és a károkkal érintett terület nagyságát. A Kecskemét 40 km sugarú környezetében észlelt/ismert 255 földrengés közül csak 24-hez tartozik fészekmélység meghatározás, és ezek közül csak 19-hez műszeres adatokból számolt érték, de

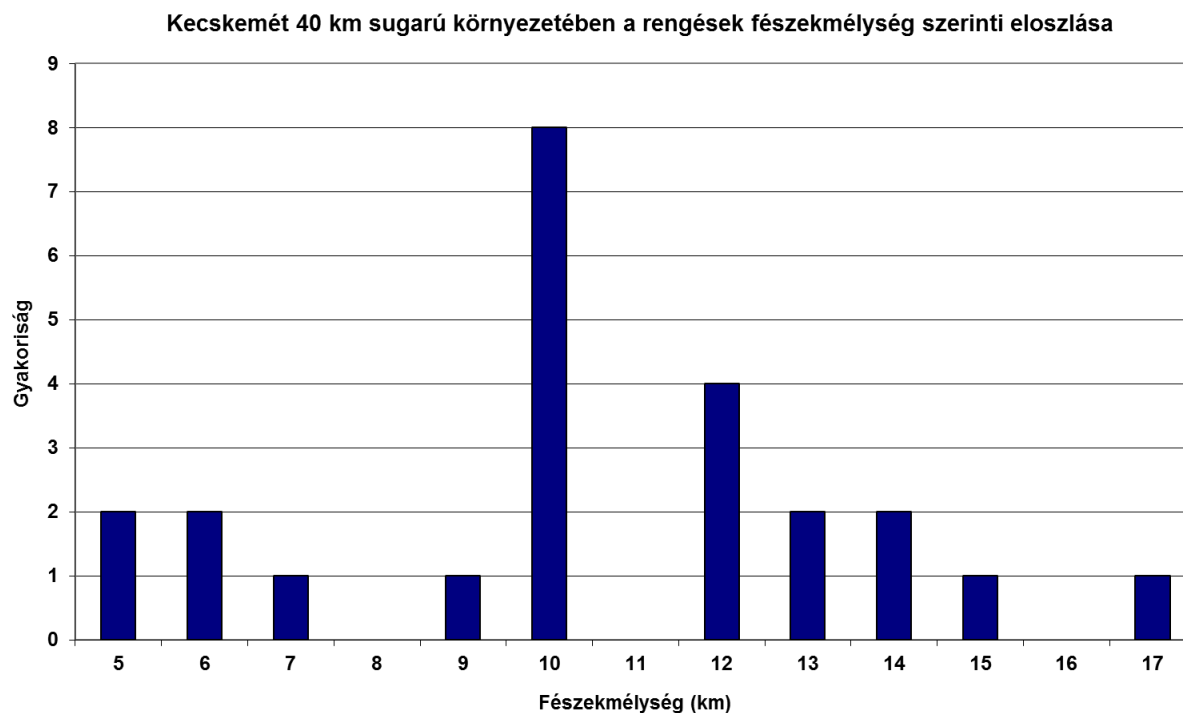
ez utóbbiak is jelentős hibával terheltek. Jellemző a sekély fészekmélység erre a területre (59. ábra).

A kecskeméti 1911. július 8-i $M = 5,6$ rengésre a korabeli megfigyelései alapján a különböző szerzők egymástól 1-1,5 fokban eltérő maximális intenzitás értékeket, különböző elhelyezkedésű és alakú izoszeiszta vonalakat és fészekmélység paramétereit határoztak meg. Ezek alapján a rengés fészekmélysége 3 km és 22 km között lehetett a különböző elemzők szerint. Az összegyűjtött különböző községekhez tartozó intenzitás adatok alapján a mai egyik legkorszerűbb izoszeiszta rajzoló rutint felhasználva a fészekmélység 7,7 és 11,7 km közöttinek adódott. Az adatpontok alapján az epicentrális intenzitás értékét $I_0 = 7,7$ és $I_0 = 8,2$ közöttinek határozták meg.

A Kárpát-medence $M > 5$ földrengései folyamán több esetben a talajfolyósodás jelensége is megfigyelhető volt. A kecskeméti 1911. július 8-i $M = 5,6$ rengés esetében is beszámoltak iszapvulkán kialakulásáról, (amit fotóval is illusztráltak), és a kutak vize zavaros lett. Ezek a beszámolók Kecskemét városára korlátozódtak. A hazai tapasztalatok szerint kedvezőtlen talajviszonyok esetén a rengés 20–50 km-es környezetében is számítani lehet a talaj megfolyósodására.



58. ábra Kecskemét 40 km sugarú környezetében észlelt földrengések magnitúdó szerinti eloszlása



59. ábra Kecskemét 40 km sugarú környezetében észlelt földrengések fészekmélység szerinti eloszlása

2.4.4 A földrengés adatbázis (katalógus) összeállítása, homogenizálása, M_w magnitúdóra való áttérés

A fejezetben foglaltakról részletes információk itt találhatóak: [225][234][235]

A munka célja a rendelkezésre álló legteljesebb történelmi és műszeres földrengés adatok összegyűjtése, homogenizálása, és egy momentum magnitúdó (M_w) alapú földrengés katalógus összeállítása a szeizmikus veszélyeztetettség meghatározásához.

2.4.4.1 A vizsgált terület

A 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet (7.5.2.0300.) előírja, hogy a földrengések tekintetében átfogó adatgyűjtést és értékelést kell végezni regionális szinten, a telephely legalább 300 km sugarú környezetében. A NAÜ SSG-9 több pontban (3.24-3.33) részletes ajánlást fogalmaz meg a prehistorikus, historikus, műszeres és projekt specifikus műszeres (mikroszeizmikus monitorozás) adatok egységes katalógusba való foglalásával kapcsolatosan.

Történelmi, logisztikai és technikai okok miatt a földrengés katalógus célterülete a 44-50 É és 13-28 K koordinátákkal határolt földrajzi ablak.

A szeizmológiai adatbázis egy egyre finomodó felbontású adatrendszer összeállítását jelenti, de a földrengés adatok jellegéből következően a finomodás nem térben, hanem időben történik. A földrengés gyakorisági görbét a paleo-rengések ($< 10^{-3}/\text{év}$), történelmi rengések ($10^{-3} - 10^{-2}/\text{év}$), műszeresen megfigyelt rengések ($10^{-2} - 10^{-1}/\text{év}$) és a telephely specifikus mikroszeizmikus monitorozás ($> 10^{-1}/\text{év}$) adatainak összessége határozza meg.

2.4.4.2 Eredmények

A földrengések méretének jellemzésére a jelenlegi nemzetközi mérnökszeizmológiai gyakorlatban a momentum magnitúdó (M_w) a leggyakrabban alkalmazott skála. Ennek legfőbb oka az, hogy az újabb generációs csillapítási egyenletek is momentum magnitúdóban vannak kifejezve.

A momentum magnitúdó olyan dimenziótalan szám, mely a szeizmikus momentum logaritmusával arányos:

$$M_w = \frac{2}{3} \log_{10}(M_0) - 6.07$$

ahol M_0 a szeizmikus momentum Nm-ben (10^7 dyne cm) kifejezve. A konstansok úgy lettek megválasztva, hogy a skála minél inkább illeszkedjen a hagyományos magnitúdó skálákhoz.

A szeizmikus momentum a μ nyírási modulus (Pa-ban), az A törési felület (m^2 -ben) és a D átlagos elmozdulás (m-ben) szorzata:

$$M_0 = \mu A D$$

Így M_0 mértékegysége energia (Joule-ban vagy Nm-ben).

A momentum magnitúdó közvetlen meghatározásához a földrengés keletkezése során létrejött törés dinamikus adatait kell ismerni. Ez csak jó minőségű, nagy jel/zaj arányú, szélessávú szeizmogramok alapján, elsősorban nagyobb méretű földrengések esetében lehetséges. Minden más esetben ún. tapasztalati konverziós képletek alapján lehet átszámítani az adott más magnitúdót momentum magnitúdóra.

A teljes katalógus összeállításához felhasznált részkatalógusokban általában nem egységesek a magnitúdók, már ezekben is különböző jellemzők találhatók a rengés nagyságára vonatkozóan.

A historikus eseményeknél a rengés nagyságát leggyakrabban az I_0 epicentrális intenzitás írja le. A katalógusban ezen kívül előfordulnak még az alábbi magnitúdók:

- ML lokális magnitúdó
- Ms felületi hullám magnitúdó
- Mb térhullám magnitúdó
- Md időtartam (duration) magnitúdó
- M+ átlagos, műszeres magnitúdó

A Magyarországi földrengések évkönyve / Hungarian Earthquake Bulletin (1995-2014) a rengések magnitúdóját egységesen kezeli, arra minden esetben az ML lokális magnitúdót használja.

Az ISC az egyes rengéseknél megadja a lokális központok magnitúdóit, melynek következtében nagyon sokféle magnitúdó jelölés fordul elő a katalógusban.

- md időtartam (duration) magnitúdó
- MD időtartam (duration) magnitúdó
- mL lokális magnitúdó
- ML lokális magnitúdó

- MI lokális magnitúdó
- mb térhullám magnitúdó
- Mb térhullám magnitúdó
- M jelöletlen magnitúdó
- A NEIC néhány, de egységes magnitúdó jelölést használ.
- md időtartam (duration) magnitúdó
- ml lokális magnitúdó
- mb térhullám magnitúdó
- M jelöletlen magnitúdó

Az EMSC az egyes rengéseknél szintén megadja a lokális központok magnitúdóit, melynek következtében itt is többféle magnitúdó fordul elő, bár a jelölések viszonylag egységesek.

- ML lokális magnitúdó
- mb térhullám magnitúdó
- Ms felületi hullám magnitúdó
- Mw momentum magnitúdó
- MD időtartam (duration) magnitúdó

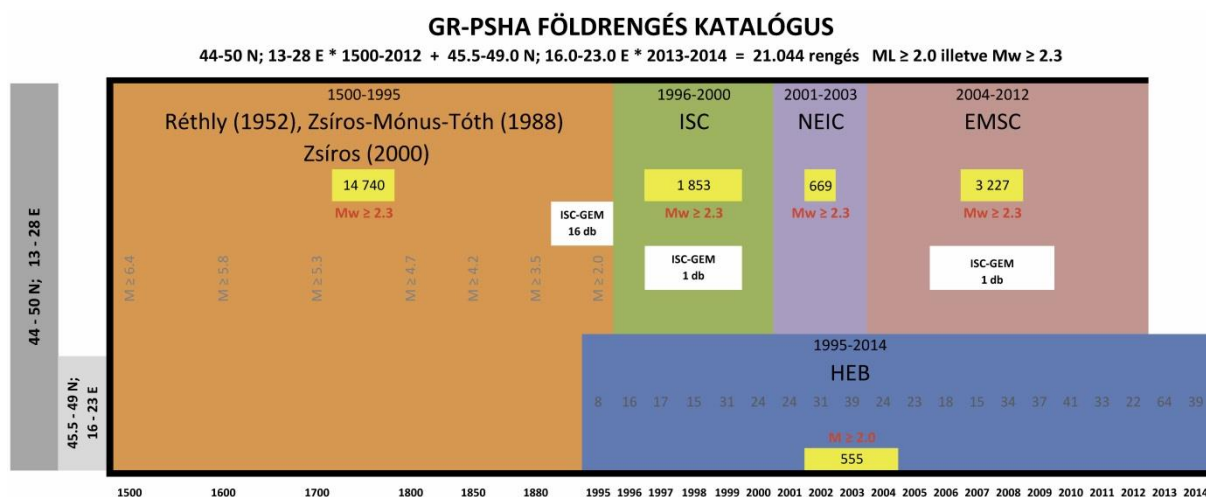
Az ISC-GEM katalógus a rengések magnitúdóját egységesen kezeli, arra minden esetben az M_w momentum magnitúdót adja meg.

A historikus és műszeres rész-katalógusok és források alapján egy átfogó kompozit földrengés katalógus lett összeállítva a 44 – 50 északi szélesség és 13 – 28 keleti hosszúság által határolt földrajzi ablakra. A katalógus 1500-tól 2012-ig a teljes területre, 2014-ig pedig a Magyarországot magába foglaló kisebb földrajzi ablakra (45,5-49 É; 16-23 K) tartalmazza az $M_w \geq 2,3$ ($M_L \geq 2,0$) összes ismert földrengést. A kisebb rengéseket a katalógusból el lettek távolítva.

A katalógus 21 044 földrengést és annak minden ismert hipocentrum adatát tartalmazza (60. ábra).

1500-1994-ig lényegében a historikus források, illetve makroszeizmikus adatok képezik a katalógus alapját. A rengések nagyságát elsősorban az epicentrális intenzitás írja le, a településekhez kötött epicentrum bizonytalansága jellemzően nagy, esetenként 5 – 50 km.

1995-2014-ig a Magyarországot magába foglaló földrajzi ablakra (45,5-49 É; 16-23 K) az adatok elsődleges forrása a *Magyarországi földrengések évkönyve / Hungarian Earthquake Bulletin*. Ezen adatok (555 földrengés) esetében az epicentrum bizonytalansága jellemzően 1 – 5 km, a rengések nagysága pedig Richter-féle lokális ML magnitúdóban van megadva.



60. ábra A „GR-PSHA” földrengés katalógus forrásai és összetétele

A Magyarországon kívüli területre 1996-2000 között az ISC bizonyult a legteljesebb forrásnak, 1.853 $M_w \geq 2,3$ földrengést tartalmaz.

2001-2003 évekre a NEIC katalógusa a legteljesebb, 669 olyan földrengést tartalmaz, melyre $M_w \geq 2,3$.

2004-2012 időszakban az EMSC katalógus tartalmazza a legtöbb, 3.227 $M_w \geq 2,3$ földrengést.

Az ISC-GEM katalógust, illetve az abban szereplő rengés-paraméterek elsődlegesnek lettek tekintve minden olyan esetben, amikor valamely rengés abban fellelhető volt.

A fenti források alapján összeállított katalógus homogenizálása során minden eseményére meg lett határozva az M_w magnitúdó tapasztalati összefüggések alapján, egy prioritási lista szerint.

A földrengésveszély számításánál szokásos annak feltételezése, hogy a földrengések – különösen az egymást követő rengések – méretben és térben egymástól független események. Szokásos feltételezés a szeizmológiában az is, hogy a földrengések időbeli előfordulása Poisson folyamat. Mivel ez a feltétel csak akkor teljesül, ha a katalógus csak független eseményeket tartalmaz, az elő- és utórengéseket el kell távolítani az adatbázisból. Ezt a műveletet deklaszterizációnak is nevezik, mert az egyes rengéscsoportok (előrengések, főrengések, utórengések) ún. klasztereket alkotnak. A 21 044 földrengést tartalmazó teljes katalógusban 1 325 klasztert (összesen 5 106 eseménnyel) lehetett azonosítani.

A katalógus egyik legfontosabb jellemzője a „teljesség”, mely az a magnitúdó érték, melynél nagyobb események nem hiányoznak a katalógusból. A teljesség vizsgálatához fel kell tételezni a magnitúdótól függő Gutenberg-Richter eloszlást, s ameddig ez teljesül, addig az adatrendszer teljes. Természetesen minél jobban megyünk vissza az időben, a teljesség egyre romlik, csak egyre nagyobb magnitúdó fölött áll fenn.

A földrengés gyakorisági görbe meghatározása csak a teljességi kritériumot kielégítő időszak és magnitúdó alapján történik. A katalógus teljessége az alábbiak szerint áll fenn (47. táblázat):

47. táblázat A földrengés katalógus teljessége

Időtartam	M _w
1500-	≥ 6,0
1600-	≥ 5,8
1700-	≥ 5,3
1800-	≥ 4,7
1850-	≥ 4,2
1880-	≥ 3,5
1995-	≥ 3,0

A teljes 757 038 km² területre (44-50 É, 13-28 K) vonatkoztatott földrengés gyakoriságra az alábbi összefüggés adódik (61. ábra):

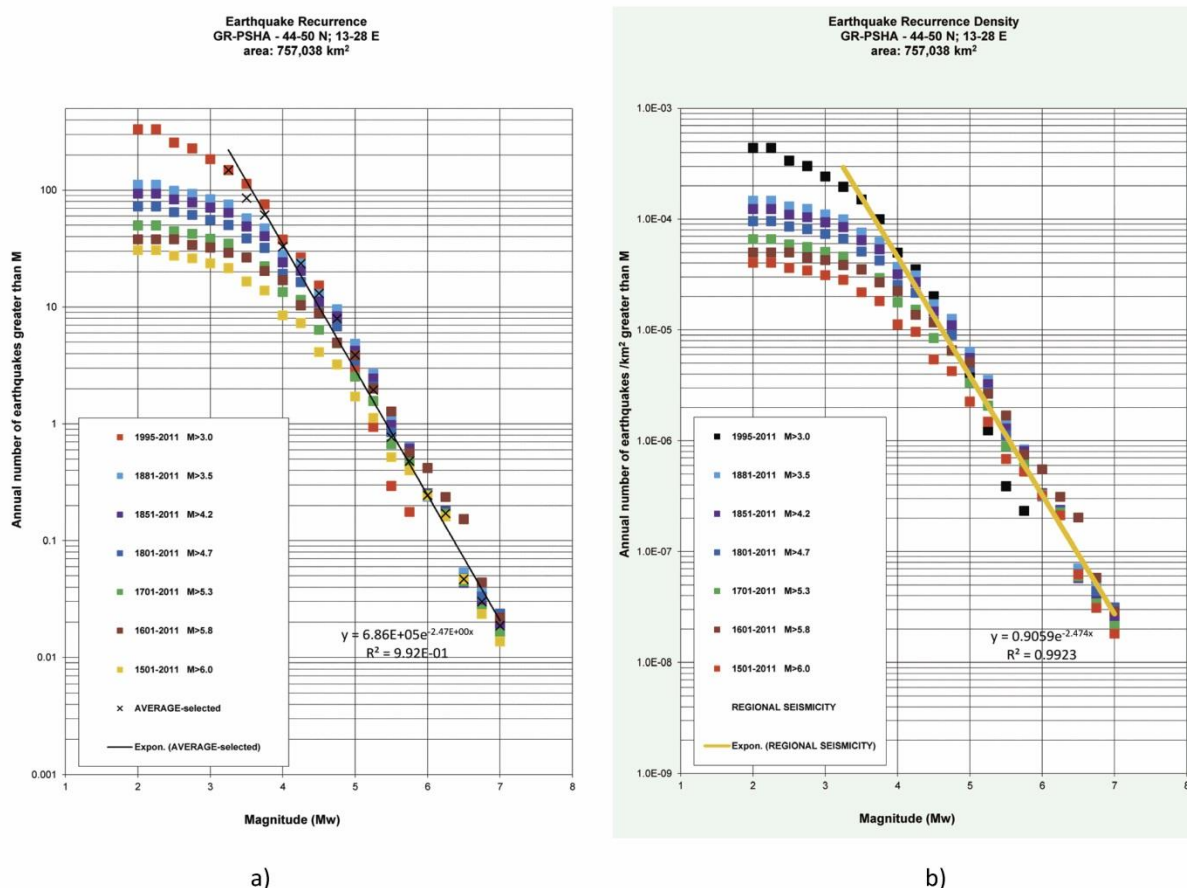
$$\log N = 5,84 - 1,07 M_w$$

ahol N a $\geq M_w$ földrengések éves száma.

Az 1 km²-re vonatkoztatott földrengés gyakoriság sűrűsége pedig (61. ábra):

$$\log N = -0,04 - 1,07 M_w$$

Mindezek alapján a teljes területen $M_w \geq 6$ földrengés 3,8 évenként fordul elő; $M_w \geq 5$ földrengés évente háromszor; $M_w \geq 4$ földrengés pedig évente harminchatszor.



61. ábra A földrengések magnitúdó szerinti gyakorisága a katalógus különböző időszakjában

a) éves földrengés gyakoriság a teljes területen b) éves földrengés gyakoriság sűrűség 1 km²-re vonatkoztatva

Az elérhető legteljesebb adatok alapján összeállított és homogenizált katalógus szilárd alapot ad a telephelyi földrengésveszély meghatározásához.

2.4.5 Az MGGA, CEGRN, EUREF geodinamikai GPS adatok analízise a telephely és tágabb környezetében

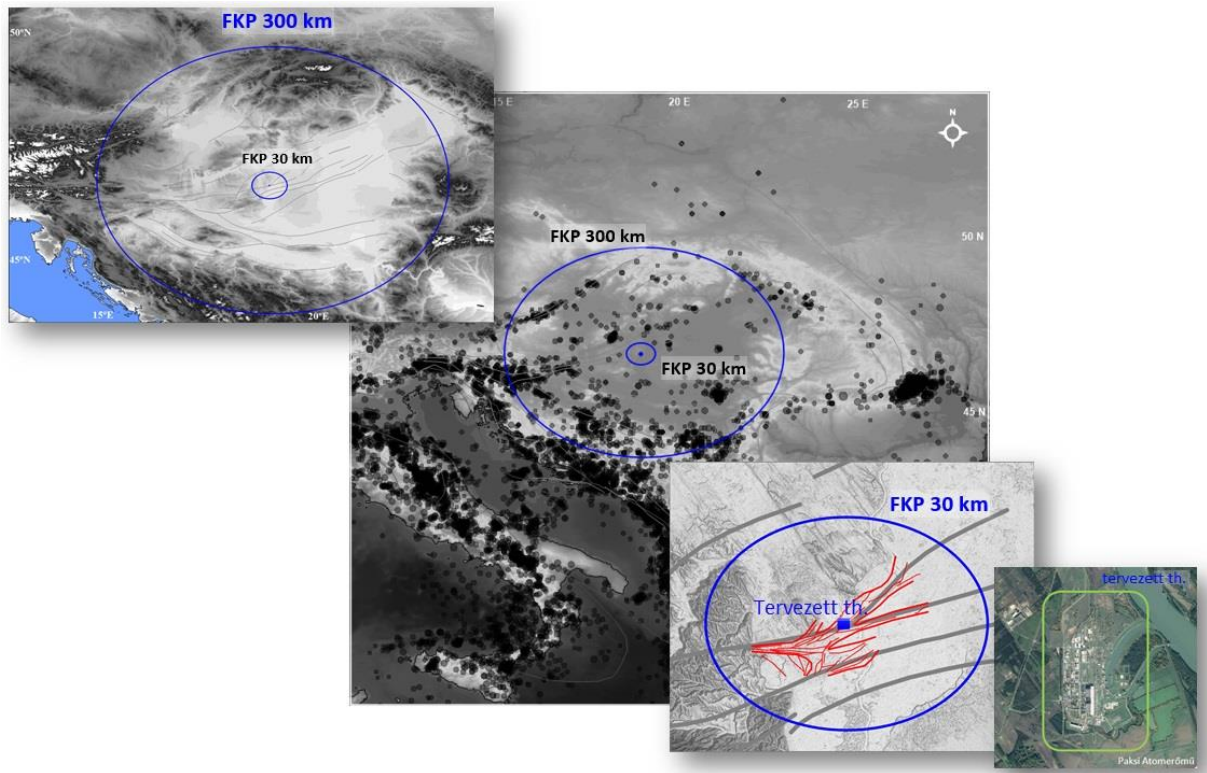
A fejezetben foglaltakról részletes információk itt találhatóak: [225][234][237][344][345]

Mivel az Országos GPS Hálózat nem geodinamikai hálózat, mozgásvizsgálati alkalmazása csak speciális, összetett eljárással lehetséges. Mindemelllett a helyi neotektonikai viszonyok közvetlen jelenkori stabilitás- és mozgásmérése egyetlen közvetlen terepi mozgásmérésre alkalmas megoldását és kellő térbeli és időbeli felbontású hálózatot az Országos GPS Hálózat jelenti. Új geodinamikai hálózattervezés esetén több évtizedet kell várni az első mérések után a viszonylag kis mozgások kimutatására. Az Országos GPS Hálózaton az első mérések 20 éve megtörténtek, ugyanakkor a precíz, megbízható jelenkori tektonikai mozgásvizonyokat feltáró országos és regionális GPS geodinamikai hálózatok nagyobb arányúak, mint egy lokális megfigyelő hálózat.

Mindezek mellett az OGPSH az egyedülállóan sűrű és finom vetőszerkezet vizsgálatára és legalább a stabilitás egy szintjének meghatározására az egyetlen lehetőség lokális szinten, közvetlen mérésekből.

2.4.5.1 A vizsgált terület

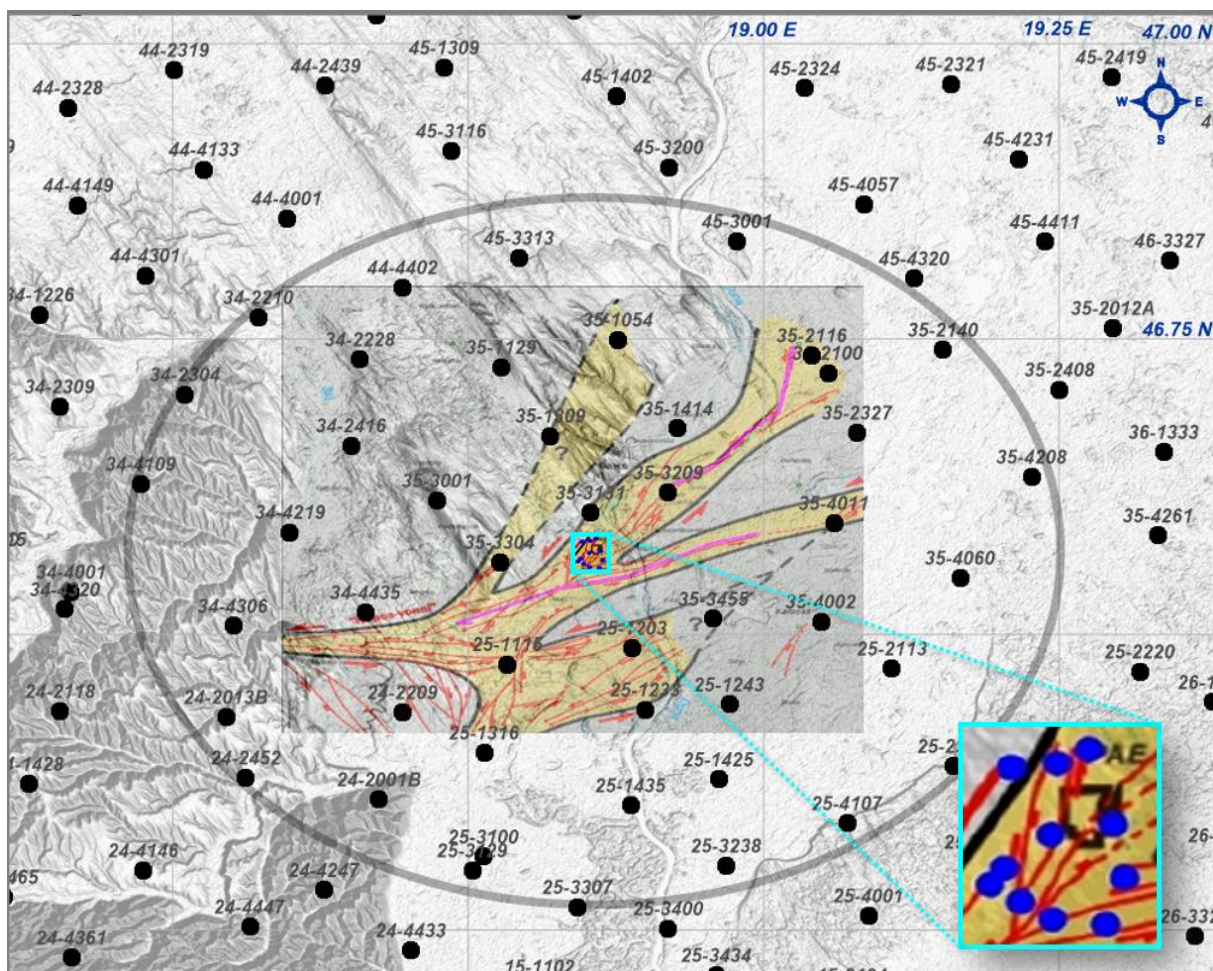
A 300 km-es kutatási területen került sor a geodinamikai környezet vizsgálatára és a telephelyre vonatkoztatott információk értelmezésére a nagy arányú GPS geodinamika hálózatok adatainak integrált feldolgozásával. A 30 km-es közvetlen környezetet pedig a megismert helyi neotektonikai szerkezeti viszonyoknak megfelelő térbeli felbontást nyújtó GPS geodéziai hálózat szubregionális újramérésével vizsgálták megteremtve a jövőbeli monitorozás lehetőségét.



62. ábra A GPS geodinamikai vizsgálat kutatási területe

Szeizmicitás (kekete kör), lokális kéregszerkezeti elemek (szürke és piros vonalak), domborzat NASA SRTM

A telephely szubregionális ürgeodéziai mozgás- és stabilitás vizsgálatára az FKP 30 km sugarú területén (62. ábra) és közvetlen környezetében lévő 61 darab OGPSH pont (63. ábra) szemlézése és karbantartása megtörtént. A pontok közül GPS mozgásvizsgálatra alkalmasnak nyilvánítottak 32 pontot, melyeken 3x24 órás GPS mérésekre került sor. A mérési adatok feldolgozása körültekintően, tudományos igényvel történt.



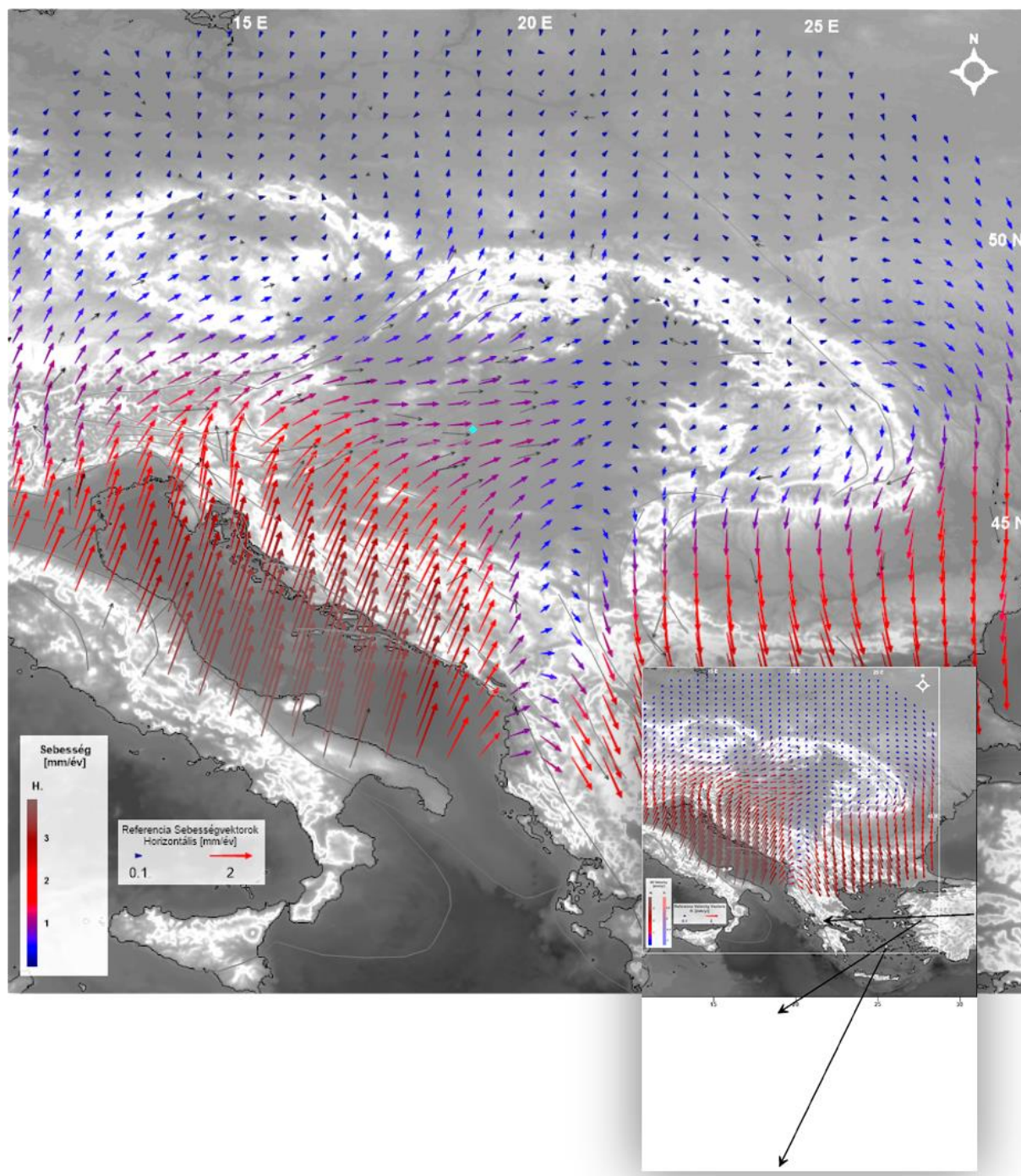
63. ábra A 61 darab OGPSH pontok és GPS hálózat elhelyezkedése

Az Országos GPS Hálózat pontjai (fekete pontok) az FKP 30 km-es vizsgálati területén (szürke kör) valamint a tervezett telephely közvetlen környezetének GPS hálózata (kék pontok)

2.4.5.2 Eredmények

A mérési kampány feldolgozása során a horizontális koordináta meghatározás pontossága általánosan 0.5-1.5 mm volt, a vertikális 1.5-3 mm körüli a napi megismételhetőség szórása alapján.

Az analízishez két évtizednél nagyobb időbázisú kizárólag geodinamika hálózati GPS állomások lettek használva. A közel negyedszázados MGGA és a két évtizedes CEGRN mérések alapján elkészült Közép-Európa jelenkori kéregmozgás-térképe (64. ábra).



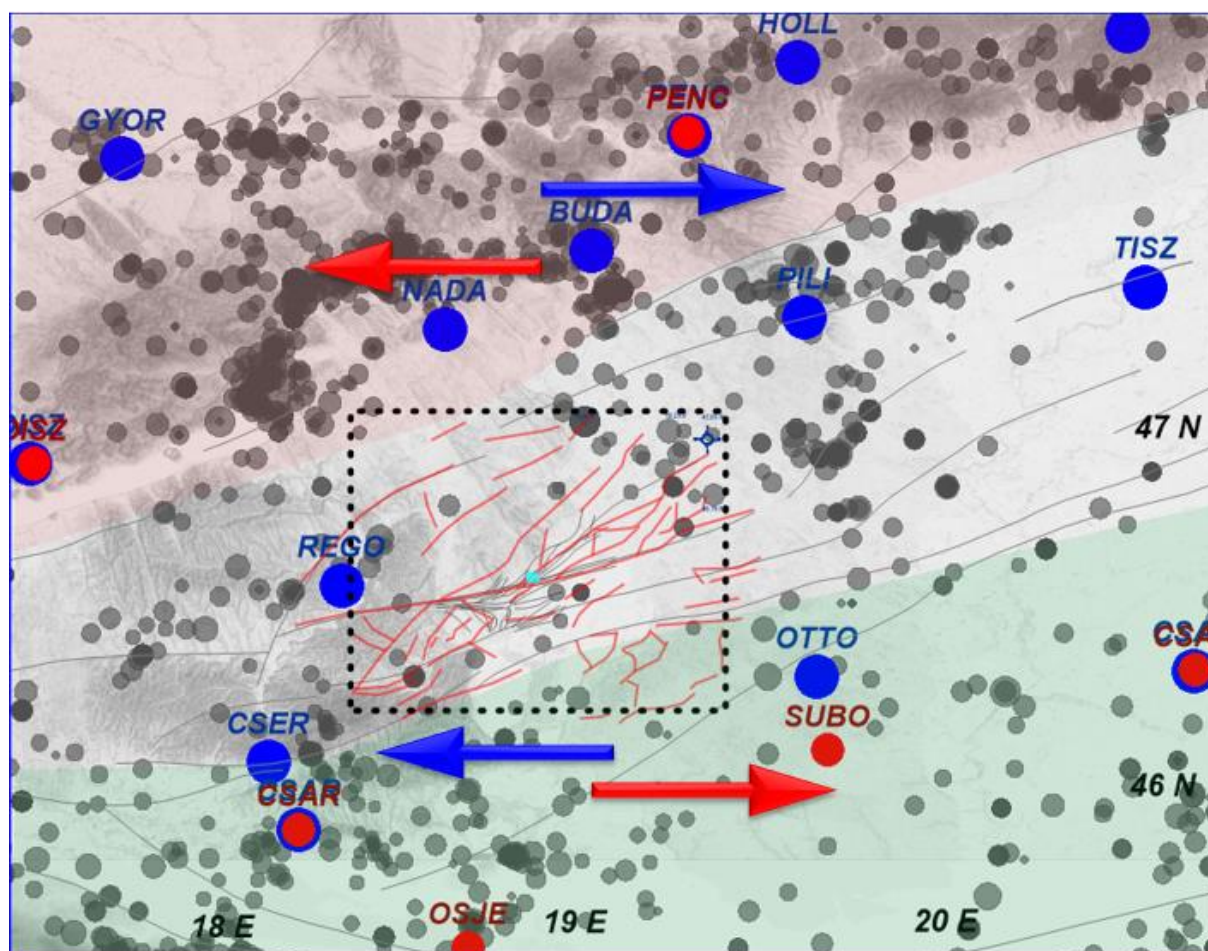
64. ábra Közép-Európa jelenkori kéregmozgás-sebességtérképe a geodinamikai GPS hálózatok mérései alapján

A fekete vektorok az adott GPS állomás tényleges sebességét mutatják a színes vektorok az ezek alapján interpolációval számított sebességmezőt, az MGGA és a legpontosabb CEGRN állomások alapján, ahol az 1 sigma konfidencia átlagban vektorfej 0.1-0.2 mm/év nagyságú. A kis kép az Anatóliai és Égei mikrolemezek átlagos sebességét jelzik ugyanazon skálán.

A telephely a medencefejlődés interpretációja szerint két alapvető szerkezeti egysége, Tisza és Alcapa, vagy Alpi-Észak Pannon és egy közük lévő a két nagyszerkezet közötti mozgást is abszorbeáló nyírózónában, a Közép-magyarországi, vagy Zágráb-Zemplén vonal vetőzónájában fekszik.

A GPS geodinamikai hálózatok adatai szerint a jelenben a Tisza egységet és az Alcapát reprezentáló blokkmozgások nem mutatnak szignifikáns oldalirányú mozgáskülönbséget. A vizsgált kombinációk mind 0.1 mm/év alatti, sőt, többnyire 0.05 mm/év mozgáskülönbséget mutatnak a két blokkra a kvázi kelet-nyugati irányban. Az ábrán mutatott régióban az Európai Platformhoz képest a Tiszát és az Alcapát reprezentáló blokkok mind 1.0-0.95 mm/évvel mozognak a vizsgálat területen nagyjából keleti irányba. A GPS adatok egyértelműen azt jelzik, hogy szignifikáns jelenkori oldalelmozdulás nincs a két egység között. Ez a telephely környezetében feltérképezett vetőrendszerre vonatkoztatva azt jelzi, hogy a két bloknak nincs hibaszint felett eltérő oldalirányú mozgása, így ebből tisztán strike-slip típusú mozgás és ilyen irányú nyíró deformáció a vetőrendszeren nem adódik.

A vizsgálat azt bizonyítja, hogy a két nagyszerkezeti egység oldalirányban egymástól függetlenül lényegében egyáltalán nem mozog már, vagy 0.1 mm/éves szint alatt mozog (65. ábra).



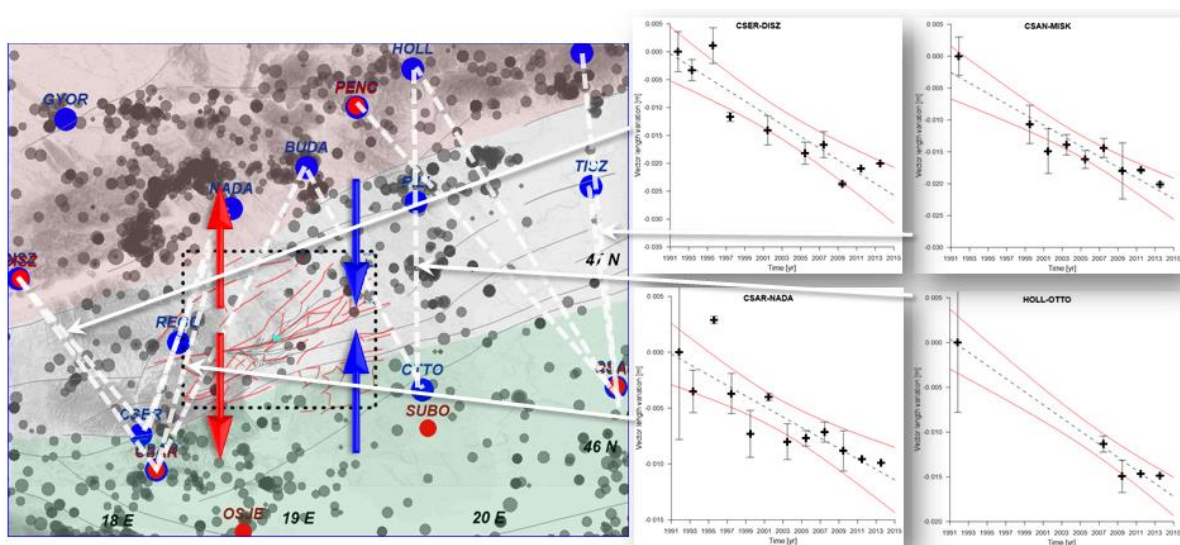
65. ábra Relatív blokkmozgások a főbb nagyszerkezeti egységek Közép-magyarországi zóna mentén

Kék MGGA, piros CEGRN, piros kék karimával közös geodinamikai GPS pont. A keret közelítőleg az FKP-30. A historikus szeizmicitást szürke pontok, a szubregionális vetőszerkezetet a piros vonalak jelzik.

A Tiszát és Alcapát reprezentáló blokkmegoldások és a számos vektor analízise alapján észak-déli irányban a kompresszió okozta közeledésük, a kéreg összenyomódása, kontrakciója szignifikáns, értéke 0.4-0.5 mm/év az átlagosnak tekintett közel 130 km-es vektor- és blokk-távolságokon, 0.1 mm/éves sebességszint alatti hibával.

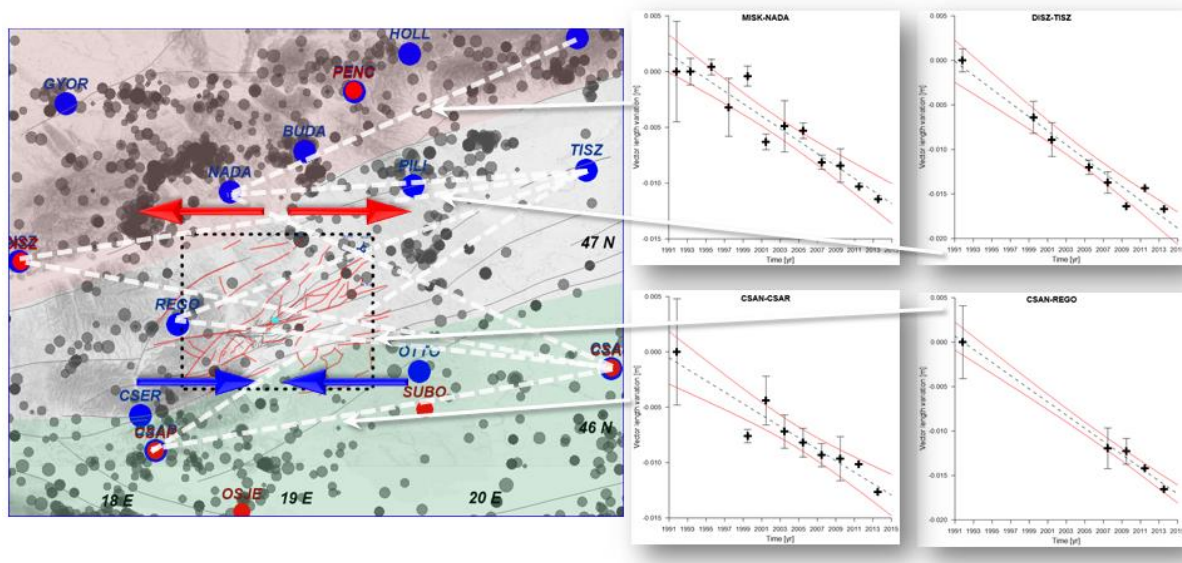
Uniform, egységes, diffúz deformációt feltételezve az FKP-30-ra ez 0.2-0.25 mm/év észak-déli kontrakciós sebességet jelent. Egy fő vetőt és az FKP-30-on belül egyébként deformálatlan kerget feltételezve ez a teljes 0.22 mm/év észak-déli összenyomódás éri, amit fel kell vennie. Szélsőséges esetben ha egyetlen vetőnek kell az egész vizsgált, átlagosan 130 km széles zónában akkomodálnia és a kéreg ettől eltekintve kvázi merev, deformálatlan, akkor azon törésvonal mentén 0.45 mm/év kontrakciós sebességnek megfelelő feltolódás és deformációs energia felhalmozódás jut (66. ábra).

Az FKP-30 környezetében, azon keresztül és közvetlen tőle északra és délre futó vektorok kombinációinak analizéséből átlagosan 0.6 mm/év kontrakció mérhető átlagosan 180 km vektorhosszakon. Ez az FKP-30-ra eső régióra, hasonlóképp uniform, diffúz deformációt feltételezve 0.2 mm/év kelet-nyugati kompressziót jelent az egész területen illetve egy vagy több vető mentén az aktivitásuk és a közbenső kéreg deformálatlanságának függvényében (67. ábra).



66. ábra Az észak-déli kontrakció/extenzió sematikus vizsgálati ábrája

A számos GPS vektor közül néhány viszonylatot jeleznek a fehér szaggatott vonalak. Közülük néhány idősor látható a jobb oldalon.



67. ábra A kelet-nyugati kontrakció/extenzió sematikus vizsgálati ábrája

A számos GPS vektor közül néhány viszonylatot jeleznek a fehér szaggatott vonalak. Közülük néhány idősor látható a jobb oldalon.

2.4.6 A telephely és tágabb környezete műholdradaros mozgás-és stabilitásvizsgálata

A fejezetben foglaltakról részletes információk itt találhatóak: [225][234][350]

A feladat a PSI/ASMI C-hullámsávú Apertúraszintézises Műholdradar-Interferometriás stabilitás- és mozgásvizsgálat a földtani és szeizmotektonikai modellépítéshez, valamint L-hullámsávú Apertúraszintézises Műholdradar-Interferometriás stabilitás- és mozgásvizsgálat a technogén jellegű mozgások, talajszerkezet, közvetlen üledékes talaj-és felszínstabilitás vizsgálatára.

2.4.6.1 A kutatási terület

A kutatási terület (68. ábra) Közép-Magyarországon, Paks várostól délre elhelyezkedő megközelítőleg 30 km-es sugarú kör –elsősorban neotektonikai vizsgálatok – 10 km sugarú kör – elsősorban nagyobb sebességű antropogén és természetes eredetű felszínmozgások – valamint 1 km sugarú kör a mindezek felül infrastruktúra monitoring számára. Az alábbi ábra (68. ábra) szemlélteti a FKP meghatározott kutatási területi meghatározását, felosztását és vonatkozó méreteit optikai műholdképen.



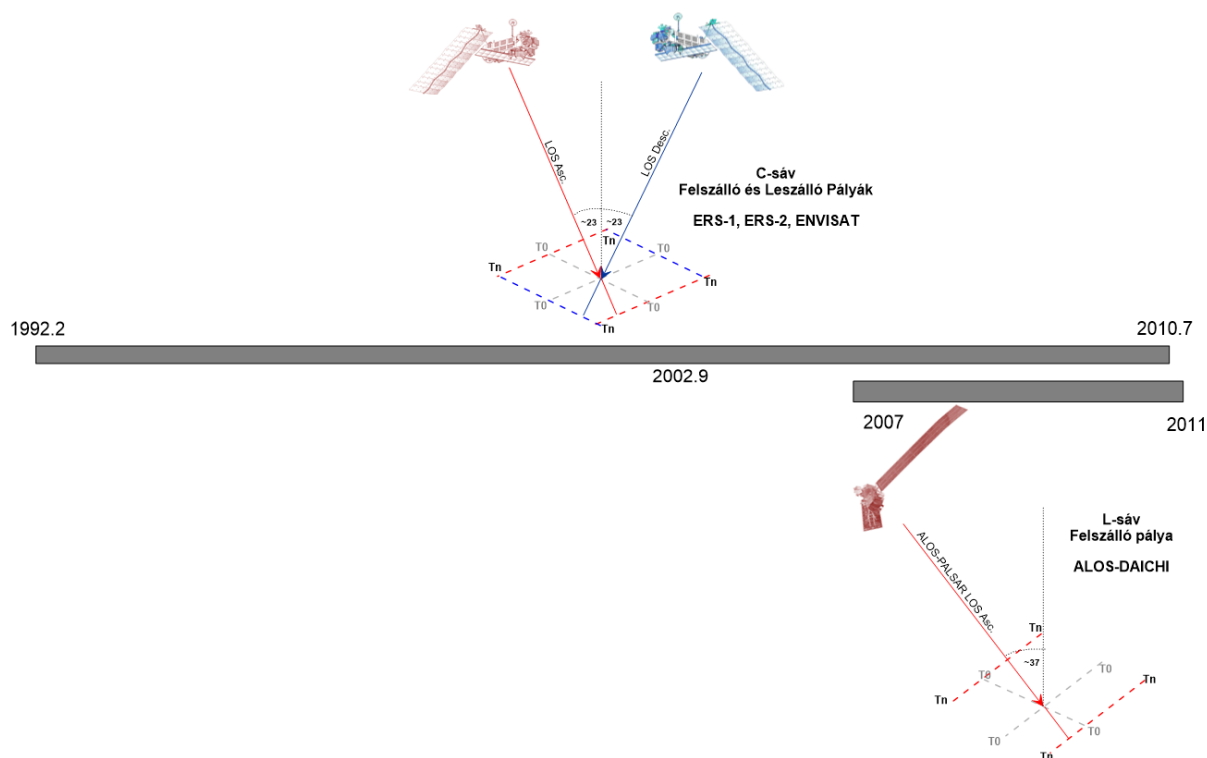
68. ábra Kutatási terület a műholdradar-interferometriával végzett stabilitás- és mozgásvizsgálatokra

A tervezett telephelyet a zöld poligon jelöli. Alap optikai műholdkép Landsat ©Google Earth.

2.4.6.2 Eredmények

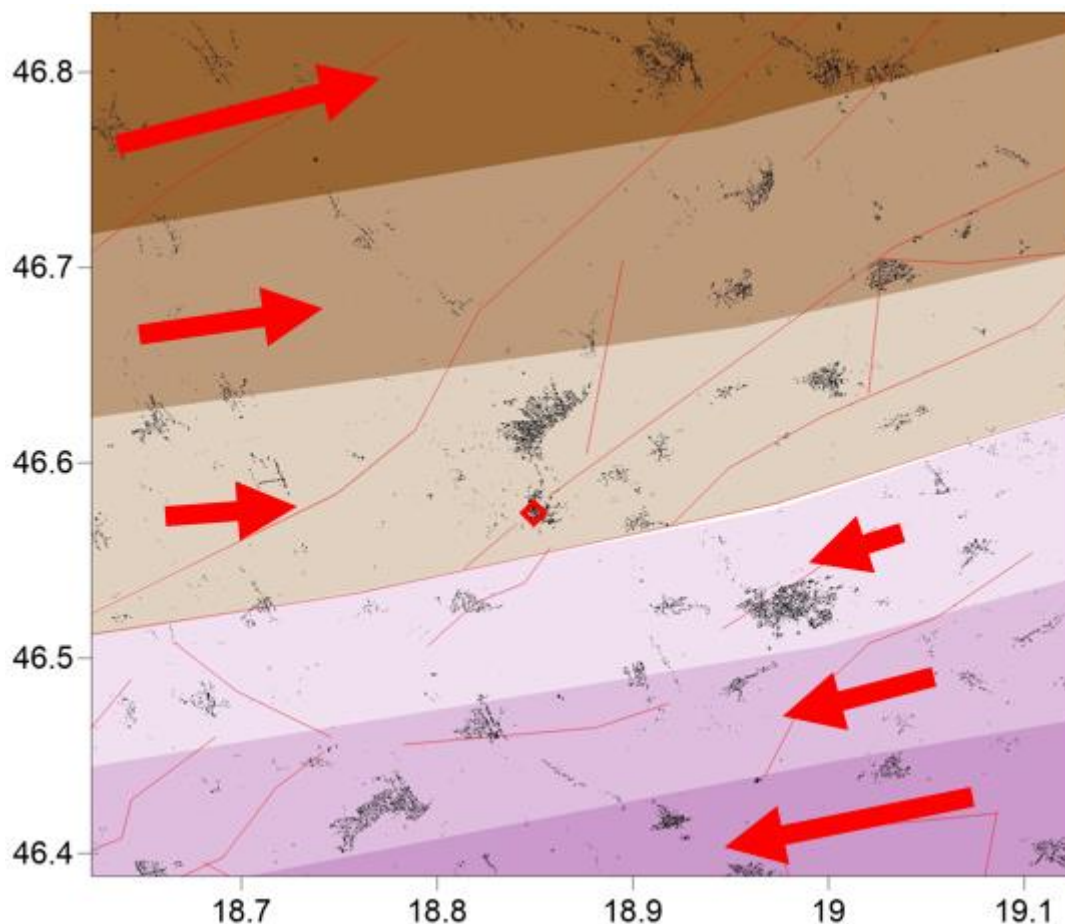
A kutatási terület a műholdradaros technika szempontjából rendkívül változatos. A felszín mezőgazdasági művelés alatt álló területek dominálják, jelentős mennyiségű erdő fedi és a nyugati részen változatos topográfiai jellemzi. Több település, vízfelületek, utak, vasutak és kiterjedt infrastruktúra, sokféle építmény, szerkezet jellemzi a terület beépített részeit. A technika alkalmazhatóságára az elsődleges szempont a radarjeleket szóró állandó, változatlan természetes talajfelületek vagy objektumok, emberi építmények jelenléte. A kedvező dielektromos állandó segít a jel erősségen, de minden esetben a geometria kedvező volta elengedhetetlen, azaz a műhold által sugárzott radarjel el kell érje az adott felületet, és arról a visszareflektált jelnek vissza kell érkeznie a műhold antennájába minden észleléskor. Fontos megjegyezni, hogy a túlnyomó többségben mezőgazdasági művelés alatt álló területek, folyamatosan bolygatott, átforgatott felszínek nem alkalmasak hosszú távú mozgásvizsgálatra, azok kvázi random módon több deciméteres változásokon mennek keresztül a szántás, ekézés,

boronálás stb. műveletek során. A felhagyott szabad felszínek az L-sávval ugyan jól vizsgálhatók, de ezeken a művelés alatt álló területeken nincs értelme mozgásvizsgálatnak. A telephely tágabb környezetének komplexitása ellenére, a megfelelő műholdradaros technikákat és módszereket alkalmazva, az ASMI mozgás- és stabilitásvizsgálat sikeresen kivitelezhető. Az alacsony koherenciájú területeken kívül az épített környezet ideális terep a C frekvenciasávban (4-8 GHz) működő műholdradar számára, míg az L-sávú (1-2 GHz) műholdradar akár a növényzeten is áthatolva általában a természetes radarreflektáló változatlan felületekről is ad koherens információt.



69. ábra A műholdak, szenzorok, repülési irányok, frekvenciák időbeli intervalluma és geometriája

A műholdradarok a kvázi poláris pályák miatt az észak-dél irányra kevésbé érzékenyek, de a közép-magyarországi nyírózóna közel kelet-nyugati irányítottságát vizsgálni lehet (69. ábra). Két eltérő tektonikai forgatókönyvre vonatkozó számítást is elvégezhetünk. Egy főbb aktívnak vélt vető mentén két blokkra osztva a területet képezzük a két blokkon belüli ascending és descending észlelések átlagának különbségét, és a két különbséget összehasonlítjuk. Ha nem egy vető mentén két blokk mozgását tekintjük reális scénáriónak, hanem inkább a jelenkori kéreg deformáció diffúz eloszlását feltételezünk, akkor a vető mentén kvázi párhuzamosan több szakaszra, térrészre osztva a területet dupla differenciákat képezhetünk az egyes sávokra. Azaz, az ascending és descending észlelések különbsége utal a vízszintes mozgás jelenlétére (70. ábra). Ezek egyre távolabbi sávokon vett különbsége pedig kirajzolhatja a szignifikáns, a jelenkori területen zajló kelet-nyugati nyíró deformációt. Ellenkező esetben, inszignifikáns eltérések esetén precíz becslést ad a tektonikai stabilitási szintre, ami felett a jelenben zajló ilyen irányítottságú kéregmozgás a paksi telephely kijelölt kutatási környezetében jelenleg biztosan nincs.



70. ábra A vízszintes irányú tektonikai vizsgálat módszere kétirányú ASMI észlelésekből diffúz deformációra

A kiskép mutatja az ascending (kék), descending (piros) irányú észlelések sebességkülbségének vízszintes mozgáshoz (fekete) való viszonyát kvázi kelet-nyugati síkban. A valós észlelések ± 12 fokos azimuttal rendelkeznek. Dupla differenciákat azaz kétirányú észlelések különbségének sávonkénti csoportok közötti különbségét képezzük. Piros szimbólum jelzi a kép közepén a vizsgált telephelyet.

A műholdradar-interferometriás tektonikai vizsgálatok a terület kicsinsége miatt, a tektonikai jel hibahatárhoz és geometriához képesti nagyon alacsony volta miatt a vizsgálatok a kimutathatóság határa vagy inkább az alatt vannak.

A statisztikai jellegű ASMI tektonikai vizsgálatok annak ellenére, hogy az általános egyébként is rendkívül alacsony hibaszint alatt kutatják a deformációt, egy kivétellel a vizsgált hat esetben többnyire produkáltak a várt kontrakciós, deformációs jelet függetlenül mindkét ellentétes irányú észlelésekre. A várt értelemben viszont többnyire az GPS-ből egyenletes deformáció eloszlás feltételezéssel FKP-30-ra vonatkoztatott sebességekhez ugyan hasonló, de annál kisebb értékekkel (0.1-0.2 mm/év), a meghatározott fő deformációs tenzorhoz hasonló irányítottsággal. A műholdradar-interferometriás magassági tektonikai mozgásvizsgálatot ugyanezen a szűrt előkészített adatbázisokon minden sebességi és konfidencia szinten mindkét repülési irány észak és déli észleléseinek különbsége, azaz egy fő kelet-nyugati vető menti két blokk magassági értelmű relatív tektonikai mozgása biztosan a 0.05 mm/év alatt van.

2.4.7 Szeizmotektonikai modell megalkotása a telephely földrengés-veszélyeztetettségének számításához

A fejezetben foglaltakról részletes információk itt találhatóak: [225][234][351][239]

A geológiai, geofizikai, geotechnikai és szeizmológiai adatbázisok közötti kapcsolatot a szeizmotektonikai modell jelenti. Ez egyben a földrengés veszélyességi számítás legfontosabb és meghatározó bemenő adata. Ennek megalkotása az összes geológiai, geofizikai, neotektonikai ismeret alapján történhet és elfogadása csak szakmai konszenzuson alapulhat.

Ebben az értelemben a szeizmotektonikai modell a jövőbeli földrengések forrásainak a modellezését, a lehetséges forrászónák kijelölését jelenti.

Magyarország és a Kárpát-medence területe olyan mérsékelt szeizmicitású régió, ahol elsősorban kis-közepes magnitúdójú rengések fordulnak elő. A geológiai és geofizikai adatbázisok alapján specifikus, szeizmikusan aktív szerkezetek és vetők nem azonosíthatók, részben a historikus szeizmicitás adatok bizonytalansága miatt. A földrengések forrásait ezért területi forrásokkal célszerű modellezni, ahogy ez a hasonlóan mérsékelt szeizmicitású területeken általános nemzetközi gyakorlat.

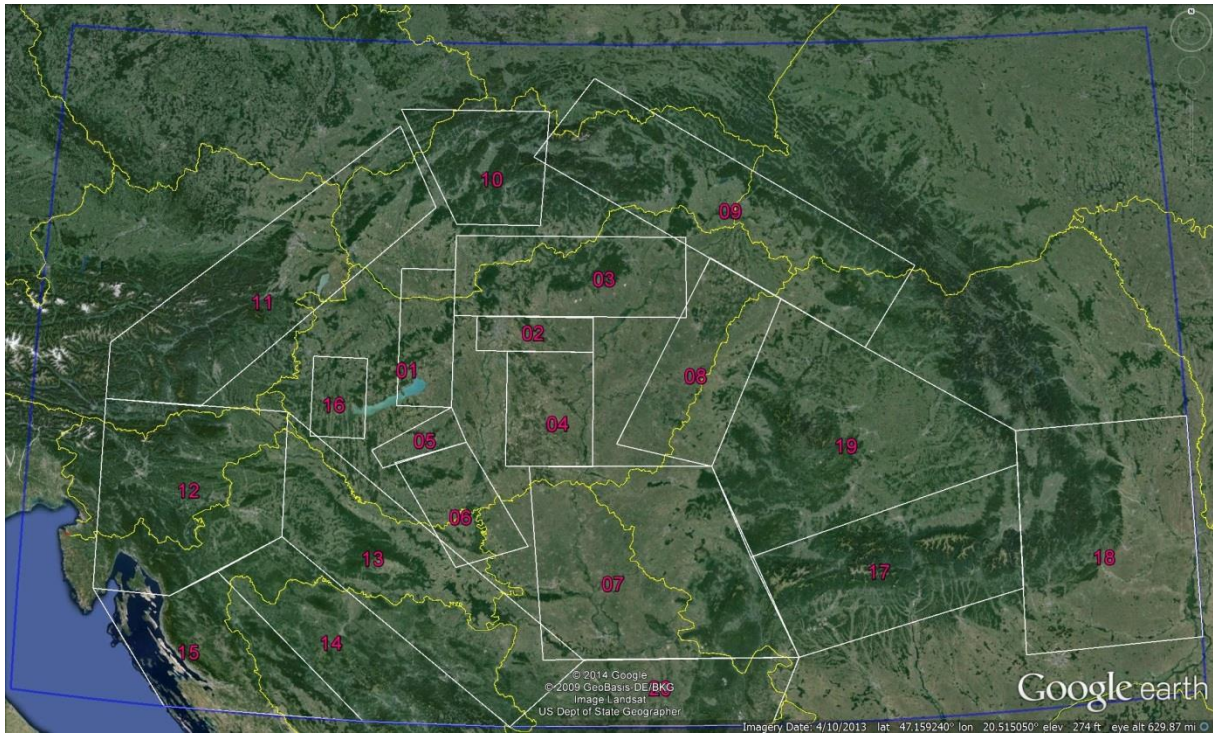
A forrászónák kijelölése soha nem egyértelmű, hiszen a rendelkezésre álló adatok különböző interpretációja is lehetséges. Tipikus esete ez az episztemikus bizonytalanságnak, melynek kezelésére a valószínűségi szeizmikus veszélyeztetettség meghatározási módszere megfelelő lehetőséget biztosít.

A paksi telephely szeizmikus veszélyeztetettségének meghatározásához három forrásmodell lett összeállítva. Az egyes zónákban a szeizmicitás kvantitatív leírása az alábbi paraméterekkel történik:

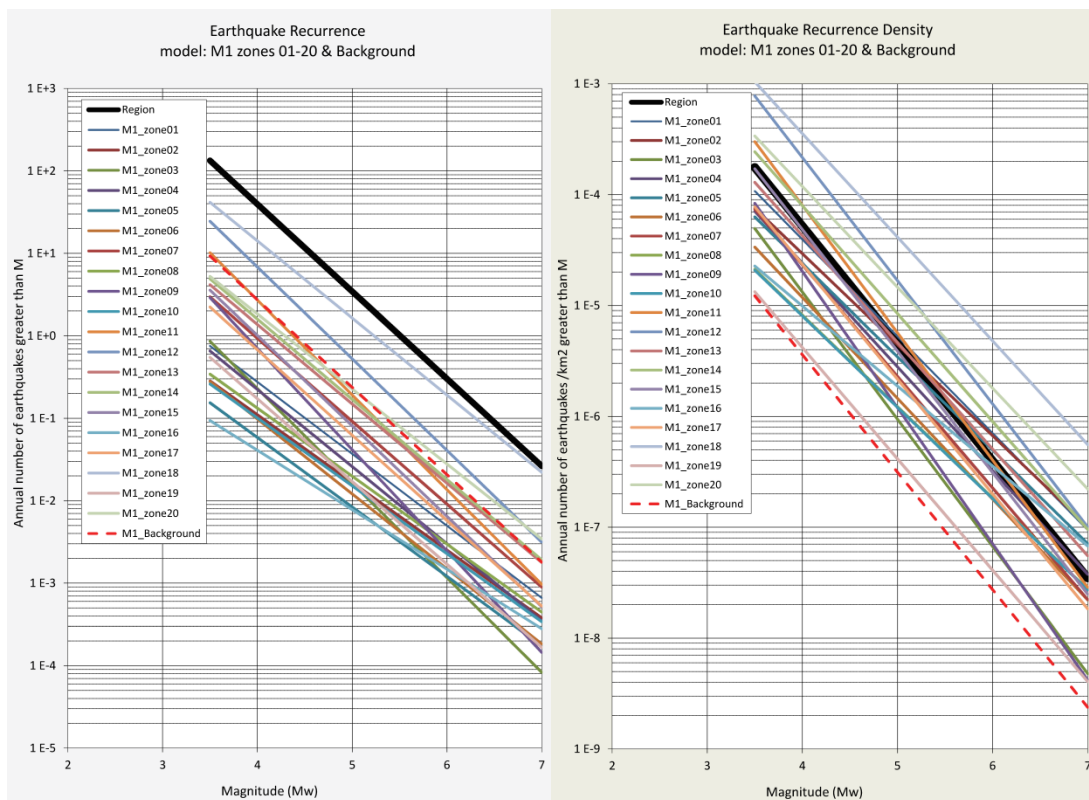
- $\lambda(M_0)$ az M_0 magnitúdójú rengések éves meghaladási száma (darab/év)
- β várható értéke (természetes logaritmus)
- koefficiens β szórásának jellemzésére (természetes logaritmus)
- M_u maximum magnitúdó várható értéke (csonkítatlan eloszlás esetén)
- M_u maximum magnitúdó szórása (csonkítatlan eloszlás esetén)
- M_1 az M_u maximum magnitúdó legkisebb elképzelhető értéke. Szokás az eddig előfordult legnagyobb rengés magnitúdójának tekinteni
- M_0 küszöb magnitúdó, pl. a katalógus teljességi jellemzője. Az $M < M_0$ rengések teljesen figyelmen kívül lesznek hagyva a számításban
- M_2 az M_u maximum magnitúdó legnagyobb elképzelhető értéke

2.4.7.1 M1 modell

Az M1 modell 20 forrászónát tartalmaz (71. ábra), melyeket egy ún. háttér szeizmicitást leíró zóna egészít ki. E modell alkalmazását indokolja, hogy az elmúlt húsz évben minden magyarországi veszélyeztetettség számítás e modell valamelyik alternatíváját használta.



71. ábra Az M1 forrásmodell 20 forrászónája



72. ábra Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség az M1 modell forrászónáiban

A szaggatott vonal a háttér, a vastag fekete vonal a teljes régió földrengés gyakoriságát és gyakoriság sűrűségét mutatja.

A 72. ábra bal oldali ábrája az egyes zónákban észlelt abszolút gyakoriságot mutatja, mely természetesen nagymértékben függ az egyes zónák területétől is. Ebben az esetben a teljes régióra vonatkozó gyakoriság (vastag fekete vonal) a legnagyobb, hiszen ez az összes zónára vonatkozó összeg.

A jobb oldali ábrán a zónák földrengés gyakorisága normálva van a területtel, lényegében az 1 km²-re vonatkozó földrengés gyakoriság sűrűségét mutatja. Jól látható, hogy néhány zóna szeizmicitása jóval a regionális átlag fölött van, a háttér szeizmicitás pedig – ahogy az várható – a legalacsonyabb földrengés gyakoriság sűrűséget mutat.

Az M1 modell adatait az 48. táblázat és a 49. táblázat foglalja össze.

48. táblázat Az M1 modell zónáiban a zónákra meghatározott paraméterek a szeizmicitás G-R modellel történő leírásához (Least square)

	$\lambda(M_0)$	β	β szórása	M_u várható értéke	M_u szórása	M_1	M_0	M_2
Region	133,45	2,437	0,091	7,8	0,3	7,8	3,5	8,0
M1_zone01	0,76	2,011	0,121	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
M1_zone02	0,28	1,890	0,190	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
M1_zone03	0,86	2,641	0,248	5,6	0,3	5,3	3,5	5,8
M1_zone04	0,66	2,154	0,164	6,2	0,3	5,9	3,5	6,4
M1_zone05	0,15	1,939	0,204	5,6	0,3	5,3	3,5	5,8
M1_zone06	0,28	2,094	0,190	5,8	0,3	5,5	3,5	6,0
M1_zone07	2,97	2,316	0,196	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
M1_zone08	0,34	1,899	0,151	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
M1_zone09	2,90	2,829	0,227	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
M1_zone10	0,26	1,896	0,345	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
M1_zone11	10,15	2,645	0,194	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
M1_zone12	24,45	2,559	0,096	7,2	0,3	7,2	3,5	7,4
M1_zone13	4,16	2,216	0,196	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
M1_zone14	4,89	2,241	0,151	6,5	0,3	6,4	3,5	6,7
M1_zone15	3,57	2,525	0,248	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
M1_zone16	0,09	1,661	0,233	5,3	0,3	4,8	3,5	5,8
M1_zone17	2,23	2,386	0,232	6,5	0,3	6,4	3,5	6,7
M1_zone18	41,55	2,153	0,100	7,8	0,3	7,8	3,5	8,0
M1_zone19	0,55	2,313	0,169	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
M1_zone20	5,25	2,095	0,137	6,7	0,3	6,6	3,5	6,9
M1_Background	9,25	2,441	0,147	6,8	0,3	6,7	3,5	7,0

49. táblázat Az M1 modell zónáiban a zónákra meghatározott paraméterek a szeizmicitás G-R modellel történő leírásához (Maximum likelihood)

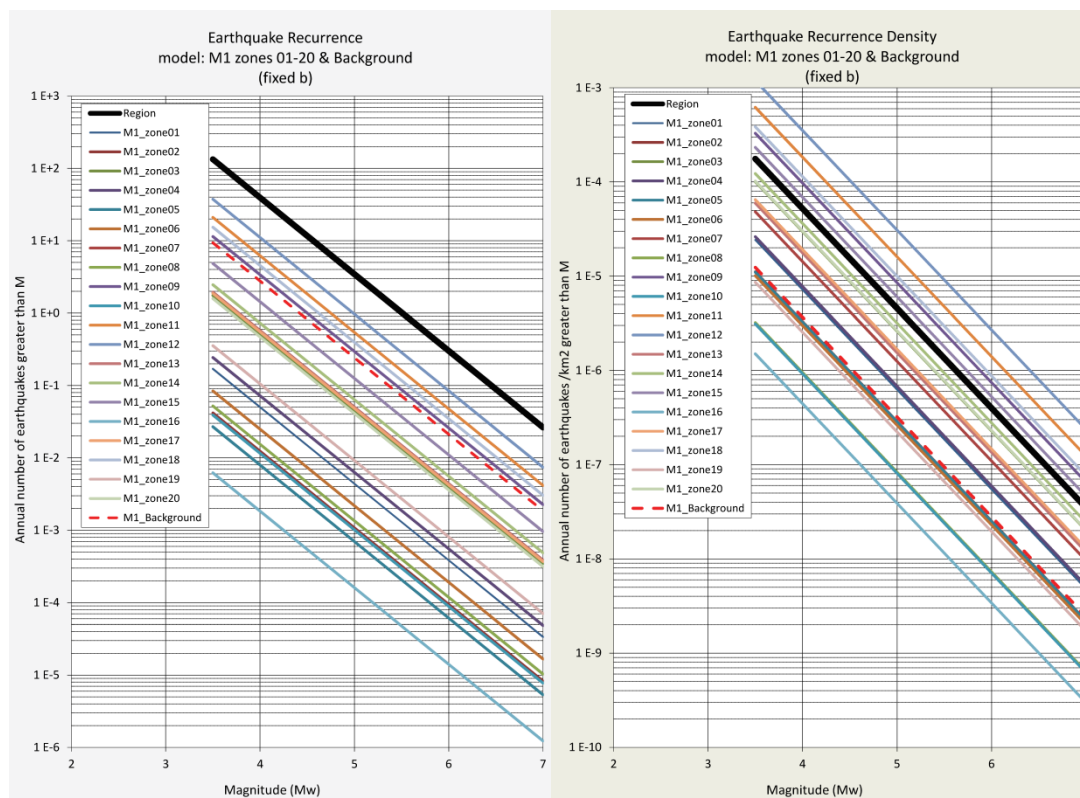
	$\lambda(M_0)$	β	β szórása	M_u várható értéke	M_u szórása	M_1	M_0	M_2
Region	90,99	2,266	0,035	7,8	0,3	7,8	3,5	8,0
M1_zone01	1,07	2,266	0,258	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
M1_zone02	0,45	2,415	0,322	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
M1_zone03	1,05	2,559	0,211	5,6	0,3	5,3	3,5	5,8
M1_zone04	0,77	2,082	0,178	6,2	0,3	5,9	3,5	6,4
M1_zone05	0,16	1,894	0,316	5,6	0,3	5,3	3,5	5,8
M1_zone06	0,27	2,270	0,294	5,8	0,3	5,5	3,5	6,0
M1_zone07	1,77	2,031	0,118	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
M1_zone08	0,26	1,931	0,237	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
M1_zone09	1,41	2,477	0,176	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3

	$\lambda(M_0)$	β	β szórása	M_u várható értéke	M_u szórása	M_1	M_0	M_2
M1_zone10	0,22	1,949	0,275	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
M1_zone11	4,56	2,141	0,088	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
M1_zone12	16,39	2,238	0,057	7,2	0,3	7,2	3,5	7,4
M1_zone13	2,69	1,914	0,090	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
M1_zone14	2,78	1,796	0,090	6,5	0,3	6,4	3,5	6,7
M1_zone15	1,80	2,202	0,162	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
M1_zone16	0,15	2,946	0,429	5,3	0,3	4,8	3,5	5,8
M1_zone17	1,69	2,053	0,143	6,5	0,3	6,4	3,5	6,7
M1_zone18	22,35	1,816	0,044	7,8	0,3	7,8	3,5	8,0
M1_zone19	0,43	2,177	0,268	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
M1_zone20	2,80	1,771	0,119	6,7	0,3	6,6	3,5	6,9
M1_Background	5,48	2,266	0,035	6,8	0,3	6,7	3,5	7,0

A valószínűségi földrengésveszély meghatározása során gyakran alkalmazott technika az is, hogy egy régió belül azonos, rögzített **b** értékkel történik az egyes zónák földrengés gyakoriságának a leírása. Elsősorban az adathiányos területeken kényszerülünk erre, ahol alacsony a földrengés gyakoriság és emiatt kevés adat áll rendelkezésre, s emiatt nem tudjuk elfogadható megbízhatósággal becsülni **a** és **b** paramétert egyidejűleg. Ezt a megközelítést alkalmazta az Ove Arup (1995) a Paks telephely vizsgálata során.

Vannak olyan szakmai nézetek is, mely szerint egy adott régióban nem változik nagyon a gyakoriságot leíró **b** paraméter, s ezért a regionális adatokból becsült fix **b** alkalmazása indokolt.

Mivel nem tudjuk egyértelműen eldönteni, hogy melyik megközelítés a megalapozottabb, ezért az episztemikus bizonytalanságok közé soroljuk a kérdést, s mindkét esetet alkalmazzuk a logikai fában a földrengésveszély számításakor.

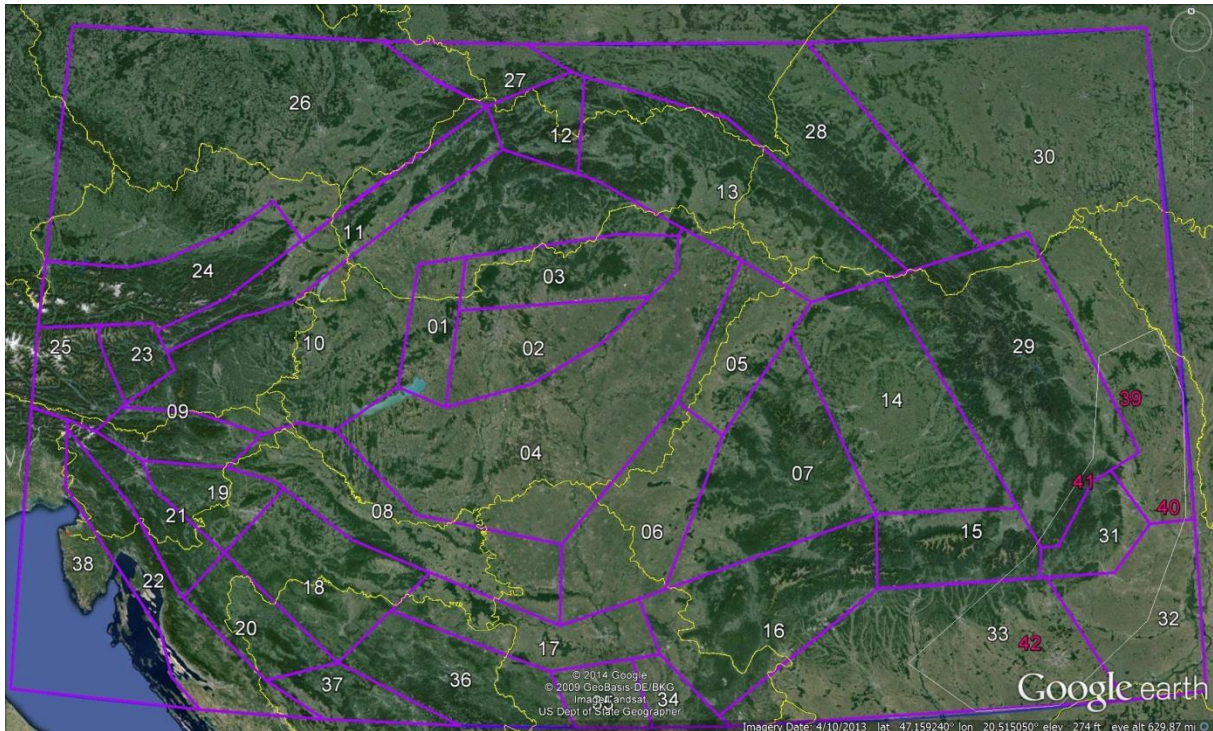


73. ábra Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség az M1 modell forrászónáiban rögzített b mellett

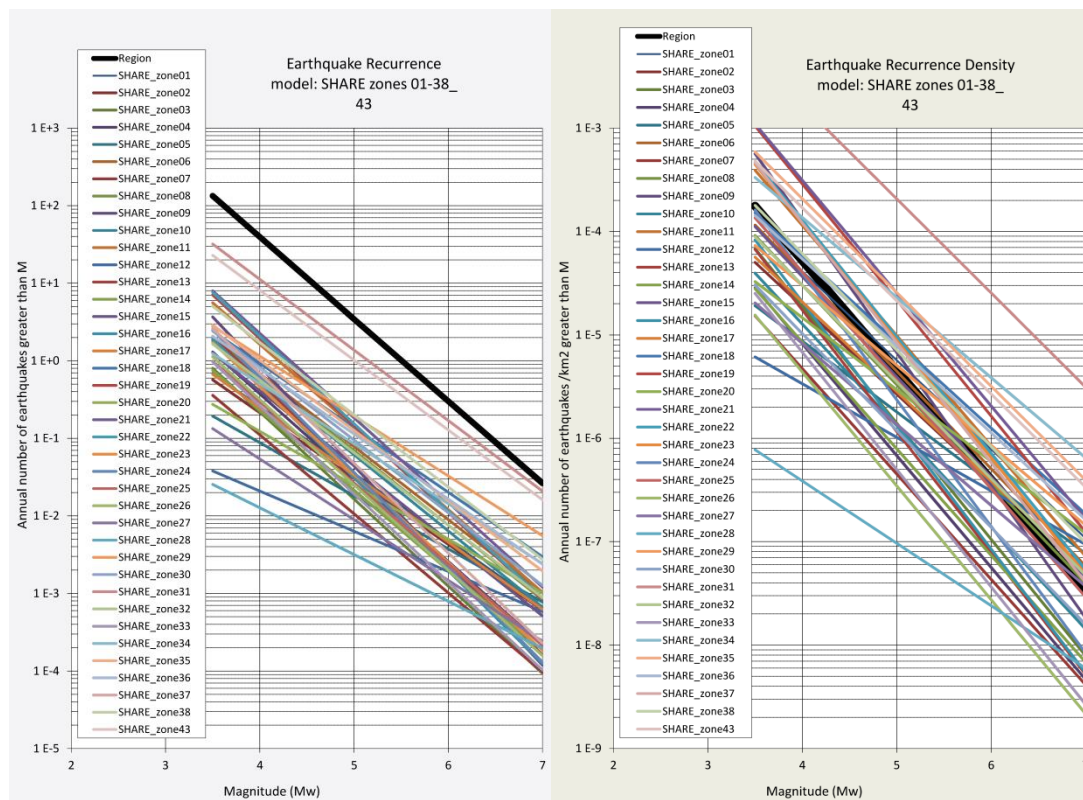
A szaggatott vonal a háttér, a vastag fekete vonal a teljes régió földrengés gyakoriságát és gyakoriság sűrűségét mutatja.

2.4.7.2 SHARE modell

A SHARE modell az EU 7. Keretprogramja támogatásával 2009-2012 között folyó SHARE (Seismic Hazard Harmonization in Europe) projekt keretében egységes szempontok szerint kidolgozott szeizmikus forrásmodell. A SHARE forrásmodell 42 forrászónával teljesen lefedi a Kárpát-medencét és a környező területeket (74. ábra). A zónák kialakítása során szempont volt, hogy lehetőleg megfelelő számú földrengés adat legyen minden zónában a gyakoriságok statisztikai becsléséhez, de emellett a regionális szeizmotektonikai ismeretek is befolyásolták a zónahatárok kijelölését.



74. ábra A SHARE forrásmodell forrászónái



75. ábra Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség a SHARE modell forrászónáiban

A vastag fekete vonal a teljes régió földrengés gyakoriságát és gyakoriság sűrűségét mutatja.

A 75. ábra bal oldali ábrája az egyes zónákban észlelt abszolút gyakoriságot mutatja, mely természetesen nagymértékben függ az egyes zónák területétől is. Ebben az esetben a

teljes régióra vonatkozó gyakoriság (vastag fekete vonal) a legnagyobb, hiszen ez az összes zónára vonatkozó összeg.

A SHARE modell adatait a 50. táblázat és a

51. táblázat foglalja össze.

50. táblázat A SHARE modell zónáiban a zónákra meghatározott paraméterek a szeizmicitás G-R modellel történő leírásához (Least square)

Region	$\lambda(M_0)$	β	β szórása	M_u várható értéke	M_u szórása	M_1	M_0	M_2
Region	133,45	2,437	0,091	7,8	0,3	7,8	3,5	8,0
SHARE_zone01	0,70	1,981	0,118	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone02	0,57	1,955	0,115	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone03	0,80	2,589	0,261	5,6	0,3	5,3	3,5	5,8
SHARE_zone04	1,30	2,491	0,158	6,2	0,3	5,9	3,5	6,4
SHARE_zone05	0,19	1,578	0,232	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone06	2,03	2,170	0,247	6,2	0,3	5,9	3,5	6,4
SHARE_zone07	0,36	2,347	0,193	5,3	0,3	4,8	3,5	5,8
SHARE_zone08	1,92	2,213	0,160	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone09	3,69	2,954	0,154	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
SHARE_zone10	1,83	2,264	0,176	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone11	5,58	2,456	0,126	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone12	0,04	1,194	0,361	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone13	2,08	2,703	0,229	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
SHARE_zone14	0,75	2,375	0,167	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
SHARE_zone15	1,25	2,229	0,217	6,5	0,3	6,4	3,5	6,7
SHARE_zone16	1,92	2,754	0,233	5,9	0,3	5,6	3,5	6,1
SHARE_zone17	0,67	1,995	0,163	6,1	0,3	6,0	3,5	6,3
SHARE_zone18	2,42	1,916	0,122	6,4	0,3	6,3	3,5	6,6
SHARE_zone19	7,05	2,584	0,124	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone20	0,27	1,602	0,238	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone21	7,97	2,514	0,127	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone22	7,59	2,595	0,139	7,2	0,3	7,2	3,5	7,4
SHARE_zone23	1,72	2,612	0,241	6,0	0,3	5,7	3,5	6,2
SHARE_zone24	2,49	2,817	0,188	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone25	0,99	2,412	0,173	5,9	0,3	5,6	3,5	6,1
SHARE_zone26	1,13	2,536	0,208	5,7	0,3	5,4	3,5	5,9
SHARE_zone27	0,13	1,803	0,328	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone28	0,03	1,389	0,489	5,3	0,3	5,0	3,5	5,5
SHARE_zone29	2,80	1,779	0,174	6,7	0,3	6,6	3,5	6,9
SHARE_zone30	2,43	2,160	0,191	6,3	0,3	6,2	3,5	6,5
SHARE_zone31	31,90	2,095	0,097	7,8	0,3	7,8	3,5	8,0
SHARE_zone32	1,65	2,153	0,158	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone33	0,97	2,614	0,128	5,7	0,3	5,4	3,5	5,9
SHARE_zone34	1,24	1,783	0,138	6,7	0,3	6,6	3,5	6,9
SHARE_zone35	2,90	2,088	0,146	6,5	0,3	6,4	3,5	6,7
SHARE_zone36	2,07	1,934	0,264	6,0	0,3	5,7	3,5	6,2
SHARE_zone37	2,62	2,669	0,224	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
SHARE_zone38	5,05	2,148	0,159	6,9	0,3	6,8	3,5	7,1
SHARE_zone43	22,85	2,073	0,116	7,8	0,3	7,8	3,5	8,0

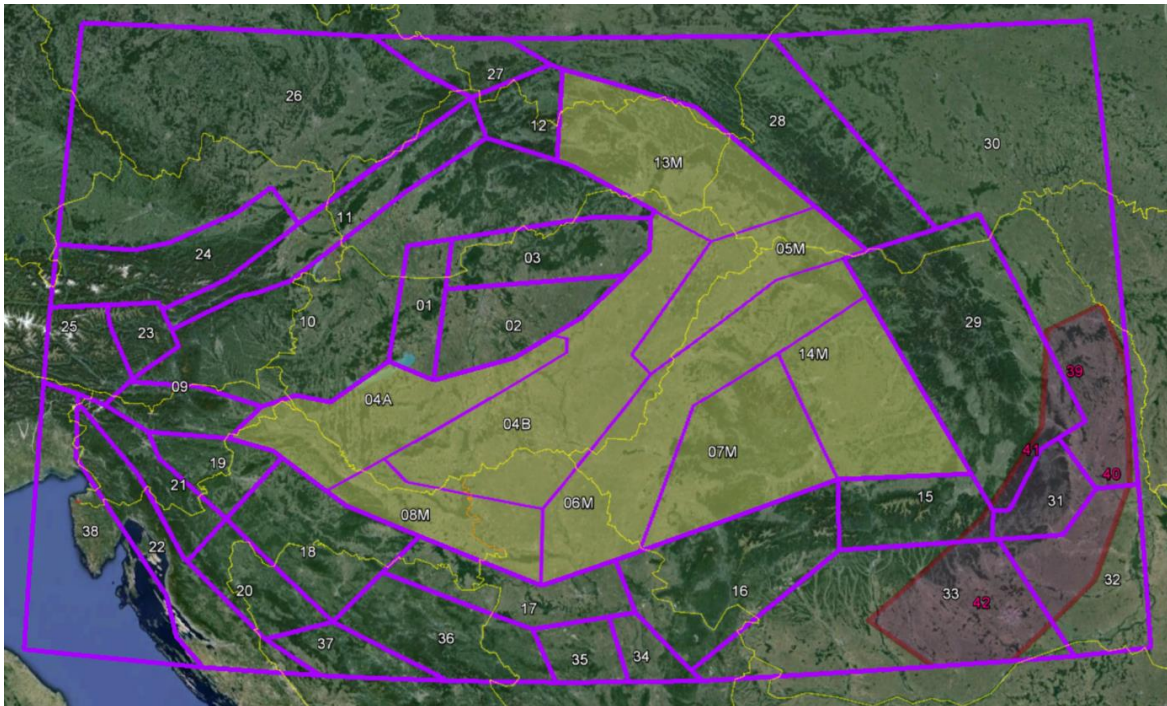
51. táblázat A SHARE modell zónáiban a zónákra meghatározott paraméterek a szeizmicitás G-R modellel történő leírásához (Maximum likelihood)

	$\lambda(M_0)$	β	β szórása	M_u várható értéke	M_u szórása	M_1	M_0	M_2
Region	90,99	2,266	0,035	7,8	0,3	7,8	3,5	8,0
SHARE_zone01	1,01	2,271	0,261	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone02	0,85	2,340	0,321	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone03	0,62	2,453	0,210	5,6	0,3	5,3	3,5	5,8
SHARE_zone04	0,97	2,460	0,159	6,2	0,3	5,9	3,5	6,4
SHARE_zone05	0,32	1,832	0,307	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone06	1,95	2,030	0,140	6,2	0,3	5,9	3,5	6,4
SHARE_zone07	0,30	2,197	0,212	5,3	0,3	4,8	3,5	5,8
SHARE_zone08	2,01	2,252	0,179	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone09	2,35	2,394	0,172	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
SHARE_zone10	1,40	2,105	0,165	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone11	3,08	2,082	0,117	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone12	0,21	3,151	1,038	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone13	0,98	2,276	0,137	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
SHARE_zone14	0,62	2,153	0,188	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
SHARE_zone15	1,10	2,068	0,255	6,5	0,3	6,4	3,5	6,7
SHARE_zone16	1,06	2,146	0,142	5,9	0,3	5,6	3,5	6,1
SHARE_zone17	0,53	1,663	0,142	6,1	0,3	6,0	3,5	6,3
SHARE_zone18	1,93	1,813	0,119	6,4	0,3	6,3	3,5	6,6
SHARE_zone19	5,27	2,401	0,128	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone20	0,22	1,456	0,268	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone21	4,87	2,430	0,174	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone22	4,71	2,320	0,168	7,2	0,3	7,2	3,5	7,4
SHARE_zone23	0,79	2,019	0,136	6,0	0,3	5,7	3,5	6,2
SHARE_zone24	1,15	2,544	0,136	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone25	0,57	1,979	0,163	5,9	0,3	5,6	3,5	6,1
SHARE_zone26	0,75	2,179	0,164	5,7	0,3	5,4	3,5	5,9
SHARE_zone27	0,21	2,650	0,560	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone28	0,06	2,496	0,498	5,3	0,3	5,0	3,5	5,5
SHARE_zone29	1,91	1,752	0,118	6,7	0,3	6,6	3,5	6,9
SHARE_zone30	1,40	2,138	0,208	6,3	0,3	6,2	3,5	6,5
SHARE_zone31	18,31	1,780	0,047	7,8	0,3	7,8	3,5	8,0
SHARE_zone32	1,15	1,988	0,190	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone33	0,82	2,452	0,209	5,7	0,3	5,4	3,5	5,9
SHARE_zone34	0,74	1,580	0,164	6,7	0,3	6,6	3,5	6,9
SHARE_zone35	1,66	1,821	0,165	6,5	0,3	6,4	3,5	6,7
SHARE_zone36	1,31	1,509	0,074	6,0	0,3	5,7	3,5	6,2
SHARE_zone37	1,30	1,886	0,111	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
SHARE_zone38	2,48	1,929	0,125	6,9	0,3	6,8	3,5	7,1
SHARE_zone43	16,02	1,856	0,067	7,8	0,3	7,8	3,5	8,0

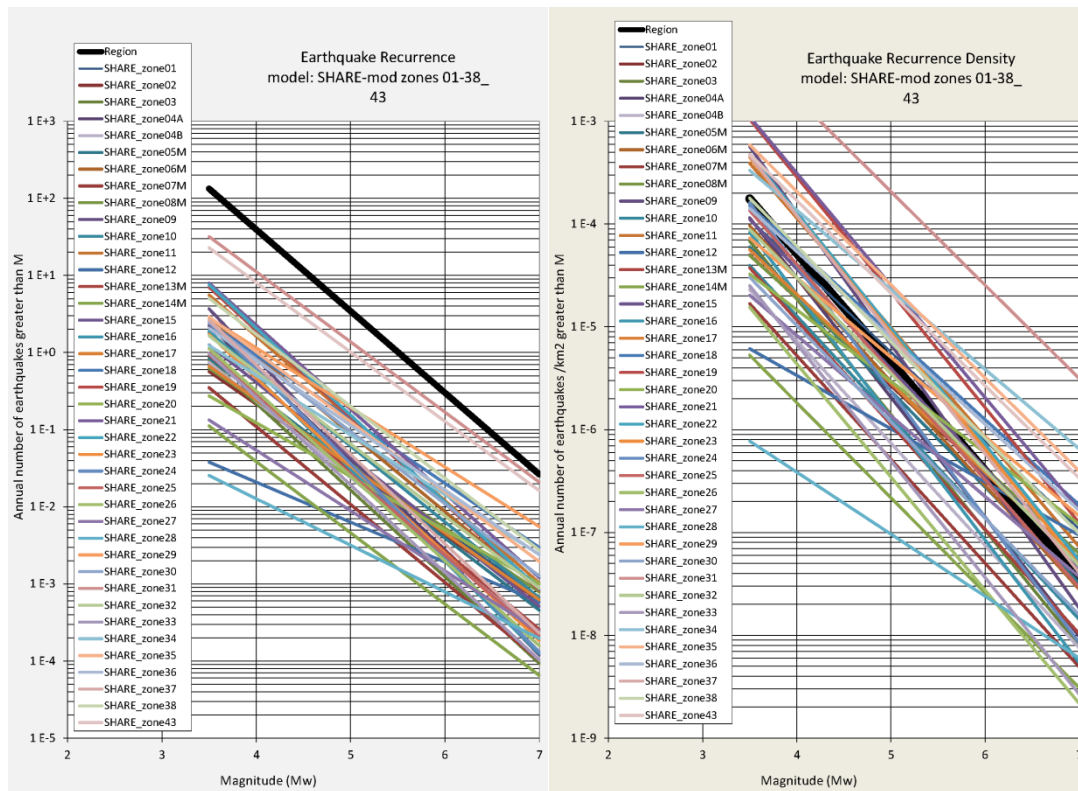
2.4.7.3 Módosított SHARE modell

A SHARE-MOD jelzésű forrásmodell a SHARE modell néhány zónájának módosításával jött létre. Lényegében a medence területét lefedő eredeti zone04 két részre lett osztva, így módon a zónák jobban tükrözik az ÉK – DNy-i irányítotttságot, a zónák geometriája jobban illeszkedik az ún. közép-magyarországi vonalhoz. Ezen túlmenően a zone05 és zone06 is ÉK-DNy irányba meg lett nagyobbítva. Az eredeti modellhez képest a változás nyolc zónát érint, a modell többi zónája megegyezik a SHARE modell zónáival (76. ábra).

A SHARE-MOD modell is kizárólag területi forrásokat tartalmaz, mivel olyan aktív tektonikai szerkezet nem ismert ezen a területen, melyhez megfelelő számú földrengés adatot lehetne asszociálni.



76. ábra A SHARE-mod-HF forrásmodell forrászónái



77. ábra Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség a SHARE-mod modell forrászónáiban

A vastag fekete vonal a teljes régió földrengés gyakoriságát és gyakoriság sűrűségét mutatja.

A 77. ábra bal oldali ábrája az egyes zónákban észlelt abszolút gyakoriságot mutatja, mely természetesen nagymértékben függ az egyes zónák területétől is. Ebben az esetben a teljes régióra vonatkozó gyakoriság (vastag fekete vonal) a legnagyobb, hiszen ez az összes zónára vonatkozó összeg.

A jobb oldali ábrán a zónák földrengés gyakorisága normálva van a területtel, lényegében az 1 km²-re vonatkozó földrengés gyakoriság sűrűségét mutatja. Jól látható, hogy néhány zóna szeizmicitása jóval a regionális átlag fölött van.

A módosított SHARE modell adatait az 52. táblázat és az 53. táblázat foglalja össze.

52. táblázat A SHARE-mod modell zónáiban a zónákra meghatározott paraméterek a szeizmicitás G-R modellel történő leírásához (Least square)

Region	$\lambda(M_0)$	β	β szórása	M_u várható értéke	M_u szórása	M_1	M_0	M_2
SHARE_zone01	0,57	1,981	0,118	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone02	0,80	1,955	0,115	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone03	2,25	2,589	0,261	5,6	0,3	5,3	3,5	5,8
SHARE_zone04A	0,75	2,679	0,203	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone04B	0,85	2,294	0,171	6,2	0,3	5,9	3,5	6,4
SHARE_zone05M	2,91	2,151	0,220	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone06M	0,35	2,326	0,244	6,2	0,3	5,9	3,5	6,4
SHARE_zone07M	0,63	2,325	0,199	5,3	0,3	4,8	3,5	5,8
SHARE_zone08M	3,69	1,909	0,170	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone09	1,83	2,954	0,154	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
SHARE_zone10	5,58	2,264	0,176	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone11	0,04	2,456	0,126	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone12	0,93	1,194	0,361	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone13M	0,11	2,342	0,226	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
SHARE_zone14M	1,25	2,128	0,278	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
SHARE_zone15	1,92	2,229	0,217	6,5	0,3	6,4	3,5	6,7
SHARE_zone16	0,67	2,754	0,233	5,9	0,3	5,6	3,5	6,1
SHARE_zone17	2,42	1,995	0,163	6,1	0,3	6,0	3,5	6,3
SHARE_zone18	7,05	1,916	0,122	6,4	0,3	6,3	3,5	6,6
SHARE_zone19	0,27	2,584	0,124	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone20	7,97	1,602	0,238	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone21	7,59	2,514	0,127	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone22	1,72	2,595	0,139	7,2	0,3	7,2	3,5	7,4
SHARE_zone23	2,49	2,612	0,241	6,0	0,3	5,7	3,5	6,2
SHARE_zone24	0,99	2,817	0,188	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone25	1,13	2,412	0,173	5,9	0,3	5,6	3,5	6,1
SHARE_zone26	0,13	2,536	0,208	5,7	0,3	5,4	3,5	5,9
SHARE_zone27	0,03	1,803	0,328	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone28	2,80	1,389	0,489	5,3	0,3	5,0	3,5	5,5
SHARE_zone29	2,43	1,779	0,174	6,7	0,3	6,6	3,5	6,9
SHARE_zone30	31,90	2,16	0,191	6,3	0,3	6,2	3,5	6,5
SHARE_zone31	1,65	2,095	0,097	7,8	0,3	7,8	3,5	8,0
SHARE_zone32	0,97	2,153	0,158	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone33	1,24	2,614	0,128	5,7	0,3	5,4	3,5	5,9
SHARE_zone34	2,90	1,783	0,138	6,7	0,3	6,6	3,5	6,9
SHARE_zone35	2,07	2,088	0,146	6,5	0,3	6,4	3,5	6,7
SHARE_zone36	2,62	1,934	0,264	6,0	0,3	5,7	3,5	6,2
SHARE_zone37	5,05	2,669	0,224	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
SHARE_zone38	22,85	2,148	0,159	6,9	0,3	6,8	3,5	7,1
SHARE_zone43	0,70	2,073	0,116	7,8	0,3	7,8	3,5	8,0

53. táblázat A SHARE-mod modell zónáiban a zónákra meghatározott paraméterek a szeizmicitás G-R modellel történő leírásához (Maximum likelihood)

	$\lambda(M_0)$	β	β szórása	M_u várható értéke	M_u szórása	M_1	M_0	M_2
Region	1,01	2,271	0,261	7,8	0,3	7,8	3,5	8,0
SHARE_zone01	0,85	2,340	0,321	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone02	0,62	2,453	0,210	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone03	1,34	2,459	0,260	5,6	0,3	5,3	3,5	5,8
SHARE_zone04A	0,53	2,346	0,305	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone04B	0,70	1,994	0,250	6,2	0,3	5,9	3,5	6,4
SHARE_zone05M	1,62	2,114	0,135	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone06M	0,29	2,181	0,212	6,2	0,3	5,9	3,5	6,4
SHARE_zone07M	0,69	2,125	0,237	5,3	0,3	4,8	3,5	5,8
SHARE_zone08M	2,35	2,394	0,172	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone09	1,40	2,105	0,165	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
SHARE_zone10	3,08	2,082	0,117	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone11	0,21	3,151	1,038	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone12	0,49	2,098	0,165	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone13M	0,13	2,222	0,382	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
SHARE_zone14M	1,10	2,068	0,255	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
SHARE_zone15	1,06	2,146	0,142	6,5	0,3	6,4	3,5	6,7
SHARE_zone16	0,53	1,663	0,142	5,9	0,3	5,6	3,5	6,1
SHARE_zone17	1,93	1,813	0,119	6,1	0,3	6,0	3,5	6,3
SHARE_zone18	5,27	2,401	0,128	6,4	0,3	6,3	3,5	6,6
SHARE_zone19	0,22	1,456	0,268	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone20	4,87	2,430	0,174	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone21	4,71	2,320	0,168	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone22	0,79	2,019	0,136	7,2	0,3	7,2	3,5	7,4
SHARE_zone23	1,15	2,544	0,136	6,0	0,3	5,7	3,5	6,2
SHARE_zone24	0,57	1,979	0,163	6,6	0,3	6,5	3,5	6,8
SHARE_zone25	0,75	2,179	0,164	5,9	0,3	5,6	3,5	6,1
SHARE_zone26	0,21	2,650	0,560	5,7	0,3	5,4	3,5	5,9
SHARE_zone27	0,06	2,496	0,498	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone28	1,91	1,752	0,118	5,3	0,3	5,0	3,5	5,5
SHARE_zone29	1,40	2,138	0,208	6,7	0,3	6,6	3,5	6,9
SHARE_zone30	18,31	1,780	0,047	6,3	0,3	6,2	3,5	6,5
SHARE_zone31	1,15	1,988	0,190	7,8	0,3	7,8	3,5	8,0
SHARE_zone32	0,82	2,452	0,209	6,2	0,3	6,1	3,5	6,4
SHARE_zone33	0,74	1,580	0,164	5,7	0,3	5,4	3,5	5,9
SHARE_zone34	1,66	1,821	0,165	6,7	0,3	6,6	3,5	6,9
SHARE_zone35	1,31	1,509	0,074	6,5	0,3	6,4	3,5	6,7
SHARE_zone36	1,30	1,886	0,111	6,0	0,3	5,7	3,5	6,2
SHARE_zone37	2,48	1,929	0,125	6,1	0,3	5,8	3,5	6,3
SHARE_zone38	16,02	1,856	0,067	6,9	0,3	6,8	3,5	7,1
SHARE_zone43	1,01	2,271	0,261	7,8	0,3	7,8	3,5	8,0

2.4.8 A rezonanciafrekvencia meghatározása a telephelyen mikroszeizmikus zajmérések segítségével

A fejezetben foglaltakról részletes információk itt találhatóak: [225][234][120]

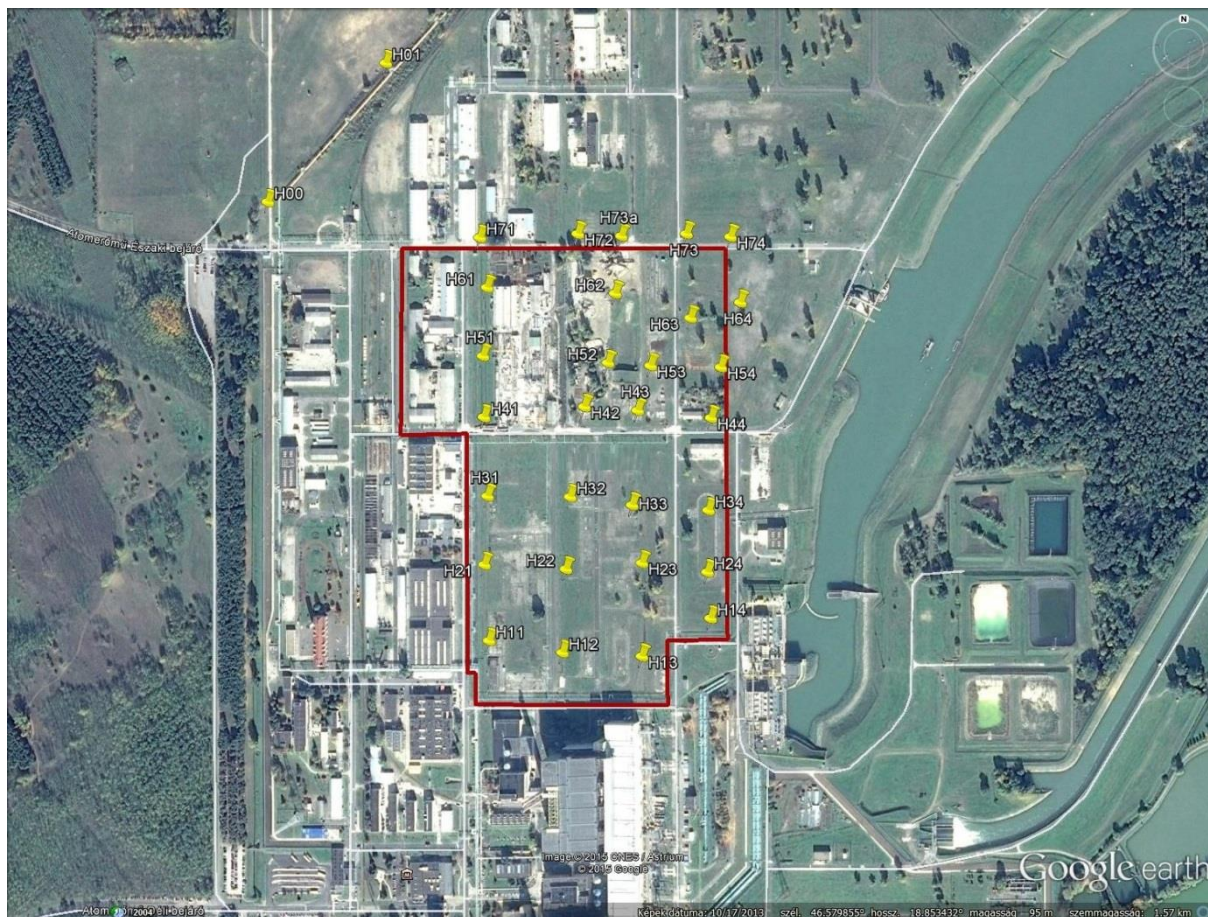
A mikroszeizmikus zajméréseken alapuló H/V módszer egy területen a felső laza rétegsor rezonanciafrekvenciájának és a nagyítás térbeli változékonyságának feltérképezésére, valamint az analitikus módszerekkel kapott eredmények ellenőrzésére alkalmas. Mivel a telephelyen mélyített számos fúrásból a pannon üledékek felszínének mélysége jól ismert, ezért a rezonancia-frekvenciának az ismeretében a negyedidőszaki rétegsor átlagsebességének változékonysága is becsülhető. Használható az egyéb módszerekkel történő sebesség meghatározások ellenőrzésére is.

2.4.8.1 Alkalmazott műszerek

A mérések egymással párhuzamosan, három darab Lennartz Le-3D/5s típusú, három komponenses, 5 s sajátperiódusú szeizmométerrel történtek. A kalibrált, nagy érzékenységgű szeizmométerek a talajmozgás sebességével arányos jelet adnak, érzékenységgük 400 V/(m/s) átvitelük sík a 0,2–40 Hz frekvenciatartományban. A digitalizálás és adatgyűjtés Güralp CMG-DM24S3EAM típusú adatgyűjtővel történt, az időjeleket és a helykoordinátákat GPS vevők szolgáltatták. Az alkalmazott eszközök műszaki specifikációit részletesen tartalmazza a 3.2.1. jelentés melléklete [120].

2.4.8.2 Mérési helyszínek

A mérések az FKP és a kiviteli terv szerint 100 m-es rácshálóban történtek a kijelölt kutatási területen (78. ábra, 54. táblázat). A rácsháló rögzített pontjait az 1995-ös, 200x200 m oldalhosszúságú, úgynevezett fő kutatási terület középpontja, sarok és oldalfelező pontjai határozták meg (Ove ARUP, 1995), a rács többi pontja ezekhez lett igazítva. Az 1995-ös kutatási terület adott pontjaihoz való rögzítést az indokolta, hogy ezeken a helyeken 70–100 m mélységű fúrások, in situ SPT, CPT crosshole, downhole mérések történtek, amelyek segítséget nyújtanak a mérési eredmények értelmezéséhez.



78. ábra A mikrozeizmikus háttérzaj mérések helyszínei

54. táblázat Mérési pontok és koordinátáik

Pont azonosító	Szélesség (°)	Hosszúság (°)
H00	46.58333	18.84667
H01	46.58500	18.84889
H11	46.57735	18.85095
H12	46.57719	18.85238
H13	46.57713	18.85392
H13b	46.57714	18.85393
H14	46.57765	18.85527
H14b	46.57766	18.85528
H21	46.57837	18.85086
H22	46.57831	18.85245
H23	46.57829	18.85393
H24	46.57827	18.85521
H24b	46.57828	18.85522
H31	46.57929	18.85092
H32	46.57928	18.85253
H33	46.57917	18.85374
H34	46.57910	18.85523
H41	46.58035	18.85085
H42	46.58049	18.85281
H43	46.58044	18.85385
H44	46.58034	18.85538
H51	46.58117	18.85083

Pont azonosító	Szélesség (°)	Hosszúság (°)
H52	46.58108	18.85327
H53	46.58104	18.85410
H54	46.58102	18.85547
H61	46.58209	18.85091
H62	46.58201	18.85341
H63	46.58168	18.85488
H64	46.58189	18.85585
H71	46.58276	18.85077
H72	46.58281	18.85268
H73	46.58281	18.85480
H73a	46.58278	18.85353
H74	46.58277	18.85566

2.4.8.3 Mérések kivitelezése

A méréseket a GeoRisk Földrengés Mérnöki Iroda és az MTA CSFK GGI végezte 2015. július hónapban (79. ábra). A mérések az emberi tevékenység okozta zajok minimalizálása érdekében munkaidő után és az éjszakai órákban történtek. A regisztrálás időtartama minden pontban a stabil eredmények elérése érdekében 45 perc volt, ami jelentősen meghaladta az ajánlott minimális időtartamokat. A mintavételi frekvencia 100 Hz volt.



79. ábra Mikroszeizmikus háttérzaj mérés a H01 pontban

2.4.8.4 Adatfeldolgozás

Az adatfeldolgozás minden mérési pontban a következő lépéseket foglalta magában:

- az adatgyűjtés a szeizmológiai gyakorlatban standard miniSEED file formátumban történt. Első lépésben az adatok konvertálva lettek a feldolgozó szoftver által igényelt SESAME SAF formátumra
- hosszú periódusú trend eltávolítása, alapvonal korrekció
- tranziens jelek eltávolítása
- amplitúdó spektrumok számítása mindhárom komponensre rögzített hosszúságú ablakokban, simításuk és az időbeli stabilitás valamint az átlagos amplitúdó spektrumok számítása
- H/V spektrális arányok meghatározása minden ablakban, a két horizontális komponens geometriai átlagának számításával, az időbeli stabilitás vizsgálata
- H/V arányok és a rezonanciafrekvencia átlagának, szórásának számítása, a görbék és a görbéken megjelenő rezonancia csúcsok megbízhatóságának vizsgálata
- a H/V arányok irányfüggésének vizsgálata a 10 fokonként mért horizontális komponens és a vertikális komponens hányadosának számításával és ábrázolásával a frekvencia és az irány függvényében

Az adatfeldolgozás a WinMASW 6.1. szoftver HVSR moduljának felhasználásával történt.

2.4.8.5 Eredmények

A bővítési terület mérési pontjaira számított átlagos H/V görbék hasonló lefutása alapján megállapítható, hogy rezonancia szempontjából a bővítési terület viselkedése egységes, nagyobb laterális változékonyság csak a magasabb frekvenciáknál látható (80. ábra és 81. ábra).

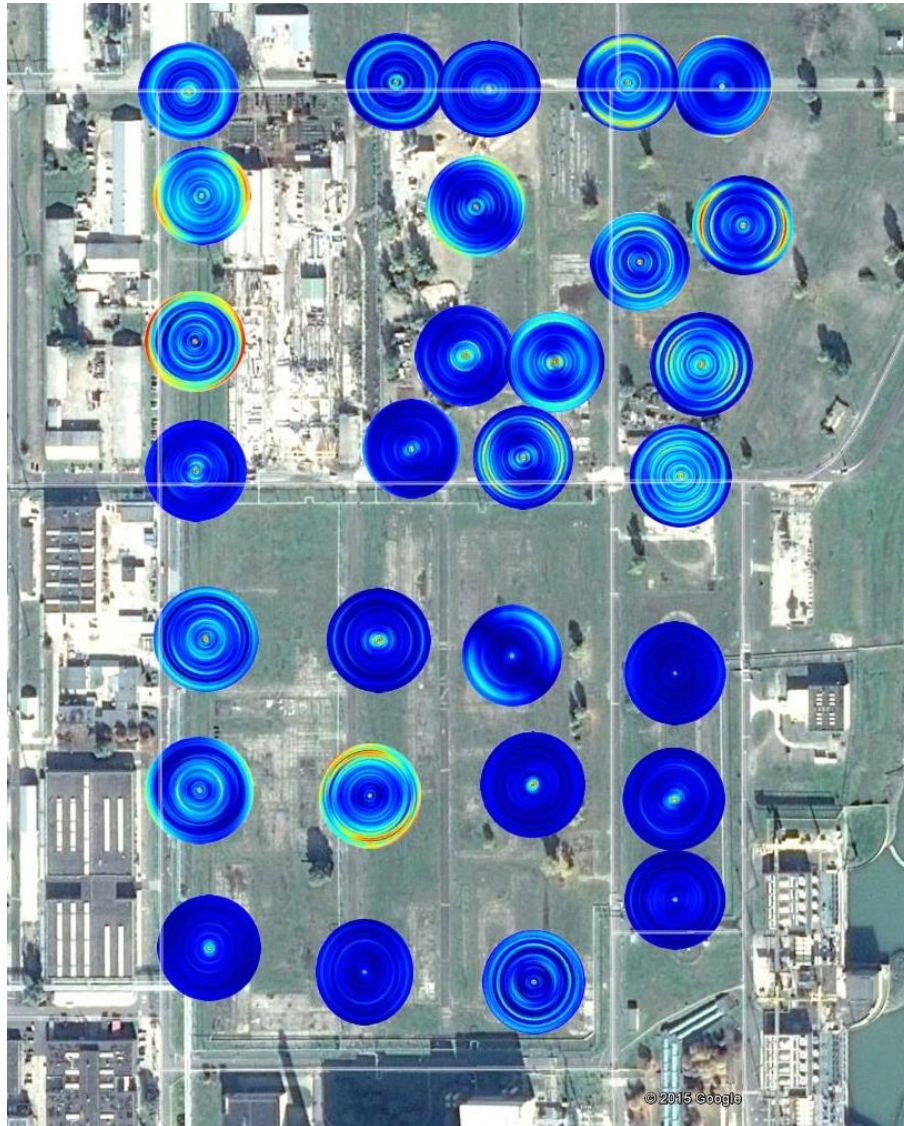
A korábbi kutatásokból jól ismert, hogy a területen a negyedidőszaki homokos-kavicsos üledékek diszkordánsan települnek a sűrűbb, iszapos-homokos felső-pannon képződményekre. A korábban mélyített fúrások alapján a kvarter rétegek vastagsága 27–30 m és az elvégzett geofizikai és geotechnikai mérések (Ove Arup, 1995) kimutatták a szeizmikus hullámok sebességének gyors megnövekedését is. Az 1995-ben kijelölt fő kutatási terület középpontjában elvégzett crosshole mérések alapján a kvarteren belül a nyíróhullámok sebessége 260-320 m/s között változik. A fentiek alapján a laza negyedidőszaki homokos összlet becsült rezonanciafrekvenciája (gyenge mozgásokra, lineáris tartományban) 27 m-es vastagságot és 290 m/s átlagsebességet feltételezve 2,7 Hz, 30 m-es vastagságnál és ugyanilyen átlagsebességnél 2,4 Hz.

Emiatt az 1 Hz környékén megjelenő csúcsot nem egyedül a kvarter rétegek rezonanciája okozza. A megfigyelt 1 Hz környéki csúcsnak lehetséges magyarázata a telephelyen működő berendezések vagy más zajforrások keltette erősebb vízszintes talajrezgés.

A H/V görbék nagy részénél 3 Hz környékén megjelenő kisebb maximum valószínűleg a negyedidőszaki rétegek rezonanciafrekvenciájának köszönhető. A vártnál magasabb frekvencia egyik valószínűsíthető oka lehet, hogy a többszörös reflexiók nem közvetlenül a

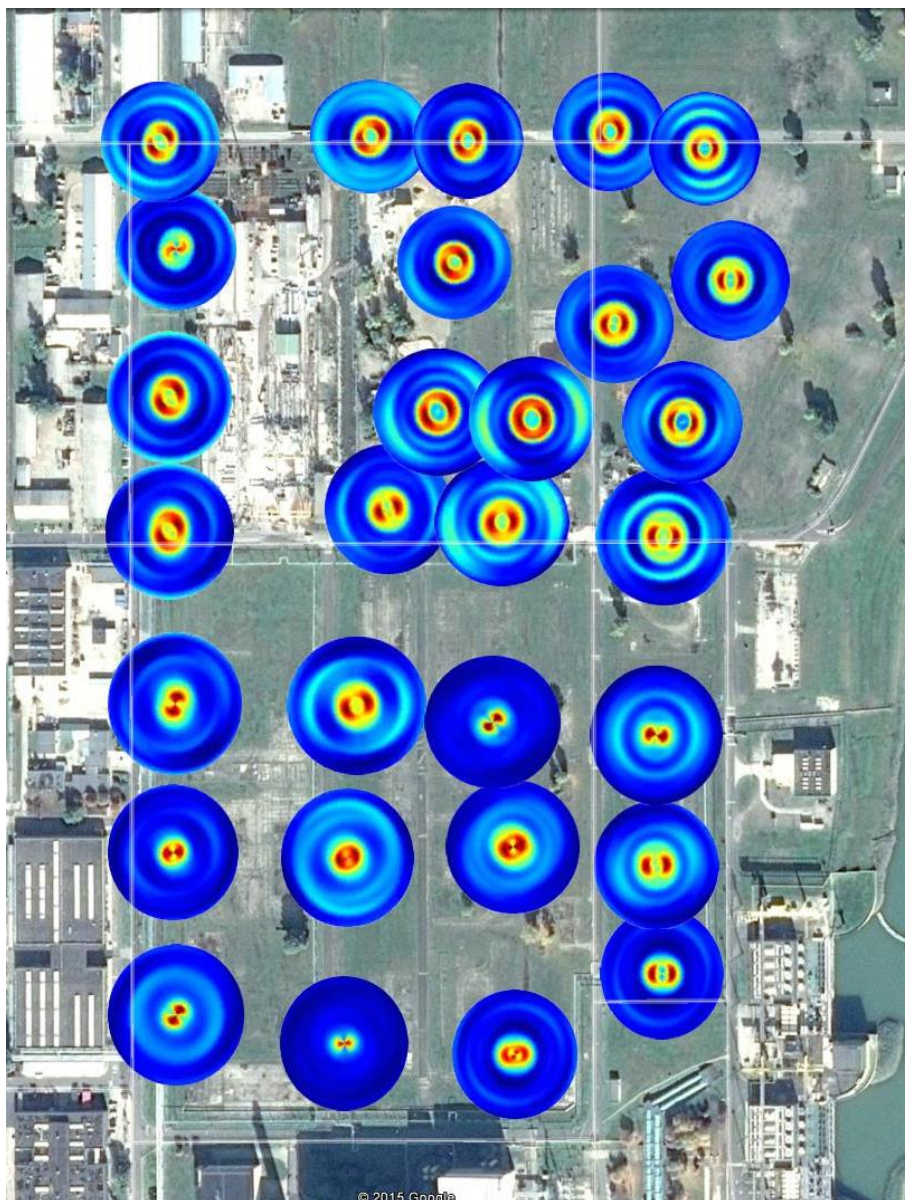
pannon határról, hanem már a kvarter alján megtalálható kavicsos rétegekből erednek. A kisebb rétegvastagság a nagyobb frekvenciák felé tolja el a rezonancia csúcsot.

A magasabb frekvenciákon a görbéken megjelenő kisebb-nagyobb lokális maximumok a felszínhez közeli inhomogenitásoknak és helyi zajforrásoknak köszönhetőek.



80. ábra A H/V arányok irányfüggése 0–32 Hz között

A polárdiagramokon a frekvenciaskála a sugarak mentén lineáris. A meleg színek a nagyobb H/V arányt jelzik.



81. ábra A H/V arányok irányfüggése 0–5 Hz között

A polárdiagramokon a frekvenciaskála a sugarak mentén lineáris. A meleg színek a nagyobb H/V arányt jelzik.

2.4.9 Mikroszeizmikus monitorozás

A fejezetben foglaltakról részletes információk itt találhatóak: [346][347][348][349][238]

A földrengések megfigyelése, monitorozása a hatályos jogi környezetben mind az atomerőművek telephelyének vizsgálata és értékelése, mind az atomerőmű teljes üzemideje alatt kötelezően előírt feladat. Az NBSz {118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet} előírása szerint:

7.3.1.0500. A telephely környezetében a mikroszeizmikus aktivitást megfelelően telepített és érzékeny rendszerrel monitorozni kell. A megfigyelésnek olyan időtartamot kell felölelni, amely a mikroszeizmikus aktivitást reprezentálja, és össze kell gyűjteni más megfigyelésekből minden releváns adatot.

valamint:

7.5.2.0100. A telephely környezetének mikroszeizmikus monitorozását a telephely-értékelés előtt legalább három évig kell végezni az adatok reprezentativitásának érdekében, és az atomerőmű teljes üzemideje alatt folytatni kell.

A paksi telephely környezetében 1995-óta működik egy mikroszeizmikus monitoring hálózat, mely a tervezése szerint az $ML \geq 2,0$ magnitúdójú lokális földrengések megfigyelését tűzte célul a telephely 100 km sugarú környezetében. A NAÜ 1993 szeptemberében folytatott helyszíni vizsgálatai után javasolta a korszerű, digitális szeizmológiai állomáshálózat telepítését a tervezett telephelyen kívül. 2013-ban a mikroszeizmikus megfigyelő hálózat teljes rekonstrukciójára került sor. Ennek keretében mind a szeizmológiai mérőeszközök, mind az adatközpont hardver és szoftver elemeinek teljes cseréje megtörtént. A rekonstrukció eredményeként a mérőhálózat modern eszközparkkal rendelkezik, javult a mérőállomások rendelkezésre állása. A legújabb kommunikációs lehetőségek felhasználásával mindegyik mérőállomáson folyamatos az adatgyűjtés és minden állomás online kapcsolatban van az adatközponttal.

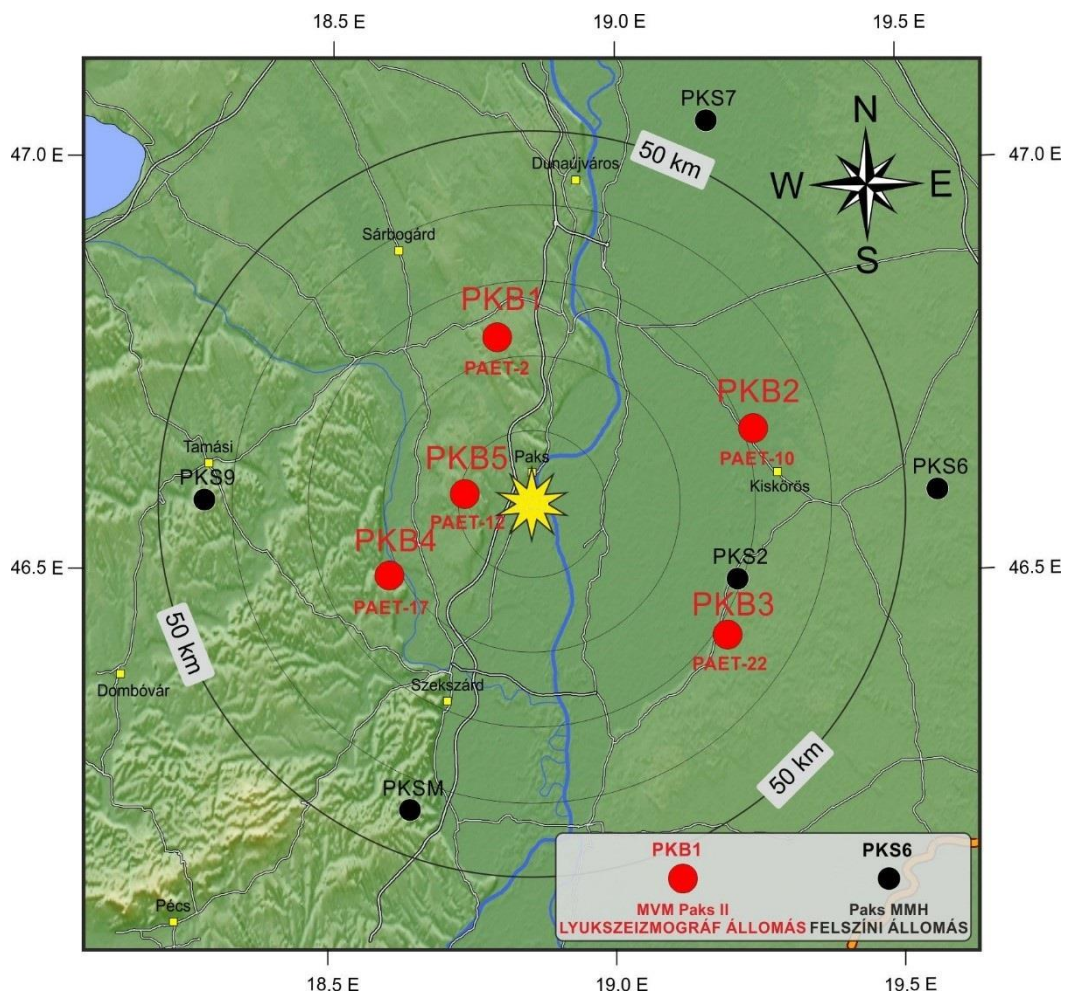
A Paks2 FKP a húsz éve működő, 10 mérőállomásból álló mikroszeizmikus megfigyelő hálózat kiegészítését irányozta elő. A hálózat eddigi $ML \geq 2$ magnitúdó körüli észlelési képességének javítása és a földrengés paraméterek pontosabb kiszámíthatósága érdekében az új program keretében 5 további mérőállomás került elhelyezésre a telephely 30-40 km-es környezetében (55. táblázat, 82. ábra).

A modern szeizmológiai méréstechnikában a megfigyelések érzékenységét elsősorban a természetes és mesterséges forrásokból származó háttérzaj korlátozza. Paks környékén a zajszint meglehetősen magas, a geológiai adottságok pedig a szeizmológiai észlelések szempontjából kedvezőtlenek, hiszen a vastag üledékrétegek a szeizmikus zaj felszíni hullámait felerősítik. Mivel a zajhullám amplitúdója a mélységgel jelentősen csökken, az utóbbi években elterjedt a lyukszeizmográfok alkalmazása a földrengés megfigyelés érzékenységének növelésére. Az új állomásokon az érzékelő lyukszeizmográfok 150 m talpmélységű fúrólukban lettek telepítve a lehető legmagasabb jel/zaj viszony, ilyenformán a lehető legalacsonyabb magnitúdó érzékelési küszöb elérése érdekében (83. ábra).

Az ily módon kialakított, bővített állomáshálózat észlelési képessége a telephely környezetében várhatóan az $ML \geq 0,5-1$ magnitúdó-tartományba esik.

55. táblázat Az MVM Paks II mikroszeizmikus mérőállomásai

állomás jele	helység	földrajzi koordináta		mérőeszközök gyári számai	
		szélesség N	hosszúság E	szeizmométer TC20-PH2 20s	digitalizáló/ adatgyűjtő CTR-3 Centaur, 24-bit, 3 Ch
PKB1	Előszállás	46,7843	18,7921	3333	0852
PKB2	Akasztó	46,6743	19,2418	3331	0854
PKB3	Császártöltés	46,4242	19,1950	3247	0858
PKB4	Kölesd	46,4963	18,6038	3332	0848
PKB5	Pusztahencse	46,5950	18,7355	3254	0859



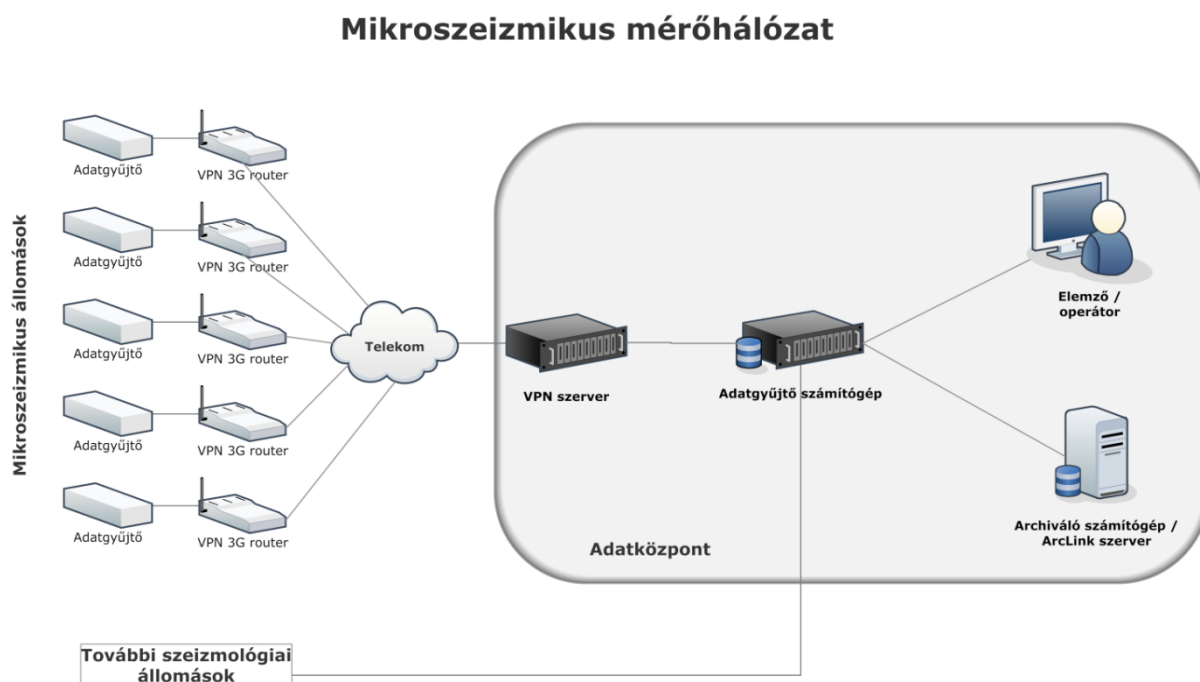
82. ábra Az MVM Paks II. Zrt mikroszeizmikus hálózat állomásai

A tervezett telephelyet a sárga csillag poligon jelöli.



83. ábra A PKB5 mikroszeizmikus mérőállomás Pusztahencse közelében

A mérőállomások adatai mobil internet kapcsolat segítségével folyamatosan az adatközpontba jutnak, ahol az adatok archiválása és automatikus feldolgozása is történik (84. ábra).

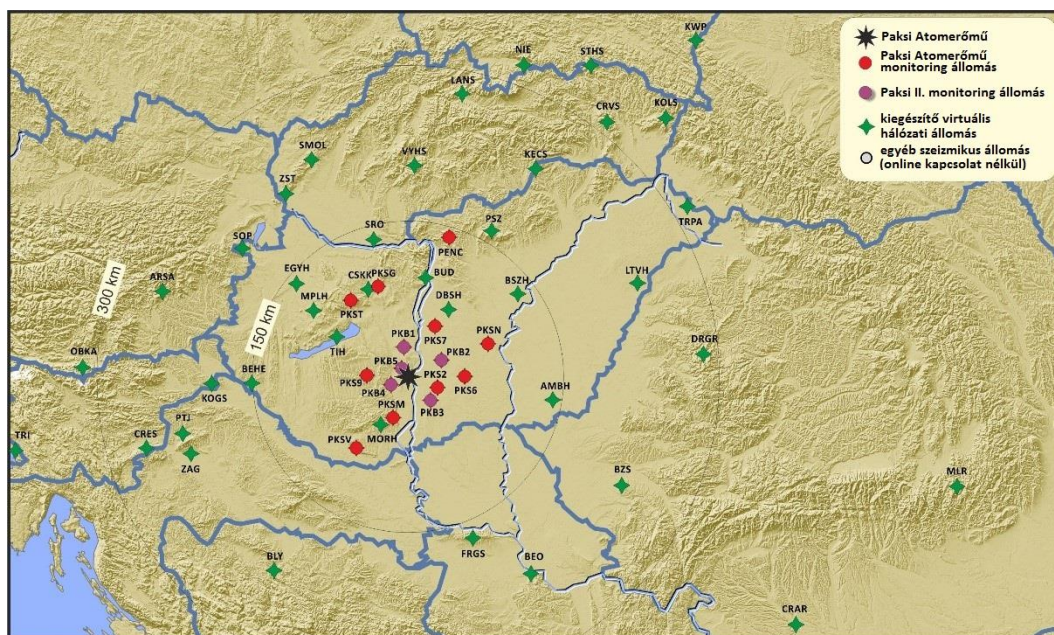


84. ábra A mikroszeizmikus monitoring rendszer adatátviteli topológiája

Az 5 lyukszeizmográf állomásból álló modern mérőhálózat 2016. március 1-én kezdte meg a folyamatos monitorozást.

A Paks2 mikroszeizmikus monitoring hálózatot a GeoRisk Földrengés Mérnöki Iroda üzemelteti a Paksi Atomerőmű 10 felszíni monitoring állomásával együtt. Minden mérőállomás on-line elérhető, az adatközpontban az adatgyűjtés folyamatosan, közel valós időben történik. A mérési adatok feldolgozása és kiértékelése a Magyarországon valamint a szomszédos országokban elérhető szeizmológiai állomások adataival integráltan folyik a HUN-Reng virtuális szeizmológiai hálózat keretében (85. ábra). A mikroszeizmikus

megfigyelő hálózat valós idejű szeizmogramjai, automatikus és manuálisan felülvizsgált és értelmezett mérési eredményei nyilvánosan is elérhetők a www.foldrenges.hu címen.



85. ábra A HUN-Reng virtuális hálózathoz felhasznált állomások

Az üzemeltetés során a terepi mérőállomások mechanikai és elektromos állapotát rendszeresen ellenőrzik, az esetleges hibákat, sérüléseket a lehető leghamarabb kijavítják. A hálózat összetevői állapotának, működésének ellenőrizhetőségét az adatgyűjtő/feldolgozó szoftver elemei biztosítják.

Az állomáson telepített eszközök által mért adatok Interneten keresztül haladéktalanul (mintegy 10-15 másodperc késéssel) az adatközpontba kerülnek. Azonban a nagyobb biztonság, redundancia érdekében az állomási adatgyűjtő berendezés is megőrzi az adatokat két formában is:

- egy átmeneti tárolóban, ahonnan 1 napnál rövidebb kommunikációs probléma esetén az adatközpont folytatni tudja a megszakítás nélküli adatfolyam átvitelét (először pótolva a központban hiányzó adatokat)
- SEED formátumú adatfájlokban, amelyeket később bármikor át lehet másolni az adatközpont lemezeire – ennek kapacitása néhány hónap

Az üzemeltetés keretében biztosítva van az adatközponti számítógépek (adatgyűjtő szerver, adattároló szerver) folyamatos üze. Szükség esetén a meghibásodott, vagy bizonytalanul működő részeket haladéktalanul cserélik. Az üzemeltető gondoskodik az adatfeldolgozáshoz használt szoftverek (Seiscomp3, segédprogramok, stb.), valamint azok konfigurációs fájljainak folyamatos karbantartásáról, frissítéséről. Rendszeresen biztonsági másolatok készülnek a mérési adatokról, valamint az azok feldolgozásából származó földrengés-paraméter adatokról.

Az adatgyűjtés a mérőállomásokon folyamatos. A Mikroszeizmikus Monitorig Rendszer mérési adatainak tárolása redundáns, egyrészt a helyszínen (a terepi állomásokon), ezzel párhuzamosan pedig az adatközpontban – ott is több példányban – történik.

Az adatközpont a földrengés-paraméterek megbízhatóbb meghatározása érdekében nem csak az FKP keretében létesített hálózat állomásairól származó adatokat gyűjti, hanem a többi magyarországi szeizmológiai állomásról származó adatokat is, valamint több olyan – elsősorban közép-európai – állomás adatát, amely nyilvánosan, korlátozások nélkül hozzáférhető.

Az adatközpontban a beérkező adatok feldolgozása, kiértékelése két lépésben történik: automatikusan és manuálisan.

Az adatátvitelt, tárolást és feldolgozást szervező Seiscomp3 szoftver alkalmas arra, hogy a beérkező adatok folyamatos, közel valós idejű vizsgálatának során az esetleges földrengéseket – az esetek nagy százalékában – felismerje, és azok paramétereit (kipattanási hely, idő, méret) kiszámítsa. Kedvező körülmények között a rengés kipattanását követő 2 percen belül a hálózat működését felügyelő szeizmológus szakembernek a földrengés bekövetkeztéről hírt adó, az automatikusan kiszámított paramétereket tartalmazó e-mail értesítést küld.

A manuális – offline – feldolgozás során azután a szeizmológus az automatikusan meghatározott értékeket ellenőrzi, pontosítja. Ezen kívül az automatikusan fel nem ismert földrengések hullámfázisait „kiméri”, azok paramétereit kiszámítja.

A mikroszeizmikus monitorozás mérési eredményeinek értékelése integráltan történik más, magyarországi és a szomszédos országokban elérhető szeizmológiai állomások és adatközpontok adataival. A szeizmológiai értelmezés alapja a manuális feldolgozás során kapott eredmény. Az értelmezés során az alábbi feladatokat kell elvégezni:

- a regisztrált események paramétereinek (kipattanási idő, epicentrum, mélység, magnitúdó) és azok hibáinak értékelése
- a regisztrált események listájának elkészítése és megjelenítése térképes formában
- a természetes eredetű földrengések és robbantások elkülönítése
- az érezhető földrengések hatásterületének (intenzitás eloszlás) modellezése
- fészekmechanizmus meghatározás minden olyan rengés esetében, ahol elegendő adat rendelkezésre áll.

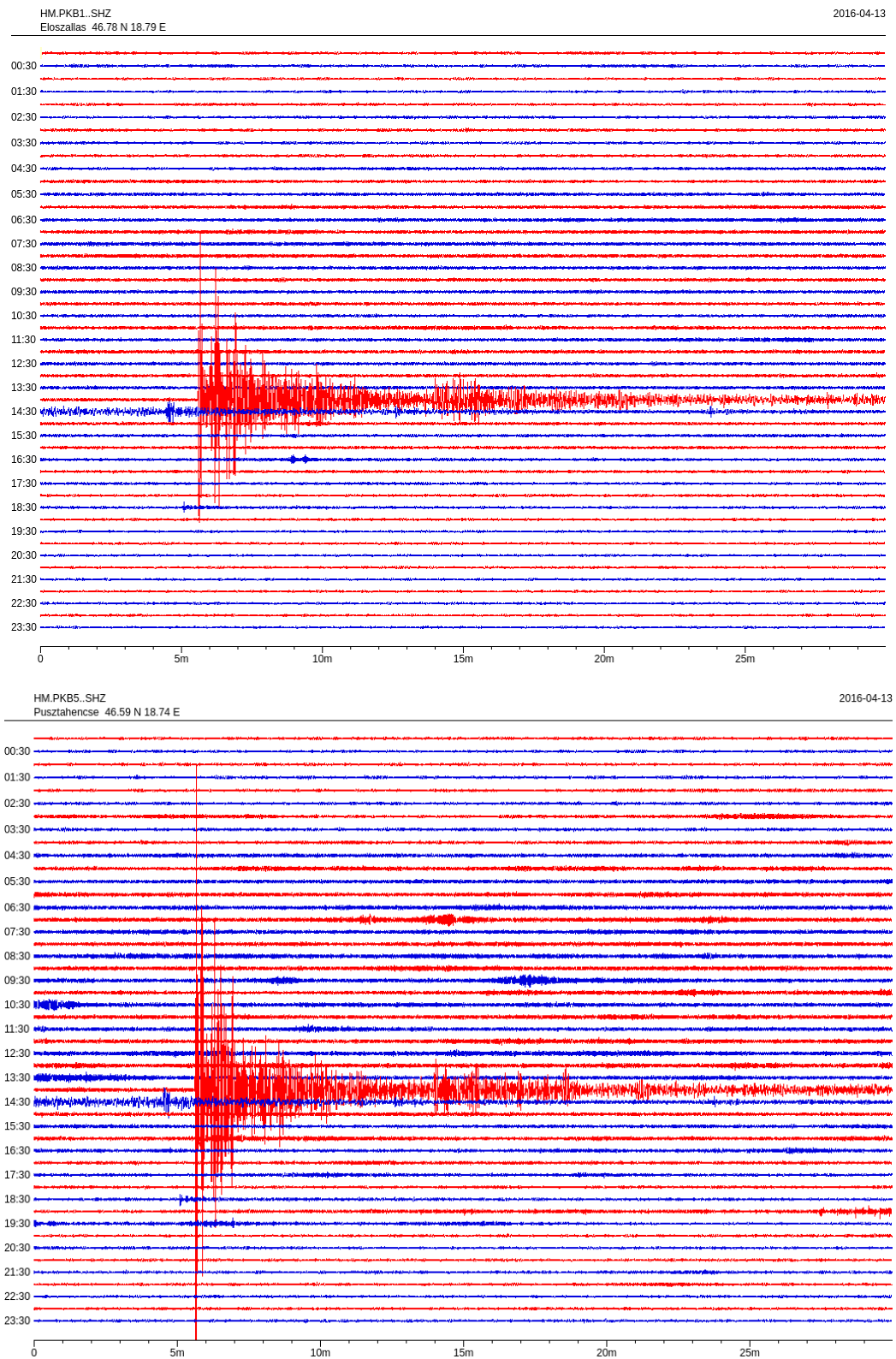
Havonta jelentés készül a mérőhálózat működéséről és a monitorozás eredményéről. A havi jelentés az alábbiakat tartalmazza:

- a hálózat állapota, működése (állomásonként) az adott időszakban; az esetleges kimaradások, meghibásodások felsorolása, és azok okai
- eseménylista a tárgy hónap során regisztrált szeizmikus eseményekről
- fázis adatok a tárgy hónap során regisztrált szeizmikus eseményekről
- tárgy hónap során regisztrált szeizmikus események térképe
- az érezhető rengések intenzitás eloszlása (instrumental intensity)
- a magyarországi események szeizmogramjai

Az offline adatfeldolgozás miatt a havi jelentések a tárgy hónapot követő hónap 20-ig készülnek el.

A 86. ábra egy távoli földrengés szeizmogramját mutatja, ahogy azt a PKB1 és PKB5 lyukszeizmográf állomás regisztrálta.

Az új mérőállomásokkal kiegészített hálózat észlelési képessége javult, egészen kis (esetenként negatív) magnitúdójú események regisztrálása is lehetővé vált, ahogy a 56. táblázat is mutatja.



86. ábra Távoli földregés szeizmogramja a PKB1 (fent) és PKB5 (lent) állomásokon

2016-04-13 13:55:03.6 M 7.2 Myanmar-India Border Region

56. táblázat A mikroszeizmikus hálózat üzembe helyezése (2016.03.01.) óta Magyarországon és közvetlen környezetében regisztrált szeizmikus események (földrengés és robbantás)

Day	Origin time UTC hr mn sec	Geographic coordinates Lat Long	Depth	ML	IO	Locality

MARCH, 2016						
01	13:51:55.8	45.942N 18.769E	0	2.1	-	Homorúd
01	16:48:35.5	45.959N 18.693E	6	0.7	-	Kölked
02	7:56:27.6	45.912N 18.738E	10	0.8	-	Kölked
02	8:30:43.3	47.469N 18.396E	0	1.2	-	Várgesztes (expl.)
02	11:23:52.2	45.821N 18.385E	0	1.4	-	Kistapolca (expl.)
04	10:43:52.0	45.398N 18.458E	6	1.6	-	Croatia
05	22:01:37.6	47.890N 18.012E	10	1.8	-	Slovakia
07	11:01:15.0	48.564N 19.354E	0	1.6	-	Slovakia (expl.)
07	12:32:48.0	48.211N 21.230E	10	1.8	-	Rátka
07	20:03:52.4	47.313N 18.343E	10	1.0	-	Zámoly
07	21:33:20.7	47.298N 18.342E	7	0.6	-	Magyaralmás
07	22:01:16.2	47.272N 18.375E	2	0.1	-	Sárkeresztes
07	22:48:51.1	47.329N 18.332E	10	0.2	-	Söréd
07	23:11:55.1	47.289N 18.364E	0	-0.5	-	Magyaralmás
08	2:22:52.0	45.694N 18.250E	6	0.7	-	Croatia
08	16:19:47.2	47.331N 18.329E	10	0.1	-	Söréd
09	9:25:45.1	48.416N 19.124E	0	1.4	-	Slovakia (expl.)
09	10:39:28.4	47.033N 17.796E	10	1.2	-	Tótvázsony
09	14:26:50.8	48.494N 20.343E	0	1.5	-	Slovakia (expl.)
10	7:15:10.1	47.197N 18.005E	0	0.4	-	Eplény (expl.)
10	21:05:27.9	45.656N 18.206E	4	1.0	-	Croatia
15	12:00:22.5	48.547N 19.355E	0	1.6	-	Slovakia (expl.)
15	18:46:34.0	47.800N 17.238E	10	1.5	-	Újronafő
16	7:28:55.0	47.297N 18.338E	0	0.5	-	Magyaralmás (expl.)
16	8:32:50.4	48.516N 19.320E	0	1.7	-	Slovakia (expl.)
16	9:26:46.6	47.199N 18.301E	0	0.5	-	Székesfehérvár (expl.)
16	10:23:05.4	48.635N 20.712E	0	1.5	-	Slovakia (expl.)
16	12:06:02.0	47.204N 18.332E	0	0.7	-	Székesfehérvár (expl.)
17	21:50:44.0	45.645N 21.108E	12	1.9	-	Romania
18	8:31:23.8	47.587N 18.490E	0	0.9	-	Tarján (expl.)
18	14:00:11.7	47.311N 18.336E	0	0.8	-	Magyaralmás (expl.)
18	14:12:16.1	47.296N 18.341E	0	1.1	-	Magyaralmás (expl.)
18	21:58:19.1	45.843N 21.199E	9	2.9	-	Romania
21	10:03:55.6	47.204N 18.303E	0	0.8	-	Székesfehérvár (expl.)
22	2:12:01.6	45.921N 15.391E	1	3.1	-	Slovenia
22	12:06:55.1	48.555N 21.047E	0	1.5	-	Slovakia (expl.)
23	8:32:46.4	46.940N 18.784E	10	1.8	-	Mezőfalva
24	8:38:46.0	47.979N 20.000E	0	1.6	-	Mátraballa (expl.)
24	16:54:50.7	47.294N 17.573E	9	1.6	-	Nagytevel
25	8:16:16.4	47.094N 18.008E	7	1.0	-	Litér
25	9:25:16.9	46.055N 18.114E	0	0.8	-	Cserkút (expl.)
25	10:12:13.7	46.178N 18.287E	0	0.8	-	Zobákpuszta (expl.)

APRIL, 2016

02	2:02:12.2	47.542N	16.806E	14	1.2	-	Ebergőc
03	19:53:22.7	46.150N	16.703E	10	1.1	-	Croatia
04	10:50:51.1	48.210N	21.245E	10	1.9	-	Rátka
04	14:00:10.2	48.000N	20.159E	10	0.7	-	Terpes
05	6:08:30.4	47.269N	17.649E	19	0.9	-	Homokbödöge
05	7:07:29.3	45.859N	18.411E	0	0.4	-	Nagyharsány (expl.)
05	8:20:22.8	48.629N	20.711E	0	1.4	-	Slovakia (expl.)
05	8:53:02.9	46.127N	18.030E	3	0.5	-	Hetvehely
06	8:32:14.7	48.606N	20.749E	0	1.7	-	Slovakia (expl.)
07	8:12:12.4	47.196N	18.306E	0	0.4	-	Székesfehérvár (expl.)
07	8:21:27.8	47.908N	19.400E	0	1.6	-	Becske (expl.)
07	8:53:46.8	47.876N	19.148E	0	1.5	-	Nőtincs (expl.)
08	7:33:19.2	47.172N	17.900E	16	1.0	-	Eplény
08	8:40:31.3	46.279N	18.199E	0	0.6	-	Kisvaszar (expl.)
08	9:42:07.0	48.887N	20.505E	0	1.8	-	Slovakia (expl.)
11	9:39:22.6	47.197N	18.317E	0	0.9	-	Székesfehérvár (expl.)
12	5:08:28.3	47.285N	18.368E	0	0.8	-	Magyaralmás (expl.)
12	5:44:15.1	47.457N	18.217E	0	0.4	-	Bokod (expl.)
12	6:40:38.0	47.450N	18.403E	0	1.2	-	Várgesztes (expl.)
12	9:42:52.7	47.196N	18.312E	0	0.3	-	Székesfehérvár (expl.)
13	8:21:27.9	45.878N	18.387E	0	1.3	-	Kisharsány (expl.)
13	8:42:15.7	45.475N	17.901E	10	1.6	-	Croatia
18	9:03:59.4	46.136N	18.075E	2	0.5	-	Abaliget
18	12:03:32.5	48.634N	20.729E	0	1.8	-	Slovakia (expl.)
19	6:50:58.0	46.950N	18.992E	1	0.8	-	Dunavecse
19	11:42:22.3	47.447N	18.509E	9	1.9	-	Bodmér
22	8:27:37.6	48.628N	20.718E	0	1.6	-	Slovakia (expl.)
22	8:38:44.6	45.603N	17.379E	8	1.3	-	Croatia
22	9:15:29.5	46.169N	18.273E	13	0.6	-	Mánfa
23	9:04:35.8	46.189N	18.223E	20	0.7	-	Sikonda
25	5:54:05.9	46.416N	17.097E	13	2.4	-	Sand
25	8:48:37.4	47.721N	18.406E	0	1.1	-	Dunaszentmiklós (expl.)
25	9:32:30.3	47.186N	18.307E	0	0.3	-	Székesfehérvár (expl.)
25	10:28:23.0	48.055N	16.114E	9	3.6	-	Austria
25	10:49:37.5	48.017N	16.054E	13	1.7	-	Austria
26	3:40:50.9	48.046N	16.146E	8	1.5	-	Austria
26	7:53:59.0	47.167N	18.223E	0	0.3	-	Ósi (expl.)
26	8:33:28.3	47.211N	18.221E	0	0.1	-	Csór (expl.)
28	9:16:53.7	46.022N	18.368E	0	0.3	-	Hásságy (expl.)
28	9:22:18.2	47.183N	18.295E	0	0.2	-	Sárkeszi (expl.)
28	9:34:54.3	47.198N	18.315E	0	0.8	-	Székesfehérvár (expl.)
28	11:15:44.6	48.418N	17.275E	0	2.1	-	Slovakia (expl.)
28	11:49:50.0	47.846N	19.428E	0	1.5	-	Galgaguta (expl.)
29	4:41:28.6	47.239N	19.228E	15	2.0	-	Bugyi
29	8:20:18.9	48.625N	20.708E	0	1.5	-	Slovakia (expl.)
30	0:15:05.1	46.537N	21.205E	5	2.4	-	Kétegyháza

MAY, 2016

01	2:08:04.4	47.203N	17.445E	9	0.7	-	Bakonypölöske
01	22:23:08.3	48.650N	18.631E	10	1.3	-	Slovakia
02	8:26:42.8	48.543N	19.369E	0	1.3	-	Slovakia (expl.)
03	8:45:47.0	48.417N	19.143E	0	1.7	-	Slovakia (expl.)
03	11:25:03.7	47.173N	18.340E	1	0.9	-	Székesfehérvár
04	8:40:15.9	48.593N	20.758E	0	1.8	-	Slovakia (expl.)
04	11:00:30.9	48.910N	20.893E	0	1.9	-	Slovakia (expl.)
05	10:26:30.9	47.870N	19.396E	10	1.3	-	Bercel
05	10:30:56.3	48.872N	20.479E	6	1.9	-	Slovakia
06	8:41:30.0	45.850N	17.395E	10	1.2	-	Croatia
06	13:51:05.5	45.546N	20.059E	10	2.2	-	Serbia
09	5:08:12.0	47.293N	18.349E	0	0.5	-	Magyaralmás (expl.)
09	8:04:13.3	48.641N	20.737E	0	1.5	-	Slovakia (expl.)
09	8:14:59.2	48.551N	19.373E	0	1.4	-	Slovakia (expl.)
09	11:33:20.5	48.237N	18.282E	0	1.4	-	Slovakia (expl.)
09	12:19:54.9	47.175N	18.297E	0	0.3	-	Sárkeszi (expl.)
10	5:52:01.1	48.034N	16.124E	10	2.0	-	Austria
10	8:10:32.5	48.584N	20.756E	8	1.6	-	Slovakia
10	8:51:45.3	48.427N	17.230E	0	2.0	-	Slovakia (expl.)
10	9:05:04.5	45.607N	17.340E	12	1.5	-	Croatia
10	10:47:36.6	47.938N	19.827E	0	1.8	-	Mátraverebély (expl.)
10	20:27:44.3	47.368N	18.237E	4	-0.3	-	Mór
11	7:36:44.4	45.482N	18.003E	0	1.5	-	Croatia
11	9:42:56.2	48.890N	20.454E	0	1.7	-	Slovakia (expl.)
12	10:43:05.8	48.783N	20.030E	0	1.7	-	Slovakia (expl.)
16	7:23:11.4	48.550N	19.362E	0	1.7	-	Slovakia (expl.)
17	7:53:15.1	47.047N	18.078E	0	1.1	-	Balatonkenese (expl.)
17	11:45:03.6	47.194N	18.350E	10	0.9	-	Székesfehérvár
18	8:16:53.4	48.533N	20.798E	0	1.6	-	Bódvalenke (expl.)
18	10:37:09.5	48.219N	21.209E	10	1.8	-	Rátka
19	14:39:19.0	47.884N	19.404E	0	1.6	-	Bercel (expl.)
22	17:19:19.0	46.306N	18.452E	10	0.9	-	Nagymányok
22	21:40:27.8	46.302N	18.435E	5	0.7	-	Nagymányok
22	23:01:53.8	45.382N	17.784E	2	1.9	-	Croatia
23	10:12:41.1	45.508N	18.027E	0	1.6	-	Croatia
23	12:26:43.7	47.656N	15.894E	4	2.1	-	Austria
24	5:44:31.8	47.038N	17.760E	0	1.0	-	Tótvázsony (expl.)
24	8:06:55.6	48.609N	20.775E	0	1.4	-	Slovakia (expl.)
25	8:22:18.5	47.210N	18.297E	0	0.6	-	Moha (expl.)
25	8:50:59.4	45.585N	17.816E	4	2.1	-	Croatia
25	9:00:22.0	48.494N	19.308E	0	1.6	-	Slovakia (expl.)
25	11:13:22.6	47.332N	18.444E	0	1.5	-	Zámoly (expl.)
25	14:19:49.0	47.217N	18.269E	0	0.2	-	Iszkaszentgyörgy (expl.)
26	8:33:23.8	48.533N	19.358E	0	1.8	-	Slovakia (expl.)
26	9:52:25.4	48.628N	20.714E	0	1.3	-	Slovakia (expl.)
26	10:37:21.2	47.189N	18.313E	0	0.6	-	Székesfehérvár (expl.)
27	6:26:04.3	48.989N	19.407E	0	1.4	-	Slovakia (expl.)
27	8:08:48.2	47.077N	18.024E	0	1.2	-	Balatonfüzfő (expl.)
27	9:03:46.4	46.001N	18.355E	0	0.8	-	Lothárd (expl.)
27	21:55:12.8	47.345N	18.285E	10	1.0	-	Csákberény

30	8:48:42.5	47.978N	19.983E	0	1.7	-	Mátramindszent (expl.)
31	7:16:00.6	48.400N	19.164E	0	1.6	-	Slovakia (expl.)
31	7:59:26.6	48.617N	20.754E	0	1.3	-	Slovakia (expl.)
31	8:08:19.2	45.840N	18.426E	0	1.2	-	Nagyharsány (expl.)

JUNE, 2016

01	7:48:42.4	48.558N	19.358E	0	1.9	-	Slovakia (expl.)
01	9:37:00.1	48.122N	20.589E	1	1.9	-	Lillafüred
02	7:23:44.8	47.448N	18.368E	0	0.9	-	Oroszlány (expl.)
02	8:04:48.2	46.080N	18.086E	5	1.2	-	Kővágótóttós
03	8:06:06.8	48.633N	20.730E	0	1.4	-	Slovakia (expl.)
03	10:15:37.4	46.122N	18.121E	0	0.9	-	Abaliget (expl.)
03	10:27:53.9	47.095N	18.014E	0	1.1	-	Litér (expl.)
04	6:14:15.6	47.237N	18.461E	0	0.2	-	Csala
04	9:31:39.9	46.187N	18.291E	0	0.4	-	Zobákpuszta (expl.)
04	11:17:57.1	45.940N	17.078E	14	2.3	-	Croatia
05	0:17:49.3	45.927N	16.034E	8	1.5	-	Croatia
06	11:49:19.2	47.173N	18.310E	0	0.4	-	Sárkeszi (expl.)
07	12:01:50.9	48.435N	17.193E	0	1.9	-	Slovakia (expl.)
08	12:33:28.8	47.491N	18.600E	0	1.2	-	Óbarok (expl.)
09	5:41:54.7	48.417N	19.071E	0	1.7	-	Slovakia (expl.)
09	6:54:32.3	45.552N	17.739E	0	1.5	-	Croatia (expl.)
09	8:10:12.4	47.364N	18.453E	0	1.1	-	Csákvár (expl.)
09	11:39:17.3	47.212N	18.289E	0	0.8	-	Iszkaszentgyörgy (expl.)
14	8:12:43.2	47.167N	18.315E	1	0.3	-	Sárszentmihály
14	9:05:08.4	48.633N	20.707E	0	1.5	-	Slovakia (expl.)
14	10:44:15.4	46.023N	18.096E	0	1.1	-	Zók (expl.)
14	11:56:23.3	47.220N	18.280E	8	0.5	-	Iszkaszentgyörgy
15	6:03:09.7	47.312N	17.664E	0	1.0	-	Bakonykoppány (expl.)
15	9:14:03.4	48.604N	20.782E	10	1.6	-	Slovakia
15	9:23:33.9	48.634N	20.723E	0	1.5	-	Slovakia (expl.)
16	7:20:20.0	47.449N	18.393E	0	1.5	-	Várgesztes (expl.)
16	9:19:10.4	48.623N	20.727E	0	1.7	-	Slovakia (expl.)
16	12:06:41.9	47.052N	19.488E	0	1.3	-	Felsőlajos (expl.)
16	12:08:15.8	47.056N	19.449E	0	1.6	-	Ladánybene (expl.)
17	6:13:32.7	47.295N	18.341E	0	0.7	-	Magyaralmás (expl.)
17	7:39:46.9	45.497N	18.074E	0	1.3	-	Croatia (expl.)
20	9:03:07.9	47.936N	20.033E	0	2.1	-	Bodony (expl.)
21	7:16:12.9	47.207N	18.208E	0	0.3	-	Csór (expl.)
21	7:22:49.2	47.112N	18.213E	0	0.6	-	Jenő (expl.)
21	7:28:53.2	47.189N	18.220E	0	0.4	-	Csór (expl.)
21	7:32:52.1	47.187N	18.208E	0	0.4	-	Csór (expl.)
22	7:06:46.0	47.476N	18.382E	0	1.2	-	Várgesztes (expl.)
22	7:08:03.9	47.431N	18.399E	0	1.0	-	Gánt (expl.)
22	9:50:15.9	47.231N	18.256E	10	0.6	-	Iszkaszentgyörgy
23	7:23:59.3	47.382N	18.434E	0	0.7	-	Gánt (expl.)
23	8:05:57.8	45.865N	18.394E	0	1.2	-	Kisharsány (expl.)
23	21:52:17.8	47.768N	18.187E	7	1.7	-	Slovakia
23	22:38:49.3	46.223N	16.417E	10	1.1	-	Croatia
24	7:11:51.6	48.449N	19.160E	0	1.8	-	Slovakia (expl.)

25	0:32:59.8	48.715N	19.223E	10	1.8	-	Slovakia
27	8:11:13.8	47.087N	17.983E	0	1.2	-	Litér (expl.)
28	7:29:51.4	47.417N	18.388E	0	0.9	-	Gánt (expl.)
29	6:58:11.2	47.442N	18.347E	0	1.0	-	Oroszlány (expl.)
29	8:47:05.0	48.558N	20.794E	0	1.4	-	Tornanádaska (expl.)
30	6:49:27.0	47.110N	18.002E	12	1.2	-	Litér
30	8:00:21.0	48.526N	18.567E	0	1.8	-	Slovakia (expl.)
30	10:08:21.3	48.210N	18.753E	0	1.9	-	Slovakia (expl.)
30	12:23:02.9	46.178N	16.254E	10	3.1	-	Croatia
30	17:49:08.1	46.171N	16.245E	11	2.1	-	Croatia

JULY, 2016

01	7:16:06.6	45.878N	15.500E	6	2.1	-	Slovenia
01	8:17:01.4	47.296N	18.669E	0	0.7	-	Vereb (expl.)
01	8:41:45.3	47.054N	18.026E	0	0.9	-	Balatonfüzfő (expl.)
02	6:28:12.3	46.738N	16.499E	1	1.9	-	Alsószenterzsébet
02	8:59:21.5	46.167N	18.290E	0	0.6	-	Zobákpuszta (expl.)
04	8:40:24.3	47.186N	18.199E	0	0.5	-	Csór (expl.)
04	9:52:22.3	48.324N	21.126E	24	2.2	-	Encs
04	10:23:53.8	46.044N	18.117E	0	0.8	-	Pellérd (expl.)
05	7:51:10.2	47.317N	18.454E	0	1.1	-	Pátka (expl.)
05	8:57:28.2	47.204N	18.286E	0	0.5	-	Csór (expl.)
06	6:27:18.6	47.336N	18.294E	8	0.5	-	Csákberény
06	7:27:17.5	47.566N	18.454E	0	0.9	-	Tatabánya (expl.)
07	1:00:12.7	47.247N	17.835E	10	0.7	-	Zirc
07	7:00:06.3	47.460N	18.375E	0	1.1	-	Várgesztes (expl.)
07	11:38:08.6	45.921N	15.988E	7	1.8	-	Croatia
12	7:44:36.9	47.058N	18.062E	0	0.9	-	Balatonfüzfő (expl.)
13	9:38:40.2	48.633N	20.695E	0	1.7	-	Slovakia (expl.)
14	10:13:55.9	47.173N	18.343E	0	0.7	-	Székesfehérvár (expl.)
15	8:44:52.7	48.612N	20.750E	0	1.4	-	Slovakia (expl.)
15	9:24:15.2	45.556N	17.305E	15	1.5	-	Croatia
18	11:46:15.1	47.862N	19.107E	0	1.3	-	Szendehely (expl.)
19	10:48:27.6	47.192N	18.309E	0	0.6	-	Székesfehérvár (expl.)
21	7:23:24.4	48.630N	18.387E	0	1.8	-	Slovakia (expl.)
21	7:46:20.8	47.443N	18.387E	0	1.0	-	Várgesztes (expl.)
21	11:08:03.8	48.243N	21.213E	10	1.7	-	Tállya
22	23:40:11.2	47.247N	18.382E	10	0.0	-	Sárkeresztes
26	9:33:44.8	48.705N	19.269E	0	1.6	-	Slovakia (expl.)
26	10:28:44.9	47.172N	18.315E	0	0.4	-	Székesfehérvár (expl.)
26	16:19:46.8	47.426N	16.892E	16	1.7	-	Nemesládony
28	7:03:11.8	46.690N	18.529E	10	0.8	-	Kisszékely
29	9:42:29.6	48.378N	19.839E	0	1.5	-	Slovakia (expl.)

2.5 Vízföldtan

2.5.1 Az archív vízföldtani adatok összegyűjtése, rendszerezése

Az archív vízföldtani adatok összegyűjtése, rendszerezése és értékelése a regionális vízföldtani vizsgálati területre terjedt ki.

A regionális vízföldtani vizsgálatok fő feladata volt vizsgálni és rögzíteni azokat a hidrogeológiai peremfeltételeket és folyamatokat, amelyek meghatározzák a felszín alatti vizek állapotát a telephely tágabb környezetében és a telephelyen. A vízföldtani vizsgálatok lényeges részét képezte ezért az archív adatok beszerzése, adatbázisok összeállítása. Az adatok elemzése és kiértékelése lehetővé tette, hogy a hidrodinamikai modellezés számára megfelelő bemenő paraméterek álljanak rendelkezésre, illetve a hosszú távú adatsorok elemzése a felszín alatti vizek állapotának változására adott információt.

2.5.1.1 Vízhatszámok értékelése

Az adatok részletes értékelését a „SMARAGD-GSH Kft.: A vízhatszámok értékelése” című jelentés mutatja be [108].

A vízhatszámok értékelése a regionális vízföldtani vizsgálati területre terjedt ki.

A felszín alatti vízkivételek műszaki, vízgazdálkodási és termelési adatait együttesen tartalmazó adatbázis az Országos Vízügyi Főigazgatóságtól (OVF) került beszerzésre. Az OVF a vízkivételek adatbázisát a Vízyűjtő-gazdálkodási Terv (VGT) készítése során [250], a felszín alatti vízkivételek engedélyeseinek a statisztikáról szóló 1993. évi XLVI. tv. 8.§ (2), valamint az Országos Statisztikai Adatgyűjtési Program adatgyűjtéseiről és adatátvételeiről szóló 288/2009. (XII. 15.) Korm. rendelet alapján végzett OSAP adatszolgáltatása alapján állítja össze. Az OVF az adatbázist ellenőrzi, szűri és kiegészíti a vízkészlet járulékos bevallásban (VKJ adatbázis) közölt víztermelő telepenként összesített mennyiségekkel, valamint az egyéb vízjogi üzemeltetési engedélyekben szereplő víztermelési adatokkal is, amelyek alapján meghatározható a hasznosítás módja, az objektumok vízkivételi cél szerinti besorolása.

Az adatbázis néhány, a hidrodinamikai modellezés számára fontos műszaki adat tekintetében hiányos volt. A hiányzó adatok a Magyar Állami Földtani és Geofizikai Intézetben tárolt vízföldtani naplók alapján lettek kiegészítve. A regionális vizsgálati területen található 826 db termelőkut közül 146 db esetében részlegesen még így is hiányoznak fel nem lelhető műszaki adatok.

A termelőkutak közül 325 db vízmű részeként üzemel, közcélú vízellátást szolgál. A többi termelőkut üzemeltetését 354 különböző magán személy vagy gazdasági társaság végzi.

Az adatbázis a 2004 - 2013 közötti időszak termelési adatait tartalmazza. A tízéves adatsor elemzése alapján, a vízhatszámok kiértékelése során a 2008 - 2013 közötti időszak éves átlagos termelése lett figyelembe véve. Ez az átlag érték képezi a hidrodinamikai modell bemenő paraméterét is.

A felszín alatti vízkészletekre alapozott víztermelések az ezredforduló után országosan stabilizálódtak, de általános probléma, különösen az Alföldön, a jelentős mértékű engedély

nélküli (vízügyi vagy jegyzői nyilvántartásban nem szereplő) vízkivétel [250]. Ezen kutak használata többnyire idényjellegű, öntözési vagy házi ellátási célokat szolgál. Az engedély nélküli kutak termelését értelemszerűen nem lehetett figyelembe venni.

A vízkivételek értékelésénél a jegyzői nyilvántartásban ugyan megtalálható, nem vízjogi engedélyköteles, 500 m³/évnél kisebb víztermelésű, jegyzői engedélyes „kiskutak” termelését sem lehetett figyelembe venni. A kiskutáról a jegyzők nem rendelkeznek a vízkivételek értékeléséhez és a vízföldtani modellezés számára felhasználható minőségű adatokkal.

A fenti adatok alapján elemzésre került a vízhasználatok mennyisége a 2004 - 2013 közötti időszakra. A vízhasználatok vizsgálva lettek a vízfelhasználás célja szerint, valamint az utánpótlást biztosító földtani képződmények szempontjából is. Prognózis készült a vízhasználatok várható alakulásáról. A regionális vízigények előrejelzéséhez az összes vízigény olyan összetevőkre került bontásra, melyek jövőbeni alakulására megalapozott feltételezések alkalmazhatók, így a jövőbeni vízfogyasztások, vízhasználatok, azok összegzésével pedig a jövőbeni vízigény számítható. A becslések két időszakra lettek elvégezve: rövidtávú becslés készült 2025-ig, és hosszú távú becslés 2050-ig. Kiemelten került értékelésre Paks II. beruházás vízigénye.

2.5.1.2 Hidrometeorológiai adatok

Az adatok részletes értékelését a „SMARAGD-GSH Kft.: Hidrometeorológiai és hidrológiai adatok beszerzése, paraméterezése a regionális vízföldtani modell kiterjedésének területéről (MÁ/PA2-16-HI-07)” című jelentés mutatja be [110].

A hidrometeorológiai adatok értékelése a regionális vízföldtani vizsgálati területre terjedt ki.

A regionális gravitációs áramlási rendszerben a felszín alatti víz az utánpótlását jórészt a beszivárgó csapadékból kapja. A regionális vízföldtani modellezés permanens modellezés, vagyis hosszútávra jellemző, átlag adatokat vesz figyelembe, így a beszivárgás esetében is átlag értékekkel számol. Mivel a beszivárgást befolyásoló egyéb tényezők (domborzat, növényzet és területhasználat, talaj szerkezet és vastagság, földtani felépítés) módosulása a vizsgálat időskáláján belül nem jellemző, a beszivárgás mennyiségének változása jól jellemezhető az éghajlati tényezőkben bekövetkező változásokkal.

A hidrogeológia vizsgálati területen a csapadék mennyiség hosszú távú (1961 - 2014) alakulása a Paks és Tengelic meteorológia állomások havi csapadék adatai alapján lett vizsgálva. A havi csapadék adatok forrása 1961-2006 között a Vízrajzi Évkönyv, 2007 - 2014 közötti időszakra az Országos Meteorológiai Szolgálat volt.

A beszivárgás szempontjából lényeges kérdés a csapadék, a hőmérséklet és a párolgás éves eloszlása is. Az éves változékonyság két szélsőséges, és egy átlagos évben került megvizsgálásra. A vizsgálat szempontjából kézenfekvő, hogy az éves tendenciák is ugyanazon az állomásokon legyenek vizsgálva, mint a hosszú távú tendenciák. Pakson kívül azonban csak Kalocsa-Öregcsertő állomás rendelkezik hőmérséklet adatokkal, de a kalocsai állomás túl közel fekszik Pakshoz, és a kalocsai éghajlat nem jellemző a Dunántúlra. Az éves részletes elemzésekhez, ezért nemcsak az OGIMET nyilvános adatbázisban szereplő napi adatok [278], hanem regionális éghajlati modell alapján számított értékek [318] is felhasználásra kerültek. A modellezett adatok felhasználását indokolja, hogy a beszivárgás

számításához hosszú távú és a területet lefedő potenciális evapotranspiráció adatokra is szükség van.

A meteorológiai adatok alapján kétféle értékelés történt. Egyrészt havi adatok alapján értékelésre került a csapadék mennyiségének hosszú távú (1961 - 2014) változása, másrészt a beszivárgás szempontjából lényeges csapadék, hőmérséklet és párolgás éves eloszlása is. Az éves változékonyság két szélsőségesen aszályos (2000, 2011), egy extrém csapadékos (2011) és egy átlagos évben (2009) lett vizsgálva.

A meteorológiai adatok felhasználásra kerültek a talajvízháztartási számításokhoz is.

2.5.1.3 Hidrológiai adatok

Az adatok részletes értékelését a „SMARAGD-GSH Kft.: Hidrometeorológiai és hidrológiai adatok beszerzése, paraméterezése a regionális vízföldtani modell kiterjedésének területéről [110] és a „SMARAGD-GSH Kft.: A telephely tágabb környezetében meglévő kutak, források és kisvízfolyások hidrogeológiai kiértékelése” című jelentés mutatja be [107].

A hidrológiai, valamint a felszín alatti vízszint és nyomás adatok értékelése a regionális vízföldtani vizsgálati területre terjedt ki.

A felszíni vízfolyásokon telepített vízrajzi mérőállomásokon mért vízállás és vízhozam adatok az OVF törzshálózati mérőpontjainak adatbázisából, illetve az Alsó-Duna-völgyi- és a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóságtól származnak. A hidrológiai adatbázisba bekerült törzshálózati mérőpontokat, és adatok körét az 57. táblázat mutatja be.

57. táblázat A hidrológiai adatbázis tartalma

Vízfolyás	Név	Törzsszám	Adatfajta, adatsor intervalluma
Duna (1580,6 fkm)	Dunaújváros	130547	számított vízhozam (napi több adat) 1954.01.01-2014.12.31
Duna (1580,6 fkm)	Dunaújváros	130547	számított napi átlagos vízhozam adat 1954.01.01.-től 2014.12.31-ig
Duna (1560,6 fkm)	Dunaföldvár	000548	napi egy vízállás adat (reggel 7 óra), jégkód 1950.01.01.-től 2015.09.02.-ig
Duna (1531,3 fkm)	Paks	000549	napi egy vízállás adat (reggel 7 óra) 1950.01.01.-2015.10.27.
Duna (1531,3 fkm)	Paks	000549	vízállás adat, napi több adat, jégkód 1950.01.01 -2015.10.27.
Duna (1531,3 fkm)	Paks	000549	vízállás adat, órás mérés 2014.10.01- 2015.10.27.
Duna (1506,8 fkm)	Dombori	000550	napi egy vízállás adat (reggel 7 óra), jégkód 1950.01.01.-2015.10.29
Duna (1506,8 fkm)	Dombori	000550	számított vízhozam (napi több adat) 1954.01.01-2014.12.31
Duna (1506,8 fkm)	Dombori	000550	számított napi átlagos vízhozam adat 1950.01.01.-től 2014.12.31-ig
Sió (74,3 cskm)	Simontornya	000557	számított vízhozam adat (napi több adat) 1941.01.01 -2015.12.31.
Kapos (7,9 km)	Pincehely	000563	számított vízhozam adat (napi több adat) 1963.01.01-2015.12.31.
Nádor csatorna (46,7 cskm)	Cece	000568	számított vízhozam adat 1959.03.03-2015.12.31.

Vízfolyás	Név	Törzsszám	Adatfajta, adatsor intervalluma
Völgységi patak (20,3 km)	Bonyhád	000570	számított vízhozam adat (napi több adat) 1953.01.01.-2015.12.31.
Duna-völgyi főcsatorna (64,5 cskm)	Akasztó, kötélpályás	001350	számított vízhozam adat (napi több adat) 1985.01.01.- 2015.12.31.
Duna-völgyi főcsatorna (13,8 cskm)	Sükösd, Gobnes	003973	számított vízhozam adat (napi több adat) 1996. 01.01.- 2015.12.31.
Csorna-Foktői csatorna	Szakmár	130099	számított vízhozam adat (napi több adat) 2004.01.01.- 2015.12.31.
Csorna-Foktői csatorna	Foktó, szivattyútelep	130094	számított vízhozam adat (napi több adat) 2004.01.01.- 2015.12.31.
Sárközi I. főcsatorna	Vajastoroki csőzilip	130106	számított vízhozam adat (napi több adat) 2004.01.01.- 2015.12.31.
Sárközi I. főcsatorna	Érsekcsanád, szivattyútelep	130102	számított vízhozam adat (napi több adat) 2004.01.01.- 2015.12.31.
Sárközi III. főcsatorna	Csornai duzzasztó	130128	számított vízhozam adat (napi több adat) 2004.06.17.- 2015.12.31

A hidrológiai adatok alapján idősorok lettek szerkesztve a felszíni vízfolyások hozamváltozásáról, a Duna vízhozam és vízszint változásairól. Mivel a talajvíz szintjére befolyással van, vizsgálva lett a Duna kis- és középvízszint alakulásának trendje. Irodalmi adatok alapján áttekintésre került a Duna meder süllyedésének okai. Részletesen vizsgálva lett a felszíni és a felszín alatti víz kapcsolata, a felszíni vizek regionális áramlási rendszerben betöltött megcsapoló szerepe.

A felszín alatti monitoring rendszerekben mért vízszint adatok alapján lehet nyomon követni a felszín alatti áramlási rendszerre jellemző természetes folyamatokat, és lehet észlelni a humán hatásra bekövetkező változásokat. A monitoring rendszerekben mért vízszint adatok szolgáltatják a felszín alatti víz természetes, termelésmentes áramlására vonatkozó legfontosabb információkat. A területen többféle, az áramlási rendszer megfigyelésére alkalmas, egymást kiegészítő monitoring rendszer működik.

A monitoring kutak talajvízszint adatai a területen egyenetlen eloszlásban állnak rendelkezésre. Jelentős adatbőséggel elsősorban a Paksi Atomerőmű térsége rendelkezik. A vizsgálati területen a monitoring kutakat többnyire a völgyekben mélyítették, ezért a dombtetőkön kevés információ áll a rendelkezésre.

A regionális vizsgálati terület vízszint és nyomás viszonyainak hosszú távú jellemzésére a Vízügyi Igazgatóságok (Közép-dunántúli, Alsó-Duna-völgyi) által üzemeltetett törzshálózati monitoring kutak adatai lettek felhasználva 2015-ig.

A regionális vizsgálati terület vízszint és nyomás viszonyainak hosszú távú jellemzésére a Vízügyi Igazgatóságok (Közép-dunántúli, Alsó-Duna-völgyi) által üzemeltetett törzshálózati monitoring kutak adatai lettek felhasználva 2015-ig.

- a kvarter vízadó értékelésére 66 db monitoring kútból áll rendelkezésre napi egy átlag vízszint adat 1961-től. Ezek közül 47 monitoring kút mérését 1972 előtt kezdték meg, vagyis az adatsorok a hosszú távú trendek vizsgálatára is alkalmasak
- szintén a kvarter vízadó megfigyelésére alkalmas a Duna-völgyben található távlati vízbázisokon kialakított 79 db monitoring kút. Az első kutat 1995-ben létesítették, a kutak zöméből csak 1999 óta áll rendelkezésre adat. Nem mindegyik kutat mérik rendszeresen
- a pannon rétegek jellemzésére összesen 7 db törzshálózati monitoring kút havi egy átlag vízszint adata áll rendelkezésre

A monitoring adatok alapján részletesen értékelésre került a különböző hidrosztratigráfiai egységekre (kvarter és pannon) jellemző potenciálviszonyok. A legtöbb adattal a kvarter vízadó rendelkezik, így részletesen vizsgálva lett a talajvíz járásának éves, középtávú (2000 - 2015) és hosszú távú (1961 - 2015) jellemzői. Részletes vizsgálatra került a talajvíz és a rétegvíz potenciálviszonyaira jellemző trendek. Vizsgálatra került továbbá a felszín alatti víz és a Duna vízjárásának korrelációját, ami alapján meghatározásra került a Duna hidrodinamikai hatásterülete.

2.5.2 Új észlelő kutak létesítése, engedélyeztetése, a létesítés műszaki ellenőrzése

2.5.2.1 A monitoring rendszer kialakítása

A Földtani Kutatási Program keretében az Északi beruházási területen (tervezett telephelyen) kivitelezett monitoring kutak vízjogi létesítési engedélyezési dokumentációját a Golder Associates (Magyarország) Zrt. készítette el 2013. októberében 13506170010 munkaszámmal. A dokumentáció alapján a Közép-dunántúli Vízügyi Hatóság adott ki vízjogi létesítési engedélyt KDTVH-2434-017/2014 iktató számmal (Vksz.: 192/9816-20794).

A vízjogi létesítési engedély alapján a kivitelezés 2015.06.26-án kezdődött meg a Fugro Consult Kft. közreműködésével.

Az elkészült monitoring kutak műszaki átadás-átvétele 2016.02.18-án történt meg.

A tervezett pontok geodéziai kitűzését követően közműegyeztetések történtek az érintett ingatlanok tulajdonosával, az MVM Paksi Atomerőmű Zrt.-vel. A közműegyeztetések alapján több kút helyét is meg kellett változtatni az eredeti koordinátákhoz képest, illetve egy kútcsoportot (V-2 jelű) el is kellett hagyni, mivel nem találtak a tulajdonosnak is megfelelő helyet a kivitelezésre. A kivitelezés megkezdése előtt minden pont koordinátáját az MVM Paksi Atomerőmű Zrt.-nek kellett jóváhagynia. A módosításokat az MVM Paks II. Zrt. is jóváhagyta, tekintettel arra, hogy a változtatás mértéke nem jelentős, a kutatási program céljainak elérését nem befolyásolja.

A tervben 40 db 15 m, 20 db 25 m, 15 db 50 m, 7 db 100 m és 2 db 24 m tervezett talpmélységű monitoring kút szerepelt, 5 db K-Ny-i irányú szelvénybe rendezve. A kutak A, B, C és D jelű kútcsoportokba voltak rendezve. Az A jelű kútcsoportban 1 db 15 m fúrás mélyült, ami monitoring kúttá lett kiképezve. A B jelű kútcsoportban 1 db 15 m és 1 db 25 m mélységű fúrás és kútkiépítés történt. A C jelű kútcsoportnál 1 db 15 m, 1 db 25 m és 1 db 50 m mélységű kút került kialakításra. A D jelű kútcsoportoknál 1 db 15 m, 1 db 25 m, 1 db 50 m és 1 db 130 m mély fúrás készült, és a sekélyebb fúrások talpig csövezésre kerültek, míg a 130 m-es fúrás 100 m-ig feltömedékelésre került, majd 100 m talpmélységű monitoring kút került kialakításra. Az egyes kútcsoportoknál a legmélyebb fúrás mindig folyamatos magfúrással került lemélyítésre.

A tervtől eltérően a korábban említett közműegyeztetések miatt a tervezett 82 db helyett összesen 81 db monitoring kút került kivitelezésre (15 m-es kútból csak 39 db készült).

A PMK jelű nagyátmérőjű (300/330 mm csövezésű) mederkapcsolati kutaknál a mederre merőleges vonalban a kúttól a meder felé és a kúttól a terület belseje felé is 2-2 db 115/125 mm csövezésű monitoring kút került kialakításra, továbbá a mederben ideiglenes jelleggel 3-4 db kis átmérőjű (kb. 50 mm) mederszonda került telepítésre.

2.5.2.2 A kivitelezés technológiája

2.5.2.2.1 A monitoring kutak kivitelezése

a) 15 m mélységű monitoring kutak kivitelezése

A kivitelezés kétféle furatmegtámasztó technológia mellett került kialakításra, attól függően, hogy az adott kút magfúrással vagy teljesszelvényű fúrással mélyült.

A geotechnikai célú magfúrással mélyülő kutak a talajvíz szintjéig száraz rotari magfúrással készültek, ezt követően ütögetéses szakaszos magfúrással folyamatos bélésű süllyesztése mellett történt a tervezett talpmélységig, azaz 15,0 m-ig.

A fúrás az alábbi fúrési szakaszokból tevődött össze:

- I. szakasz:** 0,0 m – ~10 m-ig száraz rotari magfúrással duplafalú magcsővel
- II. szakasz:** ~10 m – 15,0 m-ig, szakaszos ütögetéses magfúrással bélésű süllyesztéssel

Csővezési szelvény

Mélységköz (m)	Bélésű (mm)	Csőhossz (m)	Megjegyzés
0,0	~10	-	-
~10	15,0	8 203	-

A fúrás mélyítése UGB-1 VSZU fúróberendezéssel történt.

A fúróberendezések főbb technikai adatai az alábbiak:

Fúróberendezés:	UGB-1-VSZU
Üzemi koronaterhelés	36 kN
Kivételes koronaterhelés	40 kN
Meghajtómotor	Jumz, 56kW

A teljesszelvényű fúrással mélyülő kutak 169 mm belső átmérőjű üreges spirálfúróval lettek kivitelezve tervezett talpmélységig, azaz 15,0 m-ig.

A fúrás az alábbi fúrési szakaszokból tevődött össze:

- I. szakasz:** 0,0 m –15 m-ig HSA spirál fúrás

Csővezési szelvény

Mélységköz (m)	Bélésű (mm)	Csőhossz (m)	Megjegyzés
0 m	15	6 5/8 HSA 169/257	-

A fúrás mélyítése SB3 típusú fúróberendezéssel száraz fúrési technológiával történt.

A fúróberendezések főbb technikai adatai az alábbiak:

Fúróberendezés:	SB-3
Húzóerő	40 kN
Meghajtómotor	8460.41K/TC A/, 250 kW
Mellékajtó	NMV 130 E

A kutak anyagaként DN115 mm belső átmérőjű (külső átmérő: 125 mm) menetes csatlakozású műanyag cső került beépítésre. A szakasz alsó 1 méterén iszapzsák került

kialakításra, majd a szűrőzött szakasz -9,0 – 14,0 m mélységek között épül ki. A szűrőzött szakasz anyaga DN 115 mm-es réselet szűrőcső. A gyűrűsteret a terveknek megfelelően 0,7-1,2 mm-es frakciójú szűrőkavicsal töltötték ki -8,5 m-ig. A szűrőzött szakasz 1 méteres homok réteggel került lezárásra, majd a gyűrűstér bentonittal került feltöltésre a terepszintig.

A kútfejet 160/144 mm átmérőjű acélsőből alakították ki, mely 0,8 m mélységig került befogásra (bebetonozásra) a talajba. A kútfej magassága 0,7 méter a terepszint felett, mely zárható kútfejjel került kialakításra.

b) 25 m mélységű monitoring kutak kivitelezése

A kivitelezés kétféle furatmegtámasztó technológia mellett került kialakításra, attól függően, hogy az adott kút magfúrással vagy teljesszelvényű fúrással mélyült.

A geotechnikai célú magfúrással mélyülő kutak a talajvíz szintjéig száraz rotari magfúrással készültek, ezt követően ütögetéses szakaszos magfúrás folyamatos bélésű süllyesztése mellett történt a tervezett talpmélységig, azaz 25,0 m-ig.

A fúrás az alábbi fúrési szakaszokból tevődött össze:

- I. szakasz:** 0,0 m – ~10 m-ig száraz rotari magfúrás duplafalú magcsővel
- II. szakasz:** ~10 m – 25,0 m-ig, szakaszos ütögetéses magfúrás bélésű süllyesztéssel

Csővezési szelvény

Mélységköz (m)		Bélésű (mm)	Csőhossz (m)	Megjegyzés
0,0	~10	-	-	-
~10	25,0	8 203	25,0	-

A fúrás mélyítése UGB-1 VSZU fúróberendezéssel történt (technikai adatait lásd fent).

A teljesszelvényű fúrással mélyülő kutak 169 mm belső átmérőjű üreges spirálfúróval lettek kivitelezve tervezett talpmélységig, azaz 25,0 m-ig.

A fúrás az alábbi fúrési szakaszokból tevődött össze:

- II. szakasz:** 0,0 m –25 m-ig HSA spirál fúrás

Csővezési szelvény

Mélységköz (m)		Bélésű (mm)	Csőhossz (m)	Megjegyzés
0 m	25	6 5/8 HSA 169/257	25,0	-

A fúrás mélyítése SB3 típusú fúróberendezéssel száraz fúrési technológiával történt (technikai adatait lásd fent).

A kutak anyagaként DN115 mm belső átmérőjű (külső átmérő: 125 mm) menetes csatlakozású műanyag cső került beépítésre. A szakasz alsó 1 méterén iszapzsák került kialakításra, majd a szűrőzött szakasz -19,0 – 24,0 m mélységek között épül ki. A szűrőzött szakasz anyaga DN 115 mm-es réselet szűrőcső. A gyűrűsteret a terveknek megfelelően 0,7-1,2 mm-es frakciójú szűrőkavicsal lett kitöltve -18,5 m-ig. A szűrőzött szakasz 1 méteres homok réteggel került lezárásra, majd a gyűrűstér bentonittal került feltöltésre a terepszintig.

A kútfejet 160/144 mm átmérőjű acélcsőből alakították ki, mely 0,8 m mélységig került befogásra (bebetonozásra) a talajba. A kútfej magassága 0,7 méter a terepszint felett, mely zárható kútfejjel került kialakításra.

c) 50 m mélységű monitoring kutak kivitelezése

A kivitelezés kétféle furatmegtámasztó technológia mellett került kialakításra, attól függően, hogy az adott kút magfúrással vagy teljesszelvényű fúrással mélyült.

A 50 m mélységű geotechnikai célú magfúrás a talajvíz szintjéig száraz rotari magfúrással készült, ezt követően ütögetéses szakaszos magfúrás folyamatos béléscső süllyesztéssel történt a pannon réteg szintjéig (~30 m).

Ezt követően a feltárás talpáig öblítéses triplafalú Geobor magfúrás történt S átmérővel.

A fúrás tehát az alábbi fúrési szakaszokból tevődött össze:

- I. szakasz:** 0,0 m – ~10 m-ig száraz rotari magfúrás duplafalú magesővel
- II. szakasz:** ~10 m – ~30 m-ig, szakaszos ütögetéses magfúrás béléscső
- III. szakasz:** ~30 m – 50,0 m-ig öblítéses triplafalú Geobor magfúrás S átmérővel

Csővezési szelvény

Mélységköz (m)	Béléscső '' (mm)	Csőhossz (m)	Megjegyzés	
0,0	~10 m	-	-	
~10 m	8 203	~30 m	-	
	9 5/8 244			
~30 m	50 m	Geobor S 146 mm	50 m	-

A fúrás mélyítése a felső szakaszon (pleisztocén rétegekben) UGB-1 VSZU fúróberendezéssel történt (technikai adatait lásd fent), majd ~30 m-től a tervezett talpmélységig a fúrás öblítéses Geobor magfúrással, S átmérővel (146/102 mm) mélyült Wirth B1 fúróberendezéssel:

Fúróberendezés:	Wirth B1
Forgatómű:	5500 Nm
Megengedett terhelése:	60 kN
Iszapszivattyú:	0 – 400 l/perc
Meghajtómotor	Deutz FL-4-912, 60 Le

Teljesszelvényű fúrással mélyülő kutak 50,0 m-ig.

A fúrás az alábbi fúrési szakaszokból tevődött össze:

- I. szakasz:** 0,0 m – ~30 m-ig (pleisztocén rétegekben), 244 mm-es rotary casing lehajtása öblítéssel
- II. szakasz:** ~30 m – 50,0 m-ig öblítéses teljes szelvényű fúrás 216 mm.

Csővezési szelvény

Mélységköz (m)	Béléscső '' (mm)	Csőhossz (m)	Megjegyzés
0 m	~30 m	9 5/8 244	~30 m
~30 m	50 m	-	-

A fúrás mélyítése a felső szakaszon Mustang 5-F4 típusú fúróberendezéssel történt majd tovább URB-2-A-2 berendezéssel mélyült:

Fúróberendezés:	Mustang 5 F4
Forgatómű:	13000 Nm
Kihúzóerő:	50 kN
Iszapszivattyú:	0 – 200 l/perc
Meghajtómotor	BF4M1013C, 112 kW

Fúróberendezés:	URB-2-A-2
Forgatómű:	4000 Nm
Kihúzóerő:	50 kN
Iszapszivattyú:	0 – 735 l/perc
Meghajtómotor	Deutz, 90 kW

Az előzetesen tervezett kivitelezési szakaszok az alábbiak.

I. szakasz: 244 mm-es rotary casing süllyesztése

A teljesszelvényű fúrás lemélyítése során a 244 mm átmérőjű védőcső öblítéses fúrással lesüllyeszthető a tervezett mélységig.

II. szakasz: teljesszelvényű fúrás a pannon rétegekben

Az ideiglenes béléscső védelme mellett kerül sor a teljesszelvényű fúrás lemélyítésére a pannon rétegekben 50 m mélységig. A fúrás öblítéssel történik 216 mm átmérővel.

A kútépítés során a furat megtámasztását a 244 mm külső átmérőjű ideiglenes béléscső rakat szolgálta. A 50 m-es magfúrás elvégzése után a nyitott furatban karotázs vizsgálat készült. A geotechnikai magfúrást követően a furat felbővítése következett. Ez 216 mm átmérőben történt.

A kutak anyagaként DN 115 mm belső átmérőjű (külső átmérő: 125 mm) menetes csatlakozású műanyag cső került beépítésre.

A tervben előírt 241 mm átmérőjű bennmaradó védőcső rakat helyett a 244 mm-es ideiglenes védőcső rakatban, 194 mm védőcső került elhelyezésre.

A tervek megfelelően a 50 m talpmélységű kutak esetén az alsó 1 méteren iszapzsák került kialakításra, majd a szűrőzött szakasz (a korábban szerzett tapasztalatokat is figyelembe véve) -44,0 – 49,0 m mélységek között épült ki. A szűrőzött szakasz anyaga DN 115 mm 0,5 mm-es réselésű szűrőcső. A gyűrűsteret a terveknek megfelelően 0,7-1,2 mm frakciójú szűrőkavicssal töltötték ki -43,5 m-ig. A szűrőzött szakasz 1 méteres homok réteggel került lezárásra, majd a gyűrűstér bentonittal kerül kitöltésre a terepszintig.

A kútfejet 160/144 mm átmérőjű acélcsőből alakították ki, mely 0,8 m mélységig kerül befogásra (bebetonozásra) a talajba. A kútfej magassága 0,7 méter a terepszint felett, mely zárható kútfejjel került kialakításra.

d) 100 m mélységű monitoring kutak kivitelezése

A kivitelezés egyféle furatmegtámasztó technológia mellett került kialakításra, a furat minden esetben magfúrással mélyült.

A 130 m mélységű geotechnikai célú magfúrás a talajvíz szintjéig száraz rotari magfúrással készült, ezt követően ütögetéses szakaszos magfúrás folyamatos béléscső süllyesztéssel történt a pannon réteg szintjéig (~30 m).

Ezt követően a feltárás talpáig öblítéses triplafalú Geobor magfúrás történt S átmérővel.

A fúrás tehát az alábbi fúrési szakaszokból tevődött össze:

- I. szakasz:** 0,0 m – ~10 m-ig száraz rotari magfúrás duplafalú magcsővel
- II. szakasz:** ~10 m – ~30 m-ig, szakaszos ütögetéses magfúrás bélésű
- III. szakasz:** ~30 m – 130,0 m-ig öblítéses triplafalú Geobor magfúrás S átmérővel

Csővezési szelvény

Mélységköz (m)		Bélésű ” (mm)	Csőhossz (m)	Megjegyzés
0,0	~10 m	-	-	-
~10 m	~30 m	8 203	~30 m	-
		9 5/8 244		
~30 m	130 m	Geobor S 146 mm	130 m	-

A fúrás mélyítése a felső szakaszon UGB-1 VSZU berendezéssel történt, a védőcső rakatot a Mustang 5-F4 típusú fúróberendezéssel készítették, az öblítéses magfúrási munkákat a Wihrt B1 berendezés a kútépítési munkákat az URB-2-A-2 berendezés látta el (technikai adataikat lásd fent).

A kútépítés során a furat megtámasztását a 244 mm külső átmérőjű ideiglenes bélésű rakat szolgálta. A 130 m-es magfúrás elvégzése után a nyitott furatban karotázs vizsgálat készült, majd a magfúrás alsó szakasza (100-130 m között) bentonitos cementtejjel és helyi anyaggal tömedékelve lett. A geotechnikai magfúrást követően a furat felbővítése következett. Ez 216 mm átmérőben történt.

A tervben előírt 241 mm átmérőjű bennmaradó védőcső rakat helyett a 244 mm es ideiglenes védőcső rakatban, 194 mm védőcső került elhelyezésre.

A kutak anyagaként DN 115 mm belső átmérőjű (külső átmérő: 125 mm) menetes csatlakozású műanyag cső került beépítésre.

A tervek megfelelően a 100 m talpmélységű kutak esetén az alsó 1 méteren iszapzsák kerül kialakításra, majd a szűrőzött szakasz (a korábban szerzett tapasztalatokat is figyelembe véve) -94,0 – 99,0 m mélységek között épül ki. A szűrőzött szakasz anyaga DN 115 mm 0,5 mm-es réselésű szűrőcső. A gyűrűsteret a terveknek megfelelően 0,7 - 1,2 mm frakciójú szűrőkavicssal töltjük ki -93,5 m-ig. A szűrőzött szakasz 1 méteres homok réteggel került lezárásra, majd a gyűrűstér bentonittal kerül kitöltésre a terepszintig.

A kútfejet 160/144 mm átmérőjű acélcsőből alakították ki, mely 0,8 m mélységig kerül befogásra (bebetonozásra) a talajba. A kútfej magassága 0,7 méter a terepszint felett, mely zárható kútfejjel került kialakításra.

2.5.2.2.2 A mederkapcsolati kutak kivitelezése

A kivitelezés kétféle furatmegtámasztó technológia mellett került kialakításra, attól függően, hogy termelő vagy piezo feladatokat látott el a kút.

a) 25 m mélységű termelő kutak kivitelezése

A fúrás mélyítése SB3 típusú fúróberendezéssel száraz fúrési technológiával történt (technikai adatait lásd fent).

A 25 m mélységű teljes szelvényű fúrás a tervezett talpmélységig balöblítéses technológiával mélyült.

A tervezett fúrás tehát az alábbi fúrési szakaszokból tevődik össze:

- I. szakasz:** 0,0 m – ~6 m-ig iránycső lesüllyesztése
- II. szakasz:** ~6 m – 25 m-ig balöblítéses teljeszelvényű fúrás

Csővezési szelvény

Mélységköz (m)		Íránycső '' (mm)	Csőhossz (m)	Megjegyzés
0,0	6 m	700 mm	6,0 m	-
6 m	25 m	-	-	-

Az előzetesen tervezett kivitelezési szakaszokat az alábbiakban részletezzük.

A tervek szerint a 25 m talpmélységű kutak esetén az alsó 1 méteren iszapzsák került kialakításra, majd a szűrőzött szakasz -15,0 – 24,0 m mélységek között épült ki. A szűrőzött szakasz anyaga DN 330/300 mm 0,75 mm-es réselésű szűrőcső. A gyűrűsteret a terveknek megfelelően 0,7-1,2 mm-es frakciójú szűrőkavicssal töltötték ki -14,5 m-ig. A gyűrűsterbe 50/60 mm-es PVC cső került beépítésre a nagytérű kúttal megegyezően -15,0 – -24,0 m között szűrőzve. Az 50/60 mm-es kút célja a szűrő ellenállásának kimérése.

A szűrőzött szakasz 1 méteres homokkal került lezárásra, majd a gyűrűster bentonittal került kitöltésre a terepszintig.

A PMK kutaknál a kútfejet D600 aknafedlappal alakították ki a terepszinten.

b) 25 m mélységű pizo monitoring kutak kivitelezése

A teljesszelvényű fúrással mélyült piezo kutak 169 mm belső átmérőjű üreges spirálfúróval lettek kivitelezve tervezett talpmélységig, azaz 25,0 m-ig.

A fúrás az alábbi fúrési szakaszokból tevődött össze:

- III. szakasz:** 0,0 m – 25 m-ig HSA spirál fúrás

Csővezési szelvény

Mélységköz (m)		Béléseső '' (mm)	Csőhossz (m)	Megjegyzés
0 m	25	6 5/8 HSA 169/257	25,0	-

A fúrás mélyítése SB3 típusú fúróberendezéssel (technikai adatait lásd fent), száraz fúrési technológiával történt.

A kutak anyagaként DN115 mm belső átmérőjű (külső átmérő: 125 mm) menetes csatlakozású műanyag cső került beépítésre. A szakasz alsó 1 méteren iszapzsák került kialakításra, majd a szűrőzött szakasz -15,0 – -24,0 m mélységek között épült ki. A szűrőzött szakasz anyaga DN 115 mm-es réselésű szűrőcső. A gyűrűsteret a terveknek megfelelően 0,7-1,2 mm-es frakciójú szűrőkavicssal lett kitöltve -18,5 m-ig. A szűrőzött szakasz 1 méteres homok réteggel került lezárásra, majd a gyűrűster bentonittal került feltöltésre a terepszintig.

A kútfejet 160/144 mm átmérőjű acélcsőből alakították ki, mely 0,8 m mélységig került befogásra (bebetonozásra) a talajba. A kútfej magassága 0,7 méter a terepszint felett, mely zárható kútfejjel került kialakításra.

2.5.3 Vízföldtani reambuláció és kapcsolódó terepi mérések

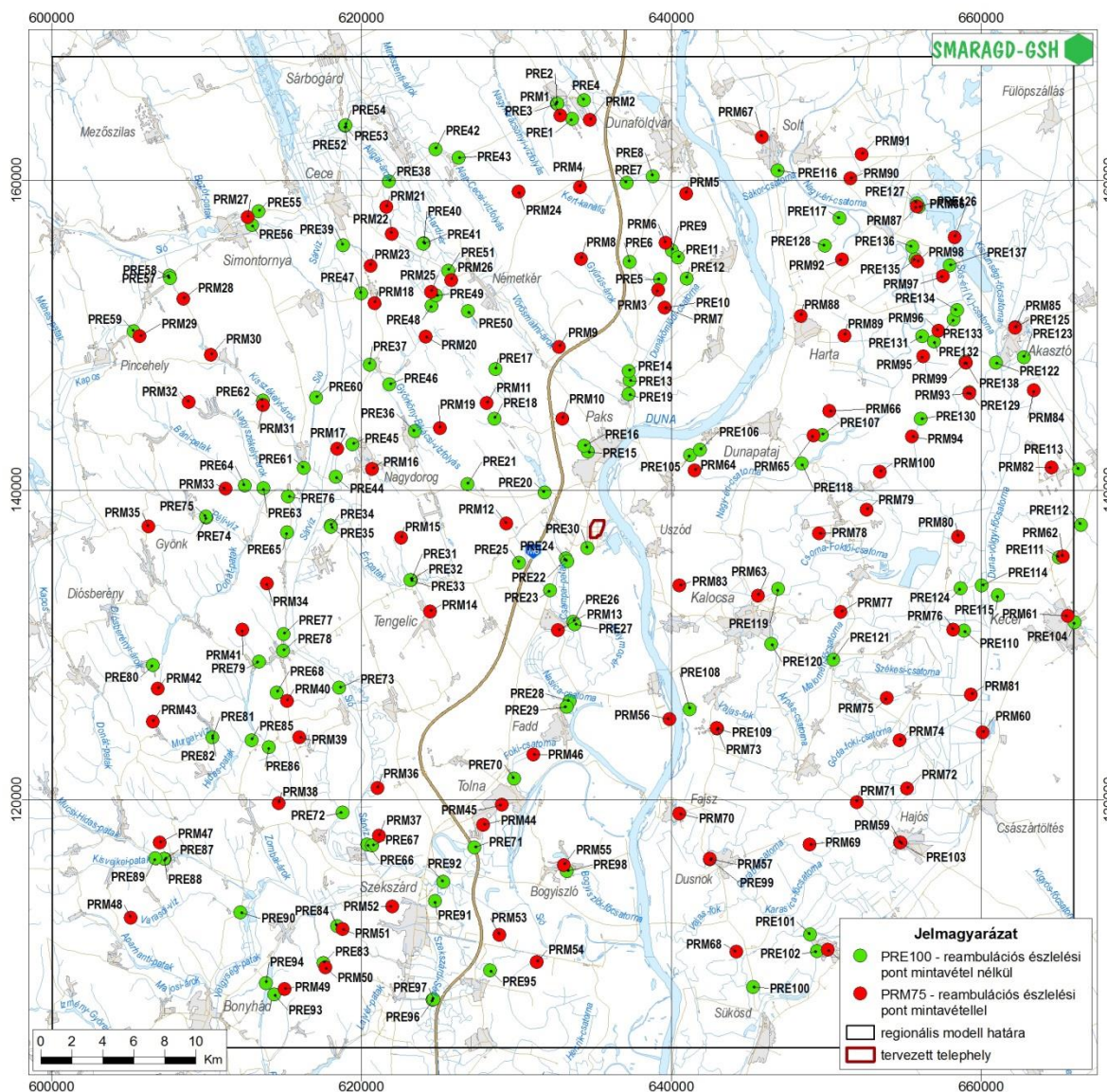
A vizsgálatok részletes ismertetése a „SMARAGD-GSH Kft.: Vízföldtani reambuláció a regionális vizsgálati területen” című részjelentésben található [58].

A vízföldtani reambuláció a regionális vizsgálati területre terjedt ki.

A vizsgálati területen a források, vízfolyások hozama a vízföldtani modell bemenő paramétere. Rendszeres, monitoring jellegű mérés csak a nagyobb vízfolyásokon történik, ezért szükség volt egy, a projekt keretében végrehajtott, kvázi egyidejű körbemérésre. A vízföldtani reambuláció célja az volt, hogy a hidrogeológiai modellezés számára a felszín alatti víz aktuális állapotáról pontos és megbízható adatokat szolgáltatson.

A vízföldtani reambuláció terepi munkálataira 2015.10.27. és 2015.12.15. között került sor. A terepi munkák időszakára az egész 2015-ös évhez hasonlóan az átlagnál kissé kevesebb csapadék és jelentősen magasabb hőmérséklet volt jellemző.

A vízföldtani reambuláció során 237 észlelési pont került felvételre (87. ábra). Az észlelési pontokon jegyzőkönyv készült. Az észlelési pontok térképi azonosítása mellett bemérésre került a helyszín koordinátája, GARMIN Geko 301-es kézi GPS-el $\pm 5-10$ méter pontossággal EOV koordináta rendszerben. Magassági koordináták nem lettek rögzítve. Az észlelési pontokról fotók készültek.



87. ábra A vízföldtani reambuláció észlelési pontjai

Az alaptérkép szolgáltatója: © HM Zrínyi Nonprofit Kft. 2015.

207 db ponton került sor a fajlagos elektromos vezetőképesség (EC), pH, és vízhőmérséklet helyszíni mérésére.

127 db ponton történt vízhozam mérés a vízügyi igazgatóságoknál alkalmazott ME-10-231-12 és ME-10-231-16 műszaki előírás szerint:

- ME-10-231-12 műszaki előírás: felszíni vizek vízhozamának mérése köböző edénnyel. Ez a térfogatmérésen alapuló közvetlen vízhozam-mérés akkor lett alkalmazva, amikor a vízhozam becsült értéke 60 l/percnél kisebb volt, és a köböző edényt a vízszög alá lehetett helyezni. Az alsó méréshatár: 0,1 l/perc volt.
- ME-10-231-16 műszaki előírás: felszíni vizek vízhozamának mérése sebesség-terület módszer alkalmazásával. Leggyakrabban ez a módszer került alkalmazásra a vízhozam mérésére. A mérés az átfolyási keresztmetszelen, valamint az arra merőleges vízsebesség meghatározásán alapul. A sebességmérés forgószárnyas sebességmérővel történt.

100 db ponton került sor vízkémiai mintázásra. A vízminták a következő paraméterekre lettek vizsgálva: ammónium, bromid, EC, összes vas, fluorid, hidrogénkarbonát, hidroxilon, kalcium, kálium, karbonát, karbonát, keménység, klorid, KOI (PS), (LSC), lúgosság, magnézium, mangán, nátrium, nitrát, nitrit, oldott ortofoszfát, összes keménység, összes oldott anyag, pH, p-lúgosság, szulfát.

2.5.4 Egykutas tesztek, kútvizsgálatok

A vizsgálatok részletes ismertetése a „*MECSEKÉRC Zrt.: Jelentés a PAKS II. atomerőművi blokk(ok) telephelyengedélyének megszerzéséhez szükséges földtani kutatási program keretében elvégzett egyedi kútesztekről és kiértékelésükről*”[32] című jelentésben található.

Az egyedi kútesztek célja a telephelyen található sekélyföldtani képződmények hidraulikai paraméterei meghatározása, amelyek a numerikus vízföldtani modell bemenő adatait képezték, továbbá a vizsgálatok a Hatóság felé történő adatszolgáltatáshoz is szükségesek voltak (vízföldtani naplók).

Az egykutas hidraulikai tesztek eredményei segítséget nyújtottak a későbbi többkutas tesztek, egymásra hatás vizsgálatok és transzportvizsgálatok (nyomjelzéses vizsgálatok) megtervezéséhez.

Az FKP előírásaival összhangban a tesztek összesen 96 pontban kerültek elvégzésre a Mecsekérc Zrt. kivitelezésében. Ezek közül 81 vizsgálat újonnan létesült kútban valósult meg, amelyek 15, 25, 50 és 100 m mélységűek voltak, míg további 15 pont a meglévő monitoring rendszer elemei közül került kiválasztásra, hogy a telephelyi vízföldtani modell területét minél jobban lefedjük. Ezen utóbbiak átlagosan 15-20 m mélységűek, amelyeket a 58. táblázat tartalmaz. A 81 db újonnan létesült kút mélység szerinti megoszlása a következő: 39 db 15 m-es („A” jelű), 20 db 25 m-es („B” jelű), 15 db 50 m-es („C” jelű), valamint 7 db 100 m-es („D” jelű).

58. táblázat Kúthidraulikai tesztekre kijelölt régi monitoring kutak fontosabb paraméterei

Kút neve	EOVY (m)	EOVX (m)	Z (mBf)	Talpmélység (m)
HB-K/a	633763,63	137887,32	97,35	21,65
K 03	634623,94	138203,56	97,89	14,08
KH 10	635135,11	136028,42	92,78	20,40
O 5	635199,65	136441,62	97,91	20,30
O 8	635203,08	136851,76	97,96	21,00
T 01/a	635251,56	136340,51	97,78	21,92
T 34/b	634903,57	138592,87	96,33	21,53
T 58	633947,56	137475,86	97,92	15,72
T 61	635723,93	137450,56	97,49	26,23
T 68	635812,96	136213,11	93,55	19,01
T 78	635541,48	138314,76	97,38	16,72
V 217/a	634233,00	136781,42	97,12	21,25
V 243/a	634707,20	136509,88	97,95	20,30
Z 01	635723,52	136859,45	96,85	20,70
Z 03	635734,94	136993,62	97,04	14,85

A hidrodinamikai tesztek során általánosságban háromlépcsős leszívás, valamint visszatöltődés mérés került elvégzésre. Egyes sekély talajvíz kutaknál (I-5-A, II-5-A) a

mélyebben lévő vízszint, és a gyengébb vízadó képesség miatt csak két vízhozam lépcsőt lehetett beállítani, de a kiértékelés így is elvégezhető volt. A különböző mélységre szűrőzött kutak a tesztek során különbözőképpen „viselkedtek”, de már a helyszínen megállapítható volt, hogy a legjobb vízadó képességgel a „B” jelű, 25 m-es kutak rendelkeztek. Ezzel ellentétben a „C” jelű, 50 m mély kutakban kis vízhozamokkal is jelentős depressziót sikerült elérni. Az „A” (15 m-es) és „D” (100 m-es) kutak vízadó képessége e két szélsőérték között található.

Egy-egy vízhozammal az üzemi vízszint eléréséig, de legalább a helyszíni paraméterek stabilizálódásáig lett termeltetve, ami átlagosan 40 – 180 percet vett igénybe. Mind a leszívást, mind pedig a visszatöltődés nemcsak kézi vízszintmérővel (5 – 20 percenként), hanem automata regisztrálóval is nyomon lett követve. Az automata mérőműszert 5, illetve 10 másodperces mérésközre lett állítva, ami igen részletes felbontást tett lehetővé. Ennek ellenére a nagyon jó vízadó képességű kutaknál, a gyorsan beálló üzemi vízszint miatt nehezen volt látható a leszívási görbe. A visszatöltődés kézzel a nyugalmi vízszint eléréséig került mérésre, de legalább 30 – 360 percig. Az automata vízszintregisztráló általában ennél tovább – akár további 12-24 órára – is a kútban maradt.

A víztermelés Honda áramfejlesztővel és 2”, illetve 3”-os GRUNDFOS búvárszivattyúval végezték. A kézi vízszintméréseket SEBA gyártmányú vízszintmérő, a vízszintregisztrálót DATAQUA gyártmányú műszer alkalmazásával végezték. A leszívási szakaszokban folyamatosan, 20 – 40 percenként a helyszíni változó vízkémiai paraméterek mérésre kerültek: víz hőmérséklet, fajlagos vezetőképesség, pH, Eh és az oldott oxigén tartalom, HANNA gyártmányú, kalibrált multiparaméter mérő készülék használatával. A harmadik vízhozam üzemi lépcsőjének beálltakor minden pontban az előírt vízminták megvételre kerültek.

A tesztek során a helyszínen szivattyúteszt mérési, helyszíni mintavételi és visszatöltődés mérési jegyzőkönyv vezetve volt. A vízmintavételeket az MSZ EN ISO/IEC 17025:2005, az MSZ ISO 5667-11:2012 szabványok szerint végeztük, a munka során a környezet-, munka- és tűzvédelmi előírások teljes körű betartása mellett.

Az FKP keretében újonnan létesült kútakban a tesztek 2015. szeptember 28-tól 2015. december 11-ig tartottak, a régi megfigyelő kutak hidrodinamikai vizsgálata 2016. február 2-től 2016. március 1-ig lett kivitelezve.

2.5.5 Egymásrahatás-vizsgálatok telephelyi fúrásokban

A telephely vízföldtani jellemzésére számos terepi vizsgálat került kivitelezésre. A telephelyen, a Földtani Kutatási Program keretében elkészült 81 db figyelőkútban egykutas hidrodinamikai vizsgálatokat végeztek [32]. A 3 lépcsős próbaszivattyúzás és az azt követő visszatöltődés során mérték a talajvízszint ill. hidraulikus potenciál időbeli változását. Ezt követően 10 db kiválasztott kútcsoportokon egymásrahatás-vizsgálatot is végzett Golder [101] 2016. 02.26. és 2016.05.09. között. Végül a helyszíni transzport paraméterek meghatározása céljából 6 helyszínen nyomjelzéses vizsgálat [104] is zajlott (ld. 2.5.6). Ez a fejezet az egymásrahatás-vizsgálatokat ismerteti.

2.5.5.1 Az egymásrahatás-vizsgálatok célja

A területet lefedő, tíz kiválasztott kútcsoporton helyszíni egymásrahatás-vizsgálatot (interferenciás vizsgálatot) végeztek úgy, hogy egy kutat szivattyúztak (jeladó), míg több, környező kútban észlelték a nyomásváltozásokat. A nyomásváltozások térbeli és időbeli alakulását ki is értékelték, amelyet a 3.3.3 fejezetben ismertettünk.

Az egymásrahatás-vizsgálatok célja, szemben az egykutas hidraulikai tesztekkel, a nagyobb térrészekre jellemző hidraulikai paraméterek (transzmisszivitás, tározási tényező) meghatározása, ill. adatszolgáltatás a telephelyi vízföldtani modell részére (NBSz 7.3.6.0900).

2.5.5.2 Az alkalmazott módszerek ismertetése

Egyes kiválasztott kútcsoportoknál, összesen 8 helyszínen 10 termelő kúttal, egymásrahatás-vizsgálatokat (interferenciás tesztek) végeztek (ld. 2.5.5). E vizsgálatok során az egyik kút jeladóként funkcionál, vagyis szivattyúzással vízszintváltozást (jelet) hoztak létre, míg egy vagy több észlelőkútban a jel hatására bekövetkező változást észlelték. Az egymásrahatás-vizsgálatokat azonos rétegre szűrőzött kutakban és különböző mélységű rétegekre szűrőzött kutakban is elvégezték.

Az egymásrahatás-vizsgálatokat tesztenként 1 termelő és 4-10 megfigyelési kút észlelésével, átlagosan 5 napos termeléses fázissal és az azt követő 3 napos visszatöltődéses szakasszal tervezték.

Ezekkel a terepi vizsgálatokkal lehetőségessé vált az azonos (jó vízvezető) rétegre, illetve a különböző mélységű rétegekre szűrőzött kutak közötti horizontális és a vertikális kapcsolatok meghatározása. A vizsgálatok lefedték az aktív vízkiemelés, ill. a visszatöltődés idejét. Az egymásrahatás-vizsgálatok tervezéséhez felhasználták az egyedi kútesztek eredményeit is.

Az interferenciás vizsgálatok során a jeladó kútból állandó hozamú szivattyúzással vizet vettek ki, majd a szivattyúzás leállítása után a nyomáskiegyenlítődesi (visszatöltődési) szakasz következett. Mindeközben a termelő és megfigyelő kutakban regisztrálták a víznyomás illetve vízszint változását. A jeladó kutakban a vízszintváltozást 5 másodperces időközönként regisztrálták, csakúgy, mint a jeladóval azonos rétegre szűrőzött figyelőkutakban. A jeladótól eltérő rétegre szűrőzött figyelőkutakban 15 másodperces időközönként észlelték a nyomásváltozásokat. A felszín alatti vízrendszert érő egyéb (zavaró) hidraulikai hatások figyelembe vétele érdekében a vízszintváltozás észlelését a szivattyúzás megkezdése előtt 24 órával megkezdték.

2.5.5.3 Az alkalmazott eszközök bemutatása

Az egymásrahatás-vizsgálatok során, a telephelyen, geotechnikai célból mélyített, majd talaj-, ill. rétegvízfigyelő kúttá kialakított kutakat használtuk fel. Ezen kutak adatait a 2.5.2 fejezetben ismertettük. A pontosabb észlelések érdekében további 3 db (15 m-es talpmélységű, 36/32 mm átmérőjű) piezométert létesítettünk a IV-4-B, illetve az I-2-B kutak mellett.

A jeladó kutakba Grundfos SQE2, vagy AMP SN 340 típusú búvárszivattyút telepítettek a megfelelő hozam elérése érdekében. B jeladó kutak esetében 264 és 359 l/p-es,

C kutaknál 20, ill. 55 l/p míg a D jeladó kútnál 176 l/p hozamok elérésére volt lehetőség. A kivett vizet a közeli csatornaszemekbe vezették.

A szivattyúk áramellátását Honda típusú, benzín üzemű, 5,5-7,7 kW teljesítményű aggregátorokkal oldották meg.

A kivett víz mennyiségét Endress&Hauser típusú elektromágneses átfolyásmérővel segítségével mérték. Az hozamadatokat, illetve a kivett víz mennyiségét elektronikusan rögzítették.

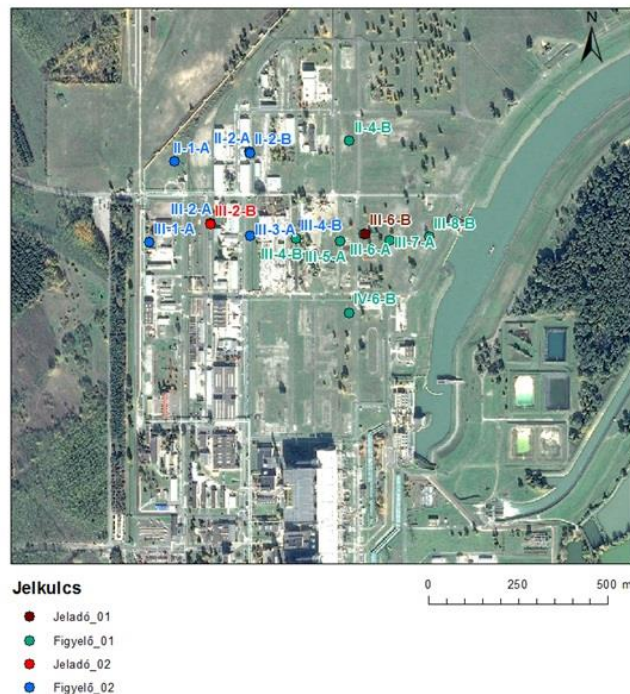
A jeladó kutakban a nyomásmérést AquiTronic szondával végezték, amelyhez közvetlenül kapcsolódott az adatgyűjtő egység. A nyomásadatokat on-line jelenítették meg az Aquipro szoftver segítségével. A megfigyelőkutakban Dataqua vízszint regisztráló műszerrel mérték a nyomásváltozásokat.

Az egymásrahatás-vizsgálatok kiértékelését az AQTESOLV Pro 4.5 szoftver segítségével végezte a Golder Zrt.

2.5.5.4 A vizsgálatok helye és ideje

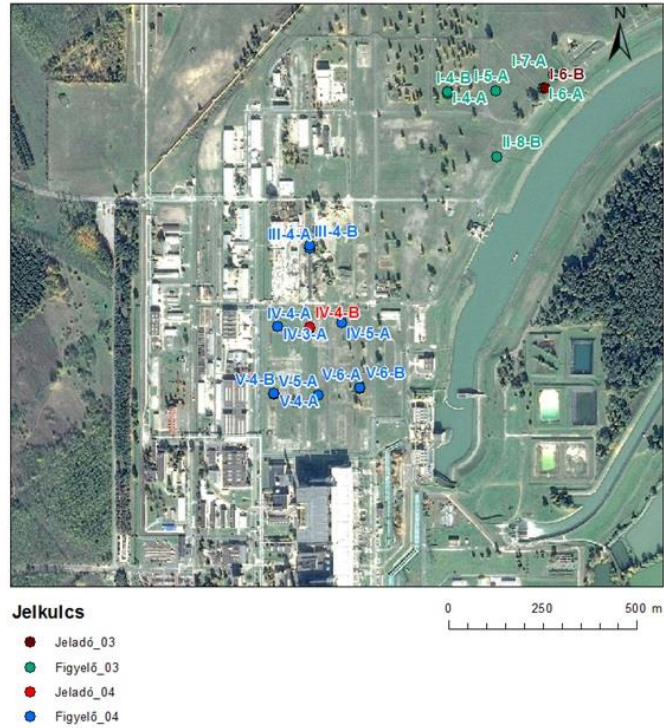
Az egymásrahatás-vizsgálatok helyszíneit úgy határozták meg, hogy az minél inkább fedje le a vizsgált területet és lehetőség szerint a mélyebb tartományokra vonatkozóan is szolgáltatson adatokat. Ennek megfelelően a vizsgálatok helyszínét a következő ábrák szemléltetik (88. ábra, 89. ábra, 90. ábra, 91. ábra, 92. ábra).

Egymásrahatás vizsgálatok - 1-2. teszt
1:10.000



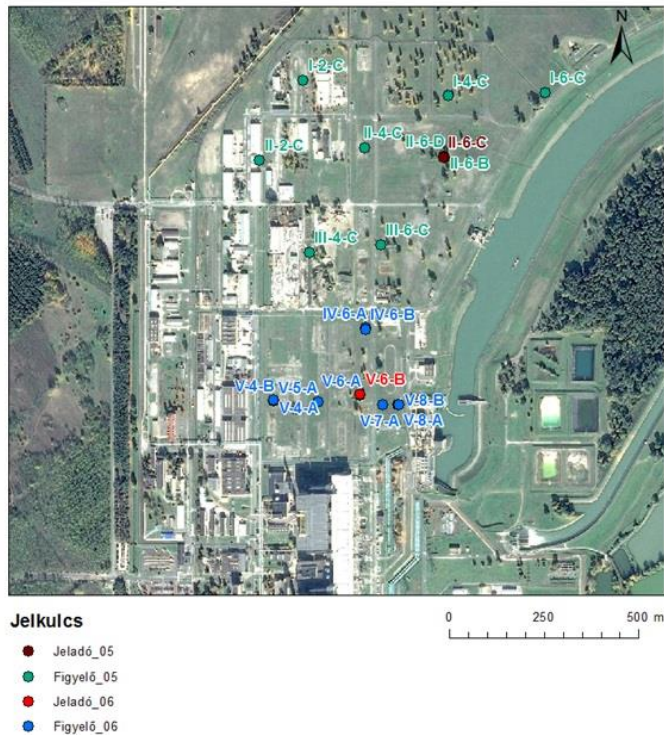
88. ábra Egymásrahatás vizsgálatok – 1-2. teszt

Egymásrahatás vizsgálatok - 3-4. teszt
1:10.000



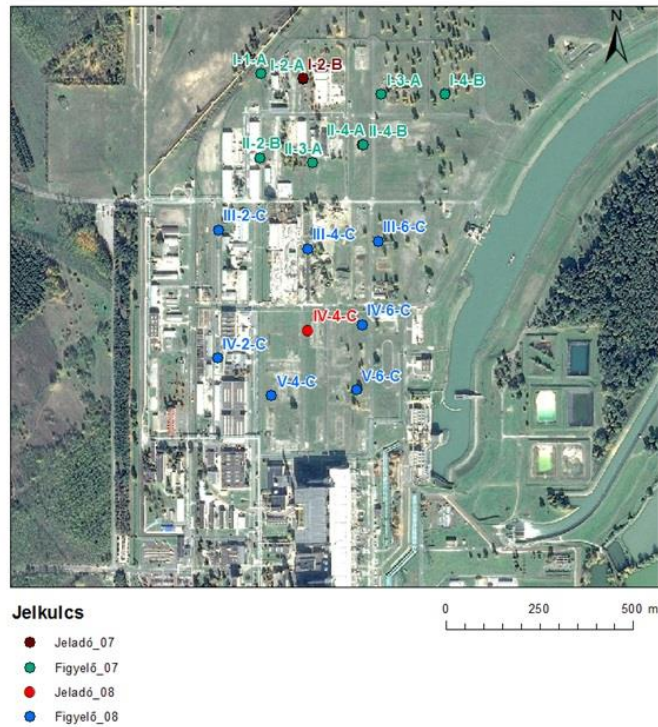
89. ábra Egymásrahatás vizsgálatok – 3-4. teszt

Egymásrahatás vizsgálatok - 5-6. teszt
1:10.000



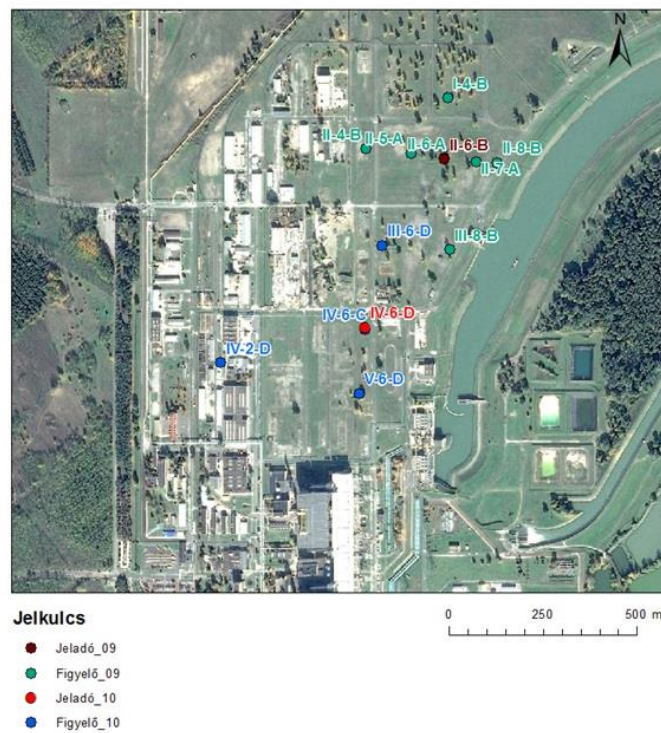
90. ábra Egymásrahatás vizsgálatok – 5-6. teszt

Egymásrahatás vizsgálatok - 7-8. teszt
1:10.000



91. ábra Egymásrahatás vizsgálatok – 7-8. teszt

Egymásrahatás vizsgálatok - 9-10. teszt
1:10.000



92. ábra Egymásrahatás vizsgálatok – 9-10. teszt

A tesztek 2016. 02.26. és 2016.05.09. között végezte a Golder [101]. Ezek a tesztek általában 5-6 nap (túlnyomórészt 6) termeléses fázisból és 2-4 (átlag 3) nap visszatöltődésből álltak.

2.5.6 Nyomjelzéses vizsgálatok

A telephely vízföldtani jellemzésére során, a Földtani Kutatási Program keretében az egykutas hidrodinamikai vizsgálatokat és az egymásrahatás-vizsgálatot követően 6 helyszínen nyomjelzéses vizsgálatokat végeztek el. Ez a fejezet a nyomjelzéses-vizsgálatok kivitelezését ismerteti.

2.5.6.1 A nyomjelzéses-vizsgálatok célja

A nyomjelzéses vizsgálat célja a víztartó rétegeknek nem szennyezőanyag-specifikus transzport jellemzőinek (diszperzitás és porozitás) meghatározására szolgál. Ezzel a vizsgálattal a laboratóriumi mintánál nagyobb térszert lehet vizsgálni, így helyszínen-specifikus, a kút pár méteres környezetére vonatkozó input adatot szolgáltat a telephelyi vízföldtani modell részére.

A kutak kialakítása, azok egyedi kútvizsgálata 2016 februárjáig megtörtént, majd az egymásrahatás vizsgálatokat is elvégezték 2016 májusáig. Ezen adatok birtokában tervezték meg a nyomjelzéses vizsgálatokat. A nyomjelzéses vizsgálatokat hat helyszínen a negyedidőszaki durvaszemcsés mederüledékekre szűrözött A és B jelű kutak között végezte el a Golder [104] 2016.05.31. és 2016.08.15. között.

2.5.6.2 Az alkalmazott módszerek ismertetése

Hat kiválasztott kútsoporton helyszíni nyomjelzéses vizsgálatot végeztek konzervatív (nem kötődő, nem bomló) nyomjelző anyaggal (uraninnal). A nyomjelzéses vizsgálatokhoz ún. dipol rendszert alakítottak ki. Ez azt jelenti, hogy egy nyelető kútba, ismert mennyiségű nyomjelző anyagot juttatunk be, míg a másik kútban olyan hozammal termelünk, amely megfelelően nagy gradienst létrehozva, részben vagy egészben „begyűjti” a nyelető kútba beinjektált nyomjelző anyagot. Jelen vizsgálathoz a nyomjelző anyagot pillanatszerű módon (kb. 30 perc alatt) juttatták be.

A vizsgálathoz szükséges nyomjelző anyag mennyiségét és a tesztidő hosszát,

- a fúrásokkal feltárt rétegsorok
- az egyedi kútesztek
- az egymásrahatás-vizsgálatok
- az injektáló és a termelő kút egymáshoz viszonyított térbeli elhelyezkedése
- a nyomjelző anyag szorpciós tulajdonsága
- a vízkivételnél várható és egyben kimutatható koncentráció alapján

modellezéssel határozták meg. Így a szükséges anyagmennyiség 40 g-nak (1 m³ vízben oldva) adódott. A teszt várható hosszát 30 napban határozták meg, ahol is a várható koncentráció-maximum 12-14. nap táján volt várható, míg a lecsengési időt megfelelő hosszúságúnak (azaz 16-18 napnak) kellett meghatározni.

A víztermelést minden esetben a negyedidőszaki durvaszemcsés mederüledékekre szűrözött, 25 m talpmélységű kutakban végezték, míg a nyomjelzőanyagot a mellette lévő 15 m talpmélységű kútba juttatták be a felszínről, gravitációs úton. Minden esetben ellenőrző

jellel mintát vettek a beinjektálandó, 40 g uranint tartalmazó 1 m³ vízből, majd a termelt kút vizéből, az első 15 nap során naponta 3 alkalommal, míg a második 15 nap során naponta egyszer vettek mintát.

A nyomjelző anyag koncentrációját áttörési görbén jelenítették meg. Az áttörési görbe alapján, analitikus módszerrel határozták meg a transzportparamétereket, azaz a diszperziós tényezőt, illetve az effektív porozitást.

2.5.6.3 Az alkalmazott eszközök bemutatása

A nyomjelzéses vizsgálatokhoz használt terepi eszközök megegyenek az egymásrahatás vizsgálatok során használt eszközökkel (ld. 2.5.5.3), kiegészítve a nyomjelző anyag bejuttatásához használt 1 m³-es tartályokkal. A mintákat 500 ml-es polietilén palackokba vették. A vett vízminék uraninkoncentrációját a Golder szekszárdi laboratóriumában, a Turner Designs által gyártott Aquafluor típusú eszközzel mérték.

A nyomjelzéses terepi tesztek kiértékelését TRAC v1.4.4 szoftver segítségével végezte el a Golder Zrt.

2.5.6.4 A vizsgálatok helye és ideje

Ahhoz, hogy a vizsgálatok egymást ne zavarják, párhuzamosan egy-egy tesztet végeztek. Ezek ütemezését és helyét a következő táblázat mutatja (59. táblázat).

59. táblázat A nyomjelzéses vizsgálatok helye és ideje

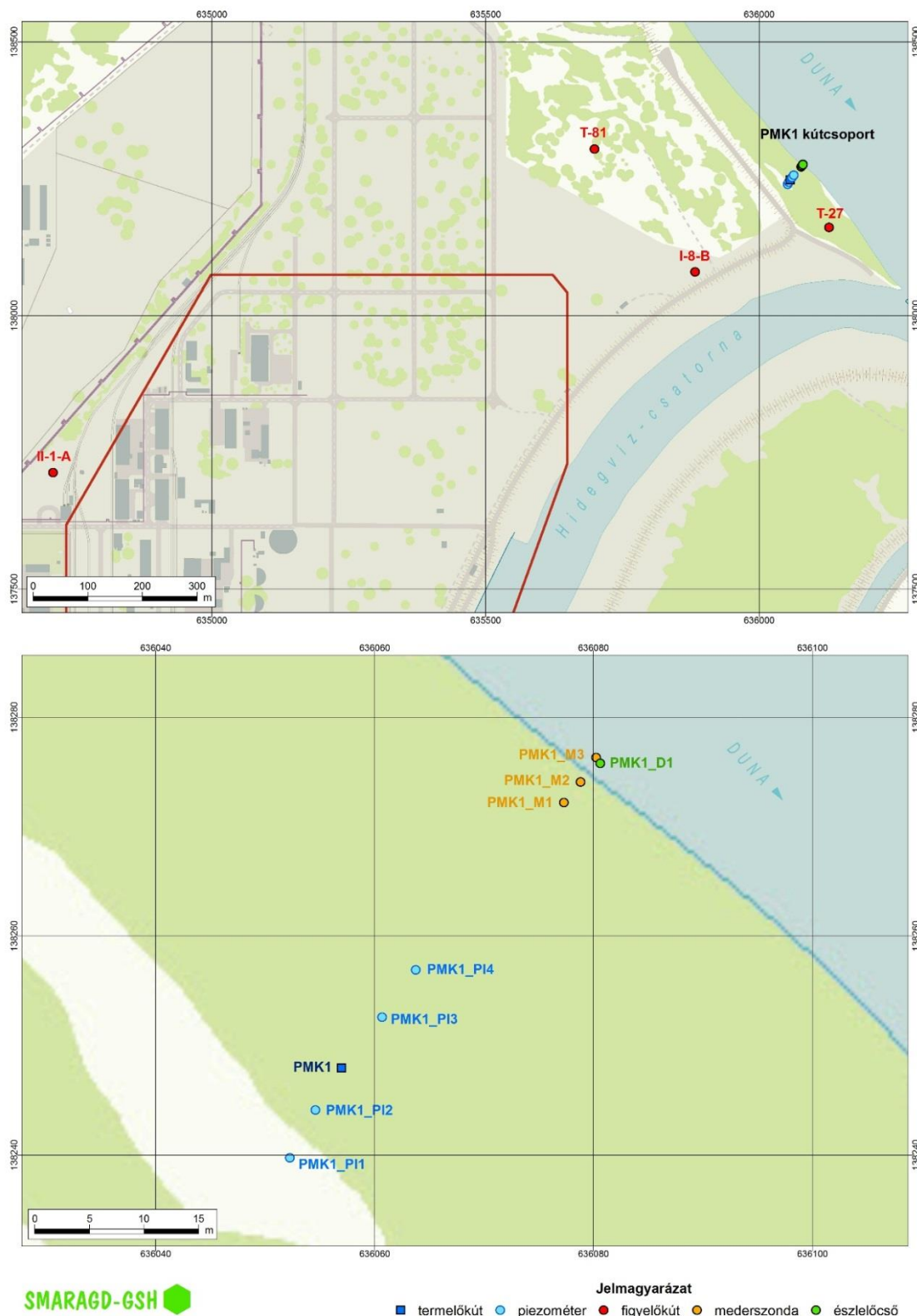
	Felvonulás és a szivattyúzás megindítása	Nyomjelző anyag beinjektálása	Szivattyú leállítása és levonulás
I-6	2016.06.01	2016.06.02	2016.07.02
I-2	2016.05.31	2016.06.01	2016.07.01
IV-6	2016.06.14	2016.06.15	2016.07.15
II-6	2016.07.01	2016.07.02	2016.08.01
III-6	2016.07.15	2016.07.16	2016.08.15
V-6	2016.07.02	2016.07.03	2016.08.02

2.5.7 Mederkapcsolati vizsgálatok

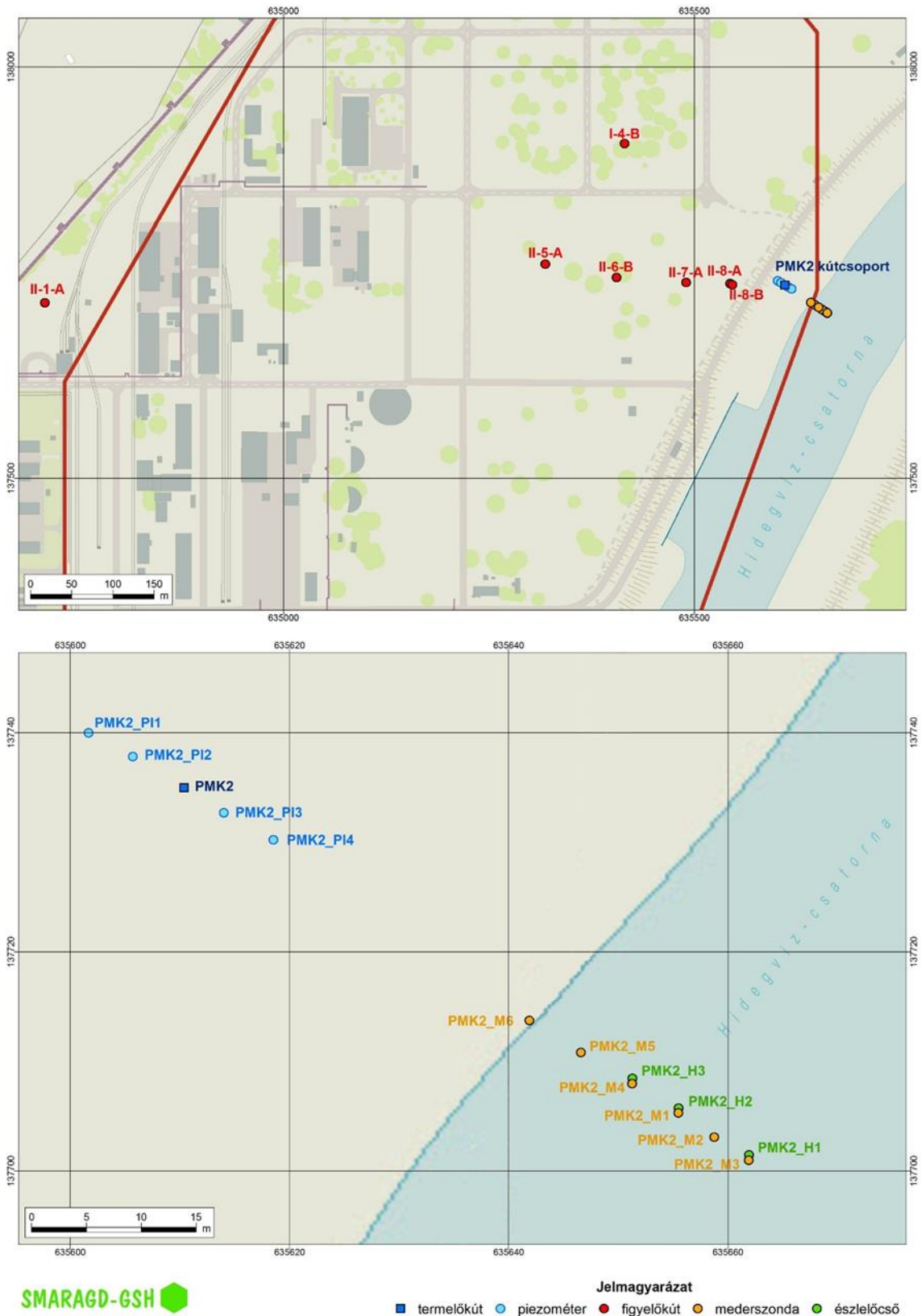
A vizsgálatok részletes ismertetése a „SMARAGD-GSH Kft.: Mederkapcsolati vizsgálatok” című részjelentésben található [111].

A mederkapcsolati vizsgálatok célja a talajvíz és a Duna víz egymásra gyakorolt hatásának megismerése volt. Ennek érdekében két helyszínen, az élő Duna, valamint a Hidegvíz-csatorna mellett két mederkapcsolati vizsgálati telep (PMK1 és PMK2) került kiépítésre.

A PMK1 kútcsoport a Duna mellett, a Hidegvíz-csatornával való csatlakozás előtt, attól 280 méterre került kialakításra (93. ábra). A PMK2 kútcsoport a Hidegvíz-csatorna mellett, a teherkikötőtől 230 m-re, északkeletre lett kiépítve (93. ábra és 94. ábra).



93. ábra PMK1 mederkapcsolati telep elhelyezkedése



94. ábra PMK2 mederkapcsolati telep elhelyezkedése

A vizsgálati telepek 1 db 25 m-es termelőkútból, 4 db 22 m-es piezométerből, valamint a vízfolyás medrében kialakított mederszondákból állnak. A termelőkutak gyűrűs terébe illetve a vízfolyásokba észlelőcsövek lettek elhelyezve.

A termelőkutak 335 mm átmérőjűek, szűrőzött szakaszuk 13-21 m között lett kialakítva. A kút gyűrűsterébe 63 mm-es, 25 m mély észlelőcső található, szűrőzött szakasza 13-21 m közötti. A piezométerek 9 méteres szűrőzött szakaszai 12-21 m között helyezkednek el, átmérőjük 125 mm.

A mederszondák számát a Duna vízszintváltozásának mértéke határozta meg, nagyobb vízszintingadozás esetén több mederszondára volt szükség. A PMK1 mederkapcsolati telep esetében 3 db, a PMK2 mederkapcsolati esetében 6 db mederszonda létesült a vizsgálat során, azonban az egyes kampányoknál mindig háromban történt folyamatos észlelés. A mederszondák 50 mm átmérőjű, alsó részükön 20 cm hosszan 2 mm-es furattal perforált, végénél kúposan kialakított vascsövek, melyek egymástól 2-6 m távolságra lettek kialakítva.

A vízfolyásokba, egy-egy mederszonda mellé észlelőcső lett telepítve, melyek a Duna, illetve a Hidegvíz-csatorna vízszint változásának figyelésére szolgáltak. A Dunában 1 db, a Hidegvíz-csatornában 3 db észlelőcső került kialakításra a vizsgálatok során. A 63 mm átmérőjű PVC észlelőcsövek az alsó 1 méteren 12 mm-es furatokkal voltak perforálva.

A kutak és a piezométerek a vízfolyásokra merőlegesen helyezkedtek el. A termelőkutak, a piezométerek, a mederszondák és az észlelőcsövek műszaki adatait az 60. táblázat és a 61. táblázat tartalmazza.

60. táblázat A PMK1 kútcsoport objektumainak geodéziai és műszaki adatai

Kút	EOVY	EOVX	Z terep	Z csőperem	Talp (m)	Szűrő teteje (m)	Szűrő alja (m)	Átmérő (mm)
PMK1	636056.99	138247.95	91.04	92.21	25.00	13.00	21.00	335.0
PMK1_Gy	636057.18	138248.07	91.04	91.21	25.00	13.00	21.00	63.0
PMK1_PI1	636052.26	138239.74	91.38	92.03	22.00	12.00	21.00	125.0
PMK1_PI2	636054.59	138244.10	91.17	91.85	22.00	12.00	21.00	125.0
PMK1_PI3	636060.69	138252.58	90.99	91.71	22.00	12.00	21.00	125.0
PMK1_PI4	636063.77	138256.90	91.10	91.81	22.00	12.00	21.00	125.0
PMK1_M1	636077.32	138272.20	87.60	89.70	4.00	3.70	3.90	50.0
PMK1_M2	636078.83	138274.07	86.81	90.01	5.00	4.70	4.90	50.0
PMK1_M3	636080.26	138276.31	85.89	89.37	4.50	4.20	4.40	50.0
PMK1_D1	636080.26	138276.25	85.885	89.34	3.50	2.40	3.40	63.0

61. táblázat A PMK2 kútcsoport objektumainak geodéziai és műszaki adatai

Kút	EOVY	EOVX	Z terep	Z csőperem	Talp (m)	Szűrő teteje (m)	Szűrő alja (m)	Átmérő (mm)
PMK2	635610.38	137734.97	92.55	93.77	25.00	13.00	21.00	335.0
PMK2_Gy	635610.14	137735.05	92.55	92.77	25.00	13.00	21.00	63.0
PMK2_PI1	635601.67	137739.98	92.62	93.46	22.00	12.00	21.00	125.0
PMK2_PI2	635605.70	137737.81	92.58	93.38	22.00	12.00	21.00	125.0
PMK2_PI3	635614.02	137732.70	92.64	93.51	22.20	12.20	21.20	125.0
PMK2_PI4	635618.55	137730.23	92.90	93.69	22.15	12.15	21.15	125.0
PMK2_M1	635655.49	137705.32	85.02	88.64	7.00	6.70	6.90	50.0
PMK2_M2	635658.78	137703.11		86.76	5.00	4.70	4.90	50.0

Kút	EOVY	EOVX	Z terep	Z csőperem	Talp (m)	Szűrő teteje (m)	Szűrő alja (m)	Átmérő (mm)
PMK2_M3	635661.93	137701.00		86.56	5.00	4.70	4.90	50.0
PMK2_M4	635651.29	137707.99	85.55	89.62	8.00	7.70	7.90	50.0
PMK2_M5	635646.59	137710.82		89.88	5.00	4.70	4.90	50.0
PMK2_M6	635641.89	137713.73		90.29	5.00	4.70	4.90	50.0
PMK2_H1	635661.93	137700.97		86.54	3.00	1.90	2.90	63.0
PMK2_H2	635655.48	137705.28	85.02	88.62	3.00	1.90	2.90	63.0
PMK2_H3	635651.29	137707.93	85.55	89.36	3.00	1.90	2.90	63.0

A telepeken a vízszint észlelésére és vízmintavételekre került sor, a termelőkút különböző kapacitással történő üzemeltetése mellett. A vizsgálatok ütemezését a 95. ábra mutatja be.

2.5.7.1 Vízszint észlelések

A két telepen összesen 5 db (5 ciklus) 30 napos méréssorozatra került sor. Egy vizsgálati ciklusban a jeladó kút üzemeltetése 3 hozamlépcsővel (1000 l/p, 2000 l/p, 3000 l/p) történt, hozamlépcsőnként 7 napon keresztül. A 7 napos termeltetések között a termelőkút két napig állt.

A ciklusok időtartama alatt a kiépített vizsgálati telep objektumaiba automata, három csatornás DATAQUA vízszintregisztráló műszerek kerültek elhelyezésre, melyek segítségével a talajvízszint, valamint a Duna és a Hidegvíz-csatorna vízszintváltozása folyamatosan nyomon követhető volt. Az egyes vízhozam lépcsőket követő leállási, visszatöltődési időszak végén a műszerekből adatkinyerés történt.

2.5.7.2 Vízmintavételek

A folyamatos vízszintmérések mellett a vizsgálati ciklusokban vízmintavételekre is került. A vízmintavételek célja az volt, hogy a Duna, illetve a Hidegvíz-csatorna, valamint a talajvíz keveredésének mértéke kimutatásra kerüljön a partiszűrészű rendszerben. A talajvíz, valamint a Duna, illetve a Hidegvíz-csatorna vízének nitrát-, klorid-koncentrációja, valamint pH és fajlagos elektromos vezetőképesség értéke markánsan eltér egymástól. A keveredés vizsgálatára a termelést megelőző 3. naptól kezdve naponta nitrát, klorid vízmintavétel, valamint a helyszínen pH, fajlagos elektromos vezetőképesség és hőmérséklet mérés történt a termelő kútból és a Dunából, illetve a Hidegvíz-csatornából.

Az egyes hozamlépcsők indulásakor és leállásakor a termelő kútból hat órán keresztül összesen 7 db vízmintavétel történt, nitrát és klorid laborvizsgálat céljából. A helyszínen a mintavételkor pH, fajlagos elektromos vezetőképesség és vízhőmérséklet mérés is történt.

Az 1/3 Q és 3/3 Q hozamú termelés végén általános vízkémiai, trícium, oxigén és hidrogén izotóp vizsgálatokra került sor a termelő kútból, a Dunából, illetve a Hidegvíz-csatornából és egy háttér megfigyelő kútból.

Tevékenység	Időtartam	Mederkapcsolat vizsgálati telep üzemeltetése																																	
		1. nap	2. nap	3. nap	4. nap	5. nap	6. nap	7. nap	8. nap	9. nap	10. nap	11. nap	12. nap	13. nap	14. nap	15. nap	16. nap	17. nap	18. nap	19. nap	20. nap	21. nap	22. nap	23. nap	24. nap	25. nap	26. nap	27. nap	28. nap	29. nap	30. nap				
vízintavétel nitrát és klorid laborvizsgálatra a termelő kútból és a Dunából																																			
vízintavétel és helyszíni pH, fajlagos vezetőképesség és hőmérséklet mérés a termelő kútból és a Dunából																																			
1/3 hozamú üzemeltetése a termelőkútnak																																			
a termelés kezdetén 7 alkalommal vízintavétel nitrát és klorid laborvizsgálatra a termelő kútból																																			
a nitrát és klorid mintavétellel egyidőben helyszíni pH, fajlagos vezetőképesség és hőmérséklet mérés a termelő kútból																																			
általános vízkémiai laborvizsgálatra vízintavétel a termelő kútból, a Dunából és egy háttér megfigyelő kútból																																			
trícium laborvizsgálatra vízintavétel a termelő kútból, a Dunából és egy háttér megfigyelő kútból																																			
oxigén és hidrogén izotóp laborvizsgálatra vízintavétel a termelő kútból, a Dunából és egy háttér megfigyelő kútból																																			
a termelés leállítását követően 7 alkalommal vízintavétel nitrát és klorid laborvizsgálatra a termelő kútból																																			
a nitrát és klorid mintavétellel egyidőben helyszíni pH, fajlagos vezetőképesség és hőmérséklet mérés a termelő kútból																																			
visszatöltődés az 1/3 hozamú termeltetés után																																			
2/3 hozamú üzemeltetése a termelőkútnak																																			
a termelés kezdetén 7 alkalommal vízintavétel nitrát és klorid laborvizsgálatra a termelő kútból																																			
a nitrát és klorid mintavétellel egyidőben helyszíni pH, fajlagos vezetőképesség és hőmérséklet mérés a termelő kútból																																			
a termelés leállítását követően 7 alkalommal vízintavétel nitrát és klorid laborvizsgálatra a termelő kútból																																			
a nitrát és klorid mintavétellel egyidőben helyszíni pH, fajlagos vezetőképesség és hőmérséklet mérés a termelő kútból																																			
visszatöltődés az 2/3 hozamú termeltetés után																																			
3/3 hozamú üzemeltetése a termelőkútnak																																			
a termelés kezdetén 7 alkalommal vízintavétel nitrát és klorid laborvizsgálatra a termelő kútból																																			
a nitrát és klorid mintavétellel egyidőben helyszíni pH, fajlagos vezetőképesség és hőmérséklet mérés a termelő kútból																																			
általános vízkémiai laborvizsgálatra vízintavétel a termelő kútból, a Dunából és egy háttér megfigyelő kútból																																			
trícium laborvizsgálatra vízintavétel a termelő kútból, a Dunából és egy háttér megfigyelő kútból																																			
oxigén és hidrogén izotóp laborvizsgálatra vízintavétel a termelő kútból, a Dunából és egy háttér megfigyelő kútból																																			
a termelés leállítását követően 7 alkalommal vízintavétel nitrát és klorid laborvizsgálatra a termelő kútból																																			
a nitrát és klorid mintavétellel egyidőben helyszíni pH, fajlagos vezetőképesség és hőmérséklet mérés a termelő kútból																																			
visszatöltődés az 3/3 hozamú termeltetés után																																			
automata vízszint, vízhőmérséklet és fajlagos elektromos vezetőképesség mérő műszerek telepítése, adatkinyerés																																			
üzemeltetéshez szükséges eszközök kiépítése (szivattyú, vízvezetés, szerelvények)																																			
üzemeltetéshez szükséges eszközök lebontása (szivattyú, vízvezetés, szerelvények)																																			

95. ábra A mederkapcsolati vizsgálatok ütemezése

2.5.8 *Vízmintavételek, vízkémiai vizsgálatok*

A vizsgálatok részletes ismertetése a „*Mecsekérc Zrt.: Vízminőségi vizsgálatok értékelő jelentése (MÁ/PA2-16-HI-21)*” című részjelentésben [114] található.

A különböző víz- és gázvizsgálatokra történő mintavételek célja a felszín alatti vizek állapotának megismerése, valamint az áramlási rendszer geokémiai jellemzőinek vizsgálata és értékelése, továbbá a vízföldtani reambuláció keretében a felszíni vizek minőségének megismerése, értékelése volt. A mintavételeket az adott mintavételhez tartozó szabványok, mintavételi előírások alapján akkreditált módon végezték. A különböző vízmintavételek és a csatlakozó laborvizsgálatok 2015. júniusától a program végéig (monitoring üzemeltetés) tartanak.

A vízmintavételek különböző vizsgálati csomagokra történtek úgy, mint általános vízkémiai vizsgálatok, nyomelemzések, stabil izotópok, vízkor, nemesgáz valamint komplex vízkémiai szűrővizsgálati csomagok.

Az általános vízkémiai vizsgálatok, nyomelemek (egyszerű csomag) valamint a stabilizotóp vizsgálatok (komplex csomag) célja a felszín alatti vizek állapotának, mozgásának, esetleges szennyeződéseik jellegének illetve ezek mozgásának modellezése volt az elvégzett vízgeokémiai vizsgálatok alapján. A vizsgálatok a telephelyen kívül valamint a telephelyen újonnan létesített fúrások illetve a már meglévő kutak, fúrások vízmintáiból készültek. A kitűzött célok elérését az „egyszerű csomag” vizsgálatain túl a környezeti izotópok és a vízkor meghatározás, azaz a „komplex csomag” laboratóriumi vizsgálatának végrehajtása biztosította.

Az általános vízkémiai vizsgálatok az alábbi paramétereket foglalták magukba: fajlagos elektromos vezetőképesség, pH, KO_{lps}, p- és m-lúgosság, keménység, karbonát, hidrogénkarbonát, hidroxid, szulfát, fluorid, klorid, bromid, nitrát, nitrit, foszfát, ammónium, kálium, nátrium, kalcium, magnézium, vas, mangán.

A nyomelem meghatározás a következő nyomelemeket foglalták magukba: Ag, Al, As, B, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Hg, Li, Mo, Ni, Pb, Pd, Pt, Rb, Rh, Sb, Se, Sn, Sr, Te, Th, Tl, U, V, W, Y, Zn, Zr.

A „komplex csomag” keretében a következő stabilizotópok meghatározására került sor:

- trícium (3H)
- δD
- δ13C
- δ18O
- δ15N
- vízkor meghatározás: 14C (AMS módszer)

A felszín alatti vizek vizsgálatához a telephelyi és a regionális vízföldtani vizsgálati területen szivattyúzott, mélységi valamint bizonyos esetekben a folyamatos üzemeltetésű kút mintavételi csapján történtek vízmintavételek.

A telephelyen újonnan létesült észlelőkutak mindegyike (81 db) valamint a meglévő monitoring rendszerből 15 db kút került mintázásra a vízkémiai alapállapot meghatározásához. A meglévő monitoring rendszerből kijelölt kutak a következők voltak:

HB-K/a, K 03, KH 10, O 5, O 8, T 01/a, T 34/b, T 58, T 61, T 68, T 78, V 217/a, V 243/a, Z 01, Z 03.

Az általános vízkémiai paraméterek és a fémek, félfémek mellett szelvényenként 3 db talajvízfigyelő kútból és minden rétegvízfigyelő kútból környezeti izotópokra is történt vízmintavétel (37 db). Az anomális eredményeket adó vízmintavételeket a későbbiekben megismételték a mintavétel és a laborvizsgálat hibájának kizárása végett (62. táblázat). A továbbiakban a monitoring tevékenység keretén belül szelvényenként minden beszűrőzött rétegből rendszeres időközönként vízmintavétel történik a vízkémiai jellemzők természetes változásának nyomon követése valamint a létesítéssel kapcsolatos későbbi hatások kimutatása érdekében.

A monitoring vízminőség vizsgálatokra kijelölt kutak a következők: I-2-A, I-2-B, I-2-C, I-3-A, I-4-B, I 4-C, I-5-A, I-6-C, I-6-D, II-2-A, II-2-B, II-2-C, II-2-D, II-3-A, II-4-A, II-4-B, II-4-C, II-5-A, II-6-C, II-6-D, III-2-A, III-2-B, III-4-A, III-4-B, III-4-C, III-5-A, III-6-A, III-6-C, III-6-D, III 8 B, IV-2-A, IV-2-B, IV-2-C, IV-2-D, IV-4-A, IV-4-B, IV-6-A, IV-6-B, IV-6-C, IV-6-D, IV-7-A, V-1-B, V-1-C, V-3-A, V-4-A, V-4-B, V-4-C, V-5-A, V-6-A, V-6-B, V-6-C, V-6-D, V-7-A.

62. táblázat Ismételt laborvizsgálatokra történt mintavételek

Minta származási hely	Egyszerű csomag			Komplex csomag (stabil izotópok, vízkor)					
	ÁVK	Nyomelem	Rn	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{18}\text{O}$	δD	Trícium	^{14}C vízkor
III-4-C	-	-	-	-	-	-	-	-	√
II-2-C	-	-	-	-	-	-	-	-	√
II-2-B	-	-	-	√	√	√	√	√	√
II-6-C	-	-	-	-	-	-	-	-	√
IV-6-C	-	-	-	-	-	-	-	√	-
IV-6-D	√	√	√	√	√	√	√	√	√
V-6-D	√	√	√	√	√	√	√	√	√
V-6-C	-	-	-	-	-	-	-	√	-
V-1-B	-	-	-	√	√	√	√	√	√
V-1-C	-	-	-	-	-	√	√	-	-
V-4-C	-	-	-	-	-	-	-	√	-
IV-6-B	-	-	-	√	√	√	√	√	√
III-8-B	-	-	-	√	√	√	√	√	√
III-6-C	-	-	-	-	-	-	-	√	-
II-6-D	-	-	-	-	-	-	-	√	√
II-8-B	-	-	-	√	√	√	√	√	√
I-6-D	-	-	-	-	-	-	-	√	√
III-2-B	-	-	-	√	√	√	√	√	√

Az FKP keretében létesült telephelyen kívüli mélyfúrásokból is történtek mintavételek és laborvizsgálatok. A műszaki lehetőségekhez igazodva mintavételek történtek mélységi mintavétellel, kifolyó vízből, tisztítószivattyúzással valamint a dugattyúzott vízből egyaránt (12 db). A telephelyen kívüli fúrásokból történt mintavételeket a 63. táblázat tartalmazza.

63. táblázat Telephelyen kívüli PAET fúrásokból történt mintavételek

Minta származási hely	Minta kód	Mintavételi mélység m-től m-ig (csőperemtől mérve)
PAET-26	A-52683	503- 560
PAET-27	A-52985	703,75-732,16
PAET-30	A-53924	532,20-548,61
PAET-34	A-53938	1473,91-1867,8
PAET-34	A-53945	1473,91-1867,8
PAET-34	A-53946	1473,91-1867,8
PAET-34	A-55471	1473,91-1867,8
PAET-34	A-52747	687,27-690,30
PAET-34	A-52748	687,27-690,30
PAET-34	A-52749	687,27-690,30
PAET-34	A-53817	947,99-1108
PAET-35	A-53492	81,10-90,00

A nemesgáz vízmintavételek fő célja a mélyebb rétegekben lévő, nagy nyomású fluidumok feláramlásának és a sekélyebb rétegvizekhez keveredésének kimutatása $^3\text{He}/^4\text{He}$ izotóparány és ^4He koncentráció anomáliák alapján, Paks környezetében. A nemesgáz vízmintavételek rézcsöves mintavétellel történtek.

A nemesgáz vizsgálatok során a következők meghatározására kerül sor:

- $^3/4\text{He}$
- $^{20/22}\text{Ne}$
- $^{36/40}\text{Ar}$
- $^{84/86}\text{Kr}$
- $^{129/132}\text{Xe}$

Nemesgáz vizsgálatokra a 64. táblázatban feltüntetett kutak lettek kijelölve.

64. táblázat Nemesgáz vizsgálatokra történt mintavételek helye

Minta származási hely	Nemesgáz- izotóparány	ÁVK, Nyomlem	$\delta^{18}\text{O}$, δD	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, ^{14}C vízkor	Trícium
Zomba Vízmű III. kút	√	√	√	√	√
Gyöngk vízmű IV. kút	√	√	√	√	√
Igal fürdő I. gyógyvíz	√	-	√	√	√
Igal Fürdő II termásvíz	√	-	√	√	√
Igal Fürdő IV. kút	√	-	√	√	√
Kalocsa negyvenszállási vízmű 6. sz. kút	√	√	√	√	√
Kalocsa, Májuskert Strandfürdő	√	-	√	√	√
Kalocsa Baráka Vm. 11. sz. kút	√	√	√	√	√
Kalocsa Baráka Vm. 9/a sz. kút	√	√	√	√	√
Dunapataj 6. sz. kút	√	√	√	√	√

Minta származási hely	Nemesgáz-izotóparány	ÁVK, Nyomlem	$\delta^{18}\text{O}$, δD	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, ^{14}C vízkor	Trícium
Solt 2. sz. vízműkút	√	√	√	√	√
Fülöpszállás K-159	√	√	√	√	√
Dunaföldvár Strand	√	-	√	√	√
Jánoshalma 4. sz kút	√	√	√	√	√
Kiskunhalas Strandfürdő	√	-	√	√	√
Kecel Strand termálkút	√	-	√	√	√
Dunaszentgyörgy, vízmű IV. kút	√	√	√	√	√
Tengelic, vízmű, IV. kút	√	√	√	√	√
Paks, I. vízmű 3. kút	√	√	√	√	√
Paks, III. vízmű 3. kút	√	√	√	√	√
Tamási, Strand III. kút	√	√	√	√	√
Németkér, Hard puszta I. kút	√	√	√	√	√
Paks, Gyapa puszta 2. kút	√	√	√	√	√
Dunaszentbenedek, K. Tsz. Tehenészet	√	√	√	√	√
Tengelic, Gyógyszálló, I. sz. hévízkút	√	√	√	√	√
Szekszárd, Strand B-161 kút	√	√	√	√	√
Paks város önkormányzata, II. sz. hévízkút	√	√	√	√	√
II-4-A	√	-	-	-	√
II-8-A	√	-	-	-	√
III-5-A	√	-	-	-	√
IV-3-A	√	-	-	-	√
IV-7-A	√	-	-	-	√
IV-1-A	√	-	-	-	√

A komplex vízkémiai szűrővizsgálatra történt vízmintavételek célja a felszín alatti vizekben esetleg meglévő szennyeződések kimutatása, jellegének a megismerése. Komplex vízkémiai szűrővizsgálat elvégzése a kijelölt fúrásokból és kutakból a 14/2005. (VI. 28.) számú Kormány Rendelet és a 6/2009 (VI. 14.) KvVM-EÜM-FVM számú Együttes Rendelet előírásainak megfelelően történt (20 db).

A komplex szűrővizsgálat az alábbi komponensek elemzését (meghatározását) foglalja magába:

- pH, elektromos vezetőképesség
- fluorid, klorid, nitrit, nitrát, szulfát, foszfát, ammónium-ion
- nyomelemek (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Se, Cd, Sn, Ba, Pb, Ag)
- arzén, higany
- Cr(VI)-meghatározás
- alifás szénhidrogének C5-C9
- benzol és alkil-benzolok

- szerves aromás halogénezett szénhidrogének (klór-benzol, diklór-benzol, triklór-benzol, brómbenzol, klór-naftalinok)
- halogénezett alifás szénhidrogének (kivéve: vinil-klorid)
- egyéb vegyületek körében: izopropil-alkohol, glikolok, piridin, tetrahydro-furán és tetrahydro-tiofén
- alifás szénhidrogének C10-C40
- fenolok
- szerves policiklikus aromás szénhidrogének (kivéve: benzo(a)-pirén)
- klórozott aromás szénhidrogének (tetra-, penta-, hexa-)
- klórfenolok
- GC-vel mérhető növényvédőszer

A komplex vízkémiai szűrővizsgálatra kijelölt kutak az alábbiak: I-3-A, I-8-A, II-1-A, II-4-B, II-5-A, II-6-C, III-2-C, III-4-B, III-6-D, III-7-A, III-8-B, V-1-B, V-3-A, V-7-A, V-6-C, V-6-D, IV-8-A, IV-4-B, IV-4-C, IV-5-A.

A geokémai kiértékeléshez a felszín alatti víz kilépési pontjain a források és vízfolyások vizsgálatára került sor. Mivel a vízkémiai összetétel is változik időben, a mintavétel különböző hidrológiai viszonyok mellett történt, összehangolva a többi hidrogeológiai mérésorozattal. A mérési pontok kiválasztása a hidrogeológiai reambuláció eredménye alapján történt.

A különböző vizsgálati programok során elvégzett mintavételeket valamint a vizsgálandó komponenseket összesítve a 65. táblázat tartalmazza. A telephelyen belüli monitoring során a 2016-os évben további 106 db mintavétel várható általános vízkémiai komponensekre.

65. táblázat A kutatási program során elvégzett mintavételek, vízkémiai vizsgálatok

Mintavételi program	Mintavétel	Helyszíni mérések	ÁV K	Nyom elem	Komplex csomag	Nemesgáz izotóp	Komplex szűrővizsgálat
Telephelyi vizsgálatok							
Egyedi kútesztek	96	96	96	96	37	-	-
Ismétlő mintázások (egyedi kútesztek)	26	26	-	-	12,6	8	-
Monitoring	53	53	53	-	-	-	-
Komplex szűrővizsgálat	20	20	-	-	-	-	20
Tágabb környezetben végzett vizsgálatok							
Tágabb környezetben lévő víztermelő kutak, mélyfúrások)	32	32	21	21	28	28	-
Vízföldtani reambuláció	100	100	100	-	-	-	-
Forrás, vízfolyás vízmintavétel	50	50	50	-	-	-	-
FKP keretében létesült mélyfúrások	12	12	12	12	7	-	-

A laborvizsgálatokat a Mecsekérc Zrt. NAT-1-1370/2015 számon akkreditált vizsgálólaboratóriuma (ÁVK, Nyomelem), a HYDROSYS LABOR Laboratóriumi Szolgáltató Kft NAT-1-1714/2012 számon akkreditált laboratóriuma (Trícium), az MTA CsFK Földtani és Geokémiai Intézete ($\delta^{18}\text{O}$, δD), az Isotoptech Zrt ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, vízkor meghatározás: ^{14}C), valamint a Wessling Hungary Kft. NAT-1-1398/2015 számon akkreditált laboratóriuma végezte (alifás szénhidrogének, benzol és alkil-benzolok, szerves aromás halogénezett szénhidrogének, halogénezett szénhidrogének, egyéb vegyületek, fenolok, szerves policiklikus aromás szénhidrogének, klórozott aromás szénhidrogének, klórfenolok, GC-vel mérhető növényvédőszer).

2.5.9 Monitoring rendszer üzemeltetése

A hidrogeológiai monitoring rendszer üzemeltetésének célja a felszín alatti vizek szintváltozásainak, valamint vízminőségi változásainak megfigyelése és nyomon követése. A rendszer üzemeltetésével adatok nyerhetők a felszín alatti áramlási viszonyokról, melyek felhasználhatóak az új atomerőművi blokkok tervezéséhez, geotechnikai értékeléshez és a környezeti vizsgálatokhoz. Az FKP keretében kialakított rendszer a meglévő rendszerrel kiegészülve hosszú távon biztosítja az erőmű környezetében a vízföldtani ellenőrzést.

A telephelyi vízkémiai monitoring célja a felszín alatti vizek kémiai jellemzőiben bekövetkező természetes változások megismerése, nyomon követése, illetve a létesítéssel kapcsolatos későbbi hatások kimutatása. A monitoring során értékelni kellett a felszín alatti vizek minőségét és víz-geokémiai jellemzőiket is. A vízszintváltozások nyomon követése mellett olyan automata vízszintregisztráló műszerek kerültek telepítésre, amelyek a felszín alatti víz hőmérséklet- és fajlagos elektromos vezetőképesség változásait is rögzítik. Ennek célja a felszín alatti vizek felszíni vizekkel való (Duna, Hidegvíz-csatorna) kapcsolatainak esetleges kimutatása.

A vízföldtani monitoring során vizsgált terület és objektumai az atomerőmű meglévő blokkjaitól északra helyezkednek el, hozzávetőlegesen az EOVS 634500 – 636000 és EOVS 136900 – 138100 koordináták által közbezárt területen.

A Paksi Atomerőmű I-IV. blokkjától északra, a beruházási területen a földtani kutatási programnak megfelelően különböző mélységű geotechnikai fúrások kerültek lemélyítésre, amelyek vízjogi engedély birtokában megfigyelő kutakká lettek kiképezve. A 81 db új kút mélység szerinti megoszlása a következő: 39 db 15 m-es („A” jelű), 20 db 25 m-es („B” jelű), 15 db 50 m-es („C” jelű), valamint 7 db 100 m-es („D” jelű). Csövezésük 125/115 mm-es, a „D” kutak esetében 125/107 mm-es PVC csővel valósult meg. A monitoring kutak fontosabb adatait az 66. táblázat foglalja össze.

Az új kutak közül 66 db kútba háromcsatornás vízszintregisztráló műszer került beépítésre, míg a fennmaradó 15 kútban kétheti gyakoriságú kézi vízszintmérés történik. A műszerek elhelyezésének elve az volt, hogy minden rétegvíz megfigyelő kútban folyamatos regisztrálás legyen, míg az igen sűrűn elhelyezkedő, „A” jelű talajvíz-megfigyelő kutak közül 24-be telepítettek regisztráló berendezést. Utóbbiak kiválasztásánál figyelembe vették a korábbi, meglévő műszerezett kutak elhelyezkedését, valamint a mederkapcsolati vizsgálatok műszerigényét is.

66. táblázat Újonnan létesített monitoring kutak fontosabb adatai

Kút neve	EOVY (m)	EOVX (m)	Z (mBf)	Talpmélység (m)	Szűrőzött szakasz (m-től, m-ig, csőperemtől)
I-2-A	635035,70	137947,54	97,81	15,03	9,03-14,03
I-2-B	635035,51	137950,41	97,69	25,0	19,0- 24,0
I-2-C	635032,58	137948,98	97,82	50,0	44,0- 49,0
I-3-A	635245,99	137906,64	97,85	15,0	9,0- 14,0
I-4-B	635415,22	137906,98	97,54	25,35	19,35- 24,35
I-4-C	635415,20	137907,03	97,58	50,0	44,0- 49,0
I-5-A	635542,90	137910,56	97,49	15,47	9,5- 14,5
I-6-C	635671,60	137915,89	97,27	50,0	44,0- 49,0
I-6-D	635671,82	137919,56	97,26	100,0	94,0- 99,0
II-2-A	634919,46	137741,29	98,00	15,0	9,0- 14,0
II-2-B	634919,57	137738,20	97,96	25,4	19,4- 24,4
II-2-C	634916,52	137738,16	97,90	50,0	44,0- 49,0
II-2-D	634916,29	137741,25	97,88	95,0	89,0- 94,0
II-3-A	635060,33	137723,95	97,80	15,4	9,5- 14,5
II-4-A	635195,03	137773,28	97,77	15,2	9,2- 14,2
II-4-B	635198,01	137771,09	97,72	25,1	19,1- 24,1
II-4-C	635194,80	137769,64	97,73	50,0	44,0- 49,0
II-5-A	635318,85	137760,30	97,85	15,18	9,18- 14,18
II-6-C	635402,32	137744,80	97,58	50,0	44,0- 49,0
II-6-D	635402,82	137747,62	97,56	100,0	93,0- 98,0
III-2-A	634809,33	137541,49	97,83	15,05	9,05-14,05
III-2-B	634809,34	137538,45	97,76	25,25	19,25- 24,25
III-4-A	635048,43	137489,71	97,90	15,15	9,15-14,15
III-4-B	635048,14	137497,41	97,94	25,02	19,02-24,02
III-4-C	635048,36	137493,39	97,87	50,2	44,2-49,2
III-5-A	635170,90	137490,12	97,67	15,43	9,43- 14,43
III-6-A	635238,07	137511,89	97,90	15,05	9,05- 14,05
III-6-C	635236,91	137514,54	98,09	49,7	43,7- 48,7
III-6-D	635240,05	137514,18	98,09	100,0	94,0-99,0
III-8-B	635419,54	137503,26	97,66	25,5	19,5- 24,5
IV-2-A	634807,43	137204,42	97,73	15,0	9,0- 14,0
IV-2-B	634810,32	137204,37	97,83	25,0	19,0- 24,0
IV-2-C	634807,21	137201,42	97,78	50,0	44,0- 49,0
IV-2-D	634810,26	137201,34	97,82	100,0	94,0- 99,0
IV-4-A	635049,83	137277,55	97,38	15,15	9,15- 14,15
IV-4-B	635049,65	137280,49	97,36	25,3	19,3- 24,3
IV-6-A	635197,40	137293,86	97,84	15,0	9,0- 14,0
IV-6-B	635196,90	137291,01	98,04	24,9	18,9- 23,9
IV-6-C	635194,10	137290,94	97,95	50,0	44,0- 49,0
IV-6-D	635194,27	137293,99	97,95	100,0	94,0- 99,0

Kút neve	EOVY (m)	EOVX (m)	Z (mBf)	Talpmélység (m)	Szűrőzött szakasz (m-től, m-ig, csőperemtől)
IV-7-A	635325,16	137304,30	97,81	15,15	9,15- 14,15
V-1-B	634620,63	136951,60	97,88	25,0	19,0- 24,0
V-1-C	634619,17	136949,00	97,80	50,0	44,0- 49,0
V-3-A	634805,60	136989,28	97,88	15,2	9,2- 14,2
V-4-A	634954,59	137101,49	97,91	15,23	9,23- 14,23
V-4-B	634952,74	137103,86	97,85	25,05	19,05- 24,05
V-4-C	634950,94	137101,19	97,80	50,0	44,0- 49,0
V-5-A	635072,79	137098,49	97,92	15,6	9,6- 14,6
V-6-A	635182,02	137115,86	97,91	15,08	9,08- 14,08
V-6-B	635182,13	137119,02	97,93	25,55	19,55- 24,55
V-6-C	635178,94	137116,33	97,76	50,0	44,0-49,0
V-6-D	635179,11	137119,47	97,84	100,0	94,0- 99,0
V-7-A	635242,37	137092,07	97,94	15,53	9,53- 14,53

A monitoring rendszer kútjainak vízszintjeinek rögzítése Dataqua típusú, háromcsatornás automata vízszintregisztrálókkal történik. A vízszintregisztrálók üzemeltetése az FKP szerződés keretében 2016. év végéig zajlik, kétheti gyakoriságú kiolvasással, ellenőrző kézi vízszintmérés elvégzésével, valamint előfeldolgozással. A kézi vízszintmérések SEBA gyártmányú, kalibrált KLL típusú vízszintmérővel kerülnek végrehajtásra, amivel a mérés pontossága ± 1 cm. A műszerrel nem szerelt 15 db kútban kétheti gyakorisággal kézi vízszintmérés zajlik. A műszeres és kézi mérési adatok tárolása és előfeldolgozása számítógéppel történik.

Az üzemeltetés magában foglalja a kútfej és a környezetének karbantartását, a műszerek által rögzített adatok kinyerését, azt követően konvertálását, az adatsorok folyamatos előfeldolgozását.

Az hidrogeológiai monitoring rendszer üzemeltetéséről éves jelentés készül, amely tartalmazza:

- a mérési időszak alatt keletkezett adatokat akkreditált jegyzőkönyvek formájában (vízszintmérési, mintavételi, laborvizsgálati jegyzőkönyvek), illetve az adatokat, mérési eredményeket táblázatos formában
- a monitoring rendszer adataiban látható változások és az épített továbbá a természetes környezetben történt változások kapcsolatának meghatározását, értékelését
- a monitoring rendszer működésében bekövetkezett üzemzavar és adathiányok és az üzemzavar elhárítására tett intézkedések ismertetését
- az egyes riasztási szint bekövetkezésekor elrendelt intézkedések és műszaki beavatkozások (ha volt ilyen esemény) hatásának az értékelését a monitoring adatok alapján
- javaslatot a monitoring rendszer elemeinek további üzemeltetésére az 1 éves tapasztalat alapján

A vízszintek nyomon követése mellett monitoring rendszer másik fontos eleme a vízminőség alakulásának vizsgálata. A földtani kutatási program műszaki tartalma alapján vízkémiai monitoringra 160 db mintavétel volt előírva, melyet 3 db, negyedéves

gyakoriságú kampányban a Mecsekérc Zrt. végez, végzett el. Ezek alapján kampányonként 53 db kút mintázására nyílt lehetőség 2016 II. negyedétől 2016 végéig. Ugyanezen telephelyi kutakban kerültek elvégzésre, illetve kerültek felhasználásra a vízföldtani modellezést segítő egymásrahatás-, nyomjelzéses-, mederkapcsolati vizsgálatok során; így kiemelt fontosságú volt ezen vizsgálatok sorrendiségének, kivitelezésének összehangolása.

Az általános vízkémiai vizsgálatok (továbbiakban: ÁVK) során az alábbi paraméterek kerültek meghatározásra: fajlagos elektromos vezetőképesség, pH, KOIps, p- és m-lúgosság, keménység, karbonát, hidrogénkarbonát, hidroxid, szulfát, fluorid, klorid, bromid, nitrát, nitrit, foszfát, ammónium, kálium, nátrium, kalcium, magnézium, vas, mangán.

Az általános vízkémiai vizsgálatokra, az előzetesen felmért vízkémiai eredmények alapján lettek kijelölve a megfigyelő kutak. A kutak kiválasztásánál elvárás volt a meglévő blokkokhoz közel (V. szelvény), és a tervezett blokkok várható építési területén (II. és IV. szelvény közepe) nagyobb számú megfigyelés legyen; ugyanakkor a beruházási területre északi és nyugati irányból érkező vizek minőségéről is elegendő információ álljon rendelkezésre. A korábbi monitoring rendszer döntően sekély mélységű kutakból állt, jelen programban cél volt a nagyobb mélységből származó rétegvizek minőségének megismerése is. Törekedtünk arra is, hogy egy-egy kútcsoport minél több tagja kerüljön mintázásra, a vízminőségek mélység szerinti alakulásának vizsgálatához.

Az alábbi táblázat tartalmazza, a vízkémiai monitoringba bevont kutak mélység szerinti megoszlását. (67. táblázat).

67. táblázat A hidrogeológiai monitoringba bevont kutak megoszlása mélység szerint

Kút	Összes kút (db)	Vízmintavétel (db)
„A” (15 m)	39	20
„B” (25 m)	20	13
„C” (50 m)	15	13
„D” (100 m)	7	7
Összesen	81	53

2.5.9.1 Monitoring vizsgálatok a regionális vizsgálati területen

A regionális vízföldtani monitoring vizsgálatok célja volt a regionális vízföldtani kutatási területen a felszíni és felszín alatti vizek fizikai-, kémiai állapotának ellenőrzése, a jelentősebb felszíni vízfolyásokról jellemző vízhozam adatok szolgáltatása. Ezen túl a mérési, vizsgálati eredmények éves változékonyságának felmérése azon helyszíneken, ahol a területileg illetékes vízügyi igazgatóságok nem rendelkeztek adatokkal. A források, vízfolyások szabadon megközelíthetőek voltak, azokon történő mérések, vizsgálatok nem igényeltek tulajdonosi, kezelői hozzájárulást, vízjogi engedélyt. A monitoring mérések helyszíneit a 68. táblázat mutatja be.

68. táblázat A regionális vízföldtani monitoring vizsgálat helyszínei

Helyszín jelölés	Monitoring típusa	Helység	Helyszín	EOV X [m]	EOVY [m]	mB f
PMM2	mintavétel	Bölcske	Orsi-hegy Forrásfoglalás (kút)	640305	152660	96
PMM3	mintavétel	Szekszárd	Felsőváros, Curgó-kút	621306	111851	162
PMM5	mintavétel	Györköny	Dudihegyi-dűlő, Györkönytől 1km D-re	623913	141820	154
PMM6	mintavétel	Kisszékeley	Csókás Major, Forrástó kifolyója	609510	150499	140
PMM7	mintavétel	Pusztahencse	Paks-Nagydorog műúttól D-re 250m	624803	139582	153
PMM8	mintavétel	Dunaföldvár	Nagykarácsonyi-vízfolyás forrása	632172	160066	169
PMM9	mintavétel	Németkér	Hardi-ér fakadása alatt Vörösmarthy u. 1.	627150	154026	133
PMM12	mintavétel	Felsőnána	Gyepföldek-dűlőtől K-re forrás, Hidas-patak mellékvízfolyása	611478	125225	127
PMM13	mintavétel	Alsószentiván	Alap. Cecei-vízfolyás fakadása	627864	158024	153
PMM14	mintavétel	Németkér	Kanacpuszta, Kanacsi-árok mellékvize Puputeve-háttól É-ra	632149	153929	149
PMM15	mintavétel	Györköny	Paks-kölesdi-vízfolyás (Pörös-patak) forrása Alsó-Szigehty-résztől K-re	627246	143156	143
PMM16	mintavétel	Zomba	Forrásfakadás Ady Endre u. 37. előtt	612760	119793	138
PMH1	vízhozam mérés	Szekszárd	Szekszárdi-Séd	624633	107114	89
PMH2	vízhozam mérés	Bikács	Malom-árok	618741	147569	97
PMH3	vízhozam mérés	Kajdacs	Éri-patak	616866	137156	92
PMH4	vízhozam mérés	Kölesd	Hidas-patak	614925	129690	94
PMH5	vízhozam mérés	Uzd	Donát-patak	615251	139583	97
PMH6	vízhozam mérés	Cece	Alap-Cecei-vízfolyás	618932	163537	97
PMH7	vízhozam mérés	Előszállás	Nagykarácsonyi-vízfolyás a Kelemen-tó áteresze alatt	630220	163506	144

A források, vízfolyások monitoring célú vízhozam mérése és mintázása során tevékenységi napló volt vezetve. A helyszíni terepi vizsgálatok adatai, illetve az észlelési adatok pedig minden helyszínen és alkalommal egyedileg kitöltött terepi jegyzőkönyvekben lettek rögzítve.

A vízhozam mérések és vízmintavételek során alkalmazott eszközöket az alábbi 69. táblázat foglalja össze.

69. táblázat A monitoring vizsgálat során alkalmazott eszközök

Mért paraméter	Mérték - egység	Eszköz	Típus	Pontosság
Térfogat	ml	mérőhenger	500ml 250 ml	± 1 ml
Távolság	cm	mérőszalag	5m III. p. o.	± 2,6 mm teljes hosszra
Vízsebesség	m/s	forgószárnyas vízsebesség- mérő	Dostmann P770 Dig. Multiméter + Micro Water	± 0,02 m/s
Fajlagos elektromos vezetőképessé g	µS/cm	EC mérő	ADWA AD31	± 2% teljes skálára
pH		pH mérő	ADWA AD11	± 0,1
Vízhőmérsékle t	°C	EC; pH mérő	ADWA AD11-AD31	± 0,1 °C
Léghőmérsékle t	°C	elektronikus hőmérő	TFA 30.2017.02 SB	± 0,1 °C

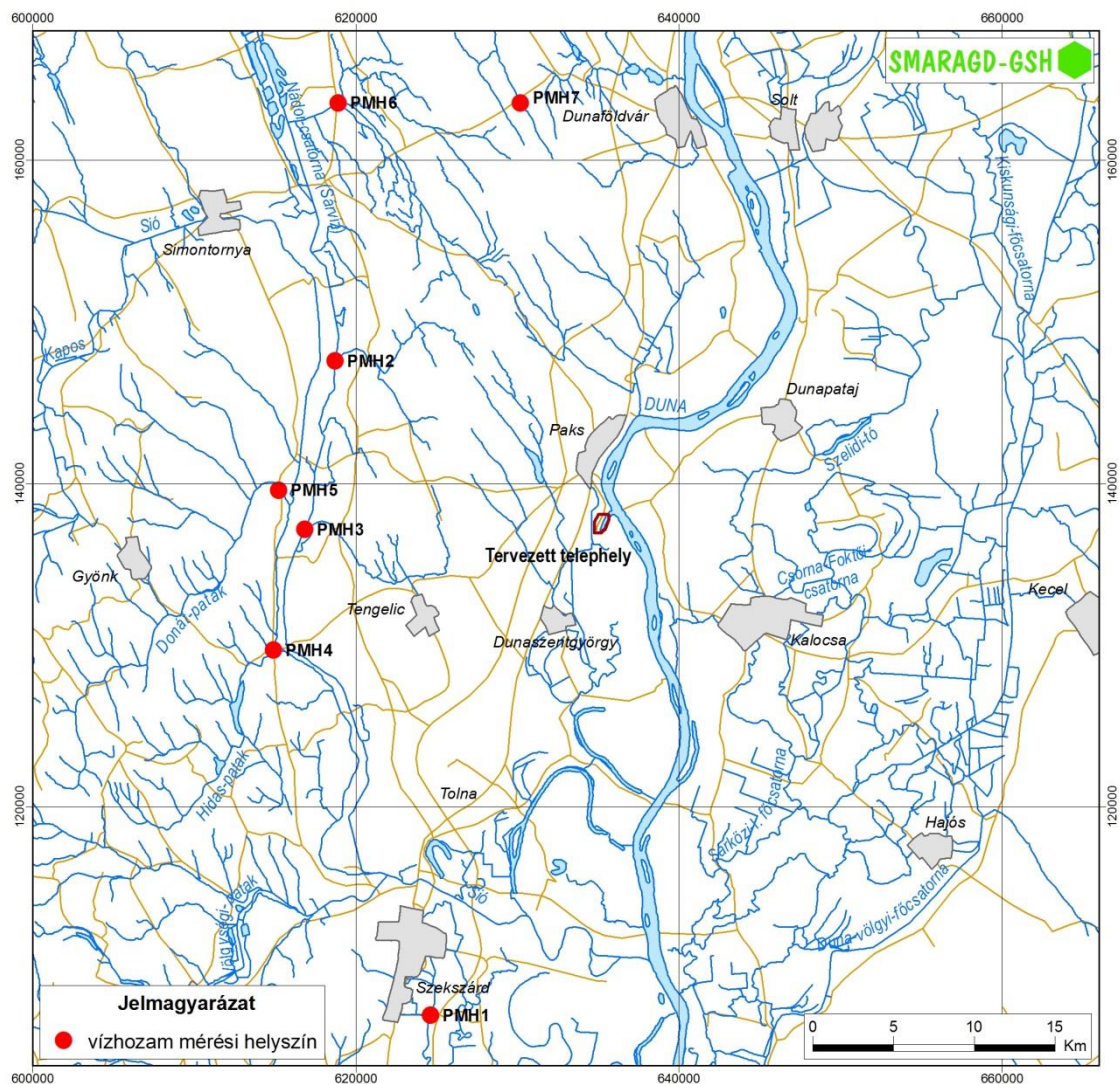
A vizsgálati eredmények a regionális vízföldtani értékelés és a regionális vízföldtani modellezés számára lettek feldolgozva.

2.5.9.1.1 Rendszeres vízhozammérések a vízfolyásokon

A regionális vízföldtani kutatási területen a projekt időtartama alatt, ismétlődően, azonos módszerrel, vízhozam mérések történtek 2015. július és szeptember, 2016. április és június folyamán. A hozammérések a regionális modellezéssel érintett területre vonatkozóan két alkalommal 6 és két alkalommal 7 helyszínen történtek (96. ábra). A különböző hidrológiai viszonyokkal jellemezhető alkalmakon belül a mérések egyidejűnek tekinthetők.

A monitoring mérési helyszínek térképi ábrázolásához szükséges EOV koordináták kézi navigációs GPS segítségével kerültek bemérésre. A mérés pontos helyének és körülményeinek dokumentálásához minden alkalommal fotók készültek a helyszíneken. Ezek a fotók egyedi azonosítókat és méretarányt is tartalmaznak. A fotók egyedi azonosítói a helyszíni terepi jegyzőkönyvben rögzítésre kerültek.

A monitoring jellegű vízhozam mérések során az alábbi helyszíni mérések lettek elvégezve: fajlagos elektromos vezetőképesség, pH, vízhőmérséklet, léghőmérséklet, köbözés, nedvesített keresztmetszet és a nedvesített keresztmetszelen egyes pontjaihoz tartozó vízsebesség. Összesen 4 alkalommal, 7 helyszínen 26 mérésre került sor.



96. ábra Vízhozam monitoring mérési helyszínek

Az alaptérkép szolgáltatója: © HM Zrínyi Nonprofit Kft. 2015.

2.5.9.1.2 Vízkémiai monitoring

A regionális vízföldtani kutatási területen a vízgeokémiai kiértékeléshez fontos cél volt a felszín alatti víz kilépési pontjain a források és vízfolyások monitoring jellegű vizsgálata. Mivel a vízkémiai összetétel időben változhat, ezért a mintavételek különböző hidrológiai viszonyok mellett kerültek megismétlésre, összehangolva a vízhozam mérés méréssorozattal. Azokon a helyszíneken ahol a vizsgálati eredmények szórása nagy volt, ott egy plusz alkalommal történt mintavétel.

A források vízfolyások mintázása az MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 szabványban rögzített minőségbiztosítási elvárásnak és az MSZ ISO 5667-6:1995 szabványban rögzített mintavételi előírásnak megfelelően, a környezeti-, munka- és tűzvédelmi előírások betartása mellett történt. A vízmintavételezést a NAT által, az MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 szabvány szerint mintavételre akkreditált személyek végezték.

A vízminták úgy lettek megvéve, tárolva és szállítva, hogy a vízminta összetétele azonos legyen a forrás, vízfolyás vízminőségével, a minta mennyisége elegendő legyen és megfeleljen az alkalmazott elemzési módszernek (az akkreditált laboratórium által biztosított mintatartó edényben, a laboratórium utasítása szerint előkezelve és tárolva (70. táblázat)). Megvétele után a minták +2 – 5°C-ra hűtve kerültek tárolásra, szállításra.

70. táblázat Minták kezelési utasítása

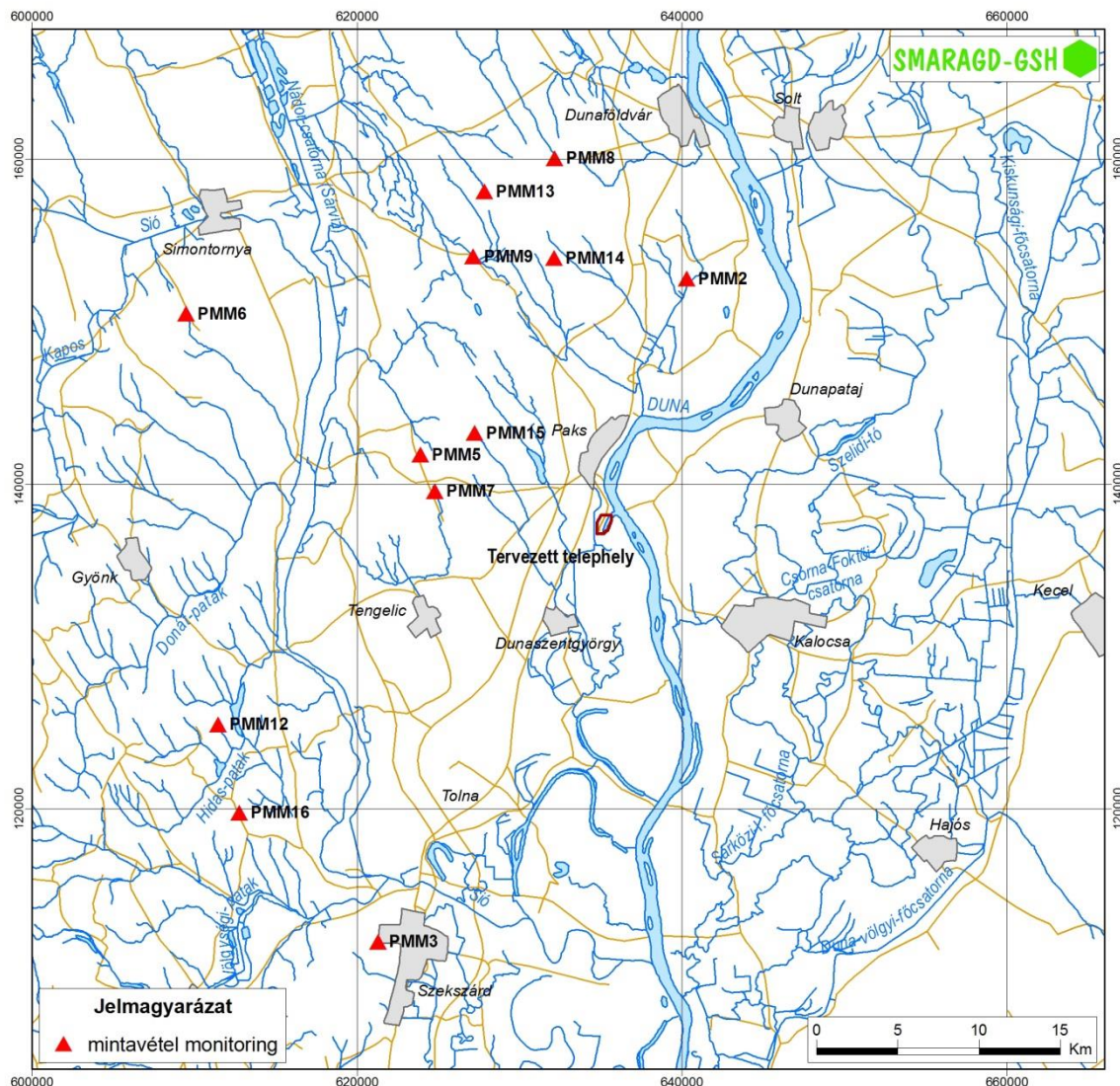
Vizsgált komponens	Minta mennyiség	Mintavevő edényzet	Mintakezelés	Hűtési utasítás	Leghosszabb eltarthatóság	Elemző labor
ÁVK	500 ml	Műanyag palack	Nincs kémiai tartósítás	Hűtés +2-5 °C-on	24 óra	Mecsekérc Zrt.
Cl, SO ₄ , NO ₂ , NO ₃ , F Br (IC)	25 ml	Szcintillációs edény	Szűrés 0,45 µm-es szűrővel, a szűrlet első néhány milliliterét ki kell dobni	Hűtés +2-5 °C-on	24 óra	Mecsekérc Zrt.
KOI _{ps} , NH ₄	500 ml	Műanyag palack	1 ml 1:1 H ₂ SO ₄	Hűtés +2-5 °C-on	5 nap	Mecsekérc Zrt.
Oldott ortofoszfát (spektrofotometria)	200 ml	Üveg palack	Szűrés 0,45 µm-es szűrővel	Hűtés +2-5 °C-on	2 hét	Mecsekérc Zrt.
Oldott Fe ²⁺ , Mn ²⁺ (ICP-OES)	25 ml	Új Szcintillációs palack (HDPE)	Szűrés 0,45 µm-es szűrővel + 250 µl 1:1 HNO ₃ (ICP-tisztaságú hozzáadása)	Hűtést nem igényel	1 hónap	Mecsekérc Zrt.
<p>ÁVK: vezetőképesség, pH, K, Na, Ca, Mg, CO₃, HCO₃, hidroxid, ÖK, KK, p- és m-lúgosság, (ÁVK palack), KOI_{ps}, NH₄, (KOI_{ps}, NH₄ palack), Cl, SO₄, NO₂, NO₃, F, Br (anion palack), Fe, Mn (ICP-palackból elemezve) oldott ortofoszfát (PO₄-palack)</p>						

A monitoring jellegű vízmintavételi helyszínek térképi ábrázolásához szükséges EOV koordináták kézi navigációs GPS segítségével lettek bemérve. A mérés pontos helyének és körülményeinek dokumentálásához minden alkalommal fotók készültek a helyszíneken. Ezek a fotók egyedi azonosítót és méretarányt is tartalmaznak. A fotók egyedi azonosítói a helyszíni terepi jegyzőkönyvben rögzítve lettek.

A vízmintavételkor az alábbi helyszíni mérések történtek: vízhozam, fajlagos elektromos vezetőképesség, pH, víz hőmérséklet, léghőmérséklet. A mintavételezés során alkalmazott eszközök műszaki paramétereit a 69. táblázat tartalmazza.

Az akkreditált laborvizsgálatok során az általános vízkémiai paraméterek: fajlagos elektromos vezetőképesség, pH, KOI_{ps}, p-lúgosság, m-lúgosság, keménység, karbonát, hidrogénkarbonát, hidroxid, szulfát, fluorid, klorid, bromid, nitrát, nitrit, foszfát, ammónium, kálium, nátrium, kalcium, magnézium, vas, mangán meghatározása történt meg

A monitoring jellegű vízmintavételezés során összesen 5 alkalommal, a 12 helyszínen összesen 50 vízmintavételre került sor (97. ábra).



97. ábra Vízmintavételi monitoring helyszínek

Az alaptérkép szolgáltatója: © HM Zrínyi Nonprofit Kft. 2015.

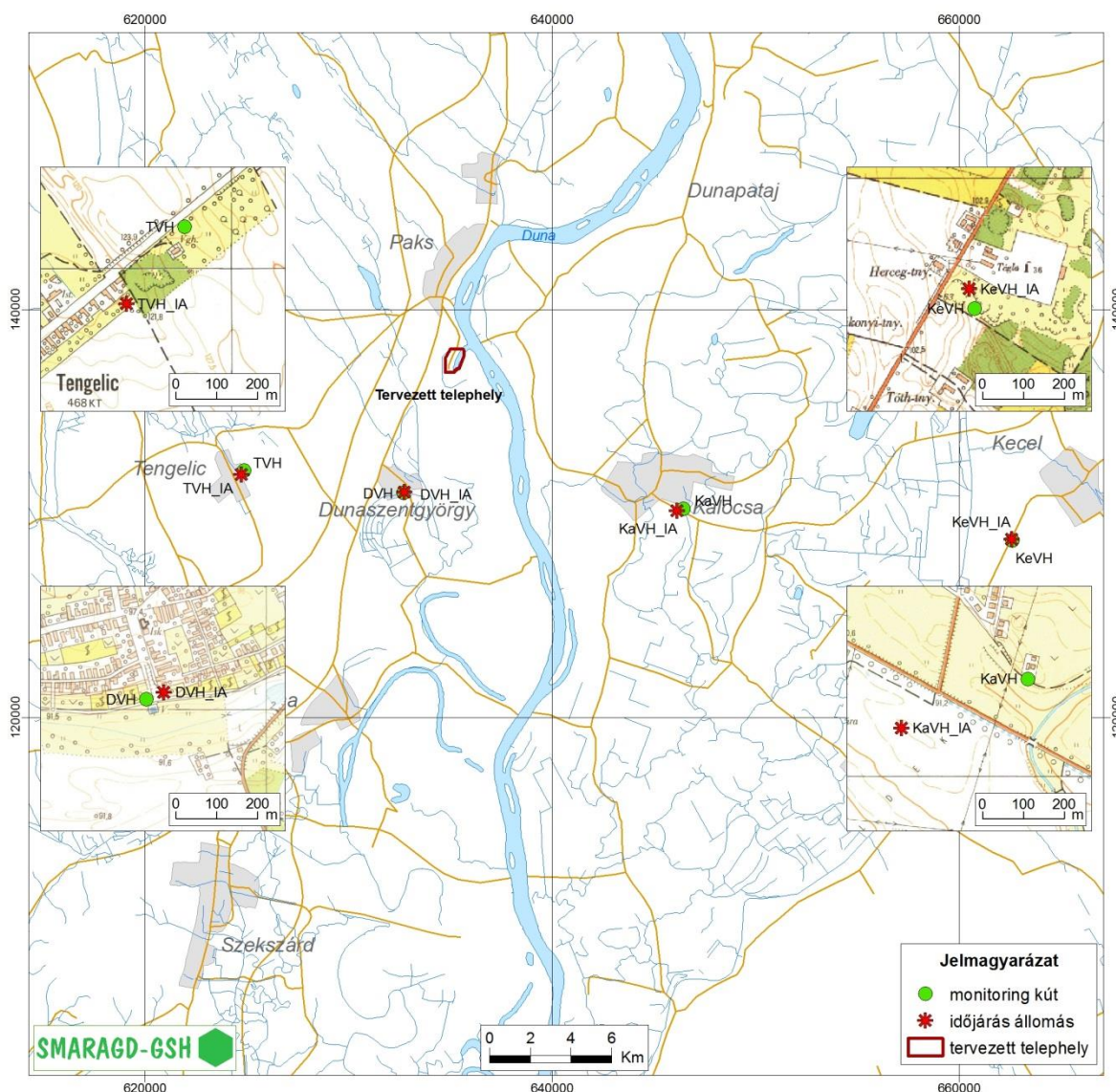
2.5.10 Talajvízháztartási vizsgálatok

A vizsgálatok részletes ismertetése a „SMARAGD-GSH Kft.: Talajvíz-háztartási jellegkörbe meghatározását szolgáló mérések a telephely környezetében” című részjelentésben található [112].

A talajvízháztartási vizsgálatok célja volt a talajvizet elérő effektív beszivárgás meghatározása terepi mérésekkel, a regionális vizsgálati területen, 4 helyszínen, 9 hónapon keresztül, és erről adatszolgáltatás a vízföldtani modell részére.

A vízháztartási viszonyok meghatározásához helyszín-specifikus meteorológiai, földtani és vízföldtani adatok lettek összegyűjtve és kiértékelve, ezután effektív beszivárgás

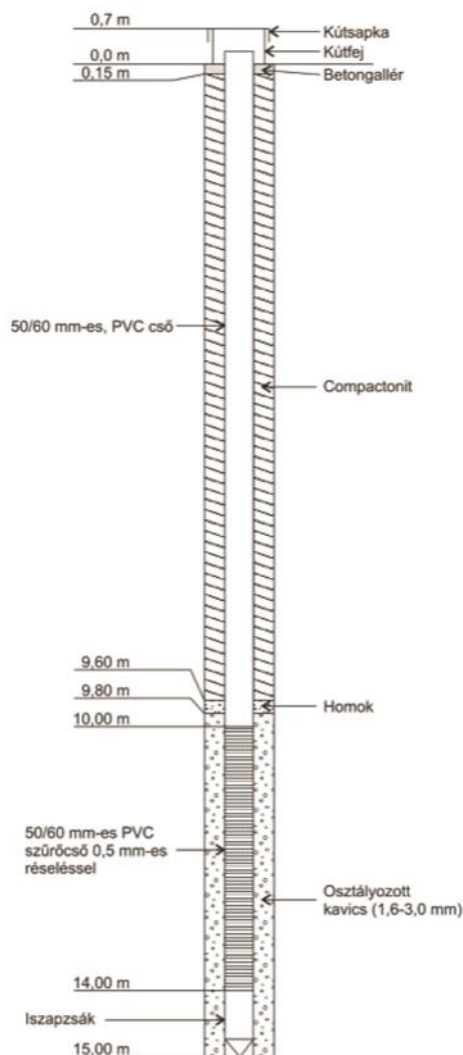
számítására került sor a mélység függvényében. A helyszíni adatok gyűjtése érdekében a négy helyszínen 1 – 1 db ideiglenes talajvízszint megfigyelő monitoring kút, és a közelükben 1 – 1 db meteorológiai állomás került kialakításra (98. ábra).



98. ábra Vízháztartási vizsgálatok helyszínei

A monitoring kutak kialakítása során a fúrési szelvényből méterenként, illetve rétegenként zavartalan mintavétel történt, majd a mintákon laboratóriumban meghatározásra került az adott réteg talajvíztartó képessége (pF görbe) és vízvezető képessége víztelített állapotban (K_s).

A talajminták megvételéhez lemélyített fúrások ideiglenes talajvízszint figyelő kúttá lettek kiképezve. A megfigyelő kutak 50 mm belső átmérőjűek, szűrőzött szakaszuk 10 – 14 m között lett kialakítva (99. ábra). A talajvíz szintje és annak változása negyedórás gyakorisággal került rögzítésre DATAQUA DA-S-LRB típusú műszerek segítségével (71. táblázat).



99. ábra A kialakított figyelőkutak műszaki rajza

Az ideiglenes talajvízszint megfigyelő kutak közelébe telepített meteorológiai állomások öt meteorológiai paramétert mértek negyedórás gyakorisággal (csapadék, relatív páratartalom, hőmérséklet, globális sugárzás, szélsébség) a mérési kampány időtartamára vonatkozóan. A mérések a DAVIS cég Vantage Pro2 állomása segítségével történtek (71. táblázat).

71. táblázat Vízháztartási vizsgálatokhoz mért paraméterek

Mért paraméter	Mértékegység	Eszköz	Típus	Pontosság
Csapadék	mm	Hellmann rendszerű csapadékmérő	DAVIS Vantage Pro2	± 4%
Relatív páratartalom	%	kapacitív polimer érzékelő	DAVIS Vantage Pro2	± 3%
Léghőmérséklet	°C	elektronikus hőmérő	DAVIS Vantage Pro2	± 0,5 °C
Globális sugárzás	W/m ²	piranométer szilícium diódával	DAVIS Vantage Pro2	± 5%
Szélsébség	m/s	kanalas	DAVIS Vantage Pro2	± 5%

Mért paraméter	Mértékegység	Eszköz	Típus	Pontosság
		szélmérő		
Talajvíz szintje	mBf	membrán piezoelektromos érzékelővel	DATAQUA DA-S-LRB	± 0,2%

A terepi helyszíni vizsgálatok mellett a felszínnek egyéb, a vízháztartási viszonyokat befolyásoló jellemzői is meghatározásra kerültek (lejtésviszonyok, növényborítottság, növényzet fajtái, talajjellemzők stb.).

A vízháztartási számítások a szabad hozzáférésű és forráskódú, a szakmai gyakorlatban az egyik legelterjedtebb szivárgáshidraulikai szoftver, a HYDRUS-1D (<http://www.pc-progress.com/en/Default.aspx?hydrus-1d>) alkalmazásával történtek [306]. A szoftver a telítetlen zóna vízforgalmának, hő- és oldott anyag transzportjának fizikai alapú, dinamikus szimulálását teszi lehetővé. Az effektív beszivárgás számítások nemcsak lokálisan lettek elvégezve, hanem kiterjesztésre kerültek az egész vizsgálati területre. A HYDRUS-1D akár felhasználói felületen keresztül, akár parancssorból indítva egyszerre csak egy talajszelvény egy alsó peremi talajvízszintű szimulációját teszi lehetővé. Ezért a sorozatszámítások előkészítése, elvégzése és részbeni utófeldolgozása a saját fejlesztésű „bhr.exe” („Batched Hydrologic Runs”) keretprogram segítségével került automatizálásra.

Az utófeldolgozás során típusszelvényenként minden alsó peremi talajvízálláshoz tartozó szimulációs eredményfájlból kiolvasásra került az alsó peremi vízforgalom idősora. Az idősor elemei előjelük alapján kerültek szétválasztásra, (a pozitív értékek felfelé irányuló, a negatív értékek lefelé irányuló nedvességmozgást jelentenek), majd a 30 éves időszakra átlagolva. Az így nyert átlagok az adott talajvízálláshoz tartozó átlagos talajvízpárolgás és beszivárgás, a kettő összege pedig a nettó talajvízforgalom, mind a jelleggörbék egy-egy diszkrét értékét adják meg.

A jelleggörbék vizuális értékelését követően elkészült a telített zónás modell felső peremi raszterét előállító program. A program a megadott talajvízszint raszter minden cellájához a megfelelő típusszelvény jelleggörbéinek diszkrét értékeit rendeli. Amennyiben a tényleges talajvízállás nem volt egyenlő az alsó peremi talajvízállások egyikével sem, a vízforgalom a két legközelebbi talajvízálláshoz tartozó függvényértékek közötti lineáris interpolációval került kiszámításra. Az utófeldolgozás részben a bhr.exe-vel, részben szintén saját fejlesztésű Microsoft Excel Macro programmal történt.

FÖLDTANI KUTATÁSI PROGRAM ZÁRÓJELENTÉSE

FELADATKÓD: (1.3.25.)

II/VI. KÖTET

3.1 FEJEZET

2016. SZEPTEMBER 20.

Szerzők:
Külön lapon felsorolva

SZERZŐK:

Barabás András	(3.1.4)
Barna Imre	(3.1.1.3)
Bereczki László	(3.1.1.4)
Budai Tamás	(3.1.1.1), (3.1.1.4.1)
Csillag Gábor	(3.1.1.3.1), (3.1.1.3.2), (3.1.1.3.3) (3.1.2)
Kericsmár Zsolt	(3.1.1.1)
Király Edit	(3.1.1.1)
Koloszár László	(3.1.1.1), (3.1.1.3)
Koroknai Balázs	(3.1.1), (3.1.1.2), (3.1.1.4), (3.1.1.5)
Lantos Zoltán	(3.1.1.1)
Maros Gyula	(3.1.1.1), (3.1.1.4.1), (3.1.1.4.2)
Marsi István	(3.1.1.1), (3.1.1.3), (3.1.1.4.2), (3.1.1.6)
Said Dávid	(3.1.1.1.4), (3.1.1.6.2)
Selmeczi Ildikó	(3.1.1.1)
Síkhegyi Ferenc	(3.1.1.3.4), (3.1.1.3.5), (3.1.1.4.2)
Tóth Tamás	(3.1.1), (3.1.1.2), (3.1.1.4), (3.1.1.5)
Wágenhoffer Andrea	(3.1.1.1.4), (3.1.1.6.2)
Wórum Géza	(3.1.1), (3.1.1.2), (3.1.1.4), (3.1.1.5)

KÖZREMŰKÖDŐK:

Babinszki Edit
Földvári Koppány
Koroknai Zsuzsa



Cím: 7633 Pécs, Esztergár Lajos u. 19.
Telefon: (72) 535-200 Fax: (72) 535-300

Cím: 1116 Budapest, Hengermalom utca 49-51.
Telefon: (1) 577-4680 Fax: (1) 577-4671

PAKS II TELEPHELYENGEDELÝÉNEK MEGSZERZÉSÉHEZ SZÜKSÉGES FÖLDTANI KUTATÁS VÉGREHAJTÁSA

MÁ/PA2-16-FT-14
Verzió száma: V1

FÖLDTANI KUTATÁSI PROGRAM ZÁRÓJELENTÉSE


(FELADATKÓD: 1.3.25.)

II/VI. kötet
3.1 fejezet

Szerkesztette:

Név: Dr. Konrád Gyula

Beosztás: Kutatásvezető

Aláírás: 

Ellenőrizte:

Név: Dr. Barabás András

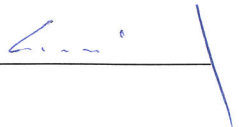
Beosztás: Projektvezető

Aláírás: 

Jóváhagyta:

Név: Csicsák József

Beosztás: Projektigazgató

Aláírás: 

Egyeztetve:

Név: _____

Tudományos Támogató Testület képviselője

Aláírás: _____

Dátum: _____

Pécs, 2016.09.20.

3 A kutatási eredmények értékelése

3.1 Földtani felépítés

3.1.1 Háromdimenziós földtani-geofizikai modell

3.1.1.1 A terület földtani képződményeinek ismertetése

3.1.1.1.1 A metamorf aljzat ismertetése

A kristályos kőzetek petrográfiája

Metamorf kristályos képződményeket a PAET-26 és a PAET-34 jelű fúrások harántoltak (72. táblázat). Mindkét fúrás ugyanazt a csillámpalát fúrta, még ha nagy mélységkülönbség is van a két kőzettest pozíciójában, valamint deformációjuk, tektonizáltságuk, ill. az átalakulásuk mértéke is nagyban különbözik. A komplexum fő tömegét gránátos csillámpala (1), alárendelten egy világosabb árnyalatú, akár több cm-es staurolittal és számos gránáttal jellemezhető staurolitos csillámpala (2) és finomszemcsés csillámpala (3) képezi. A fúrómagokat teljes körű petrográfiai leírásnak, geokémiai, ásványkémiai (fő- és nyomelemek), fázisanalitikai vizsgálatoknak, valamint kormeghatározásnak vetették alá. A képződmények bővebb leírása megtalálható a Földtani modell összefoglaló és értékelő jelentésben [372].

72. táblázat A metamorf aljzatot ért fúrások jele, EOY koordinátái és a metamorf kőzetet harántolt mélységköz

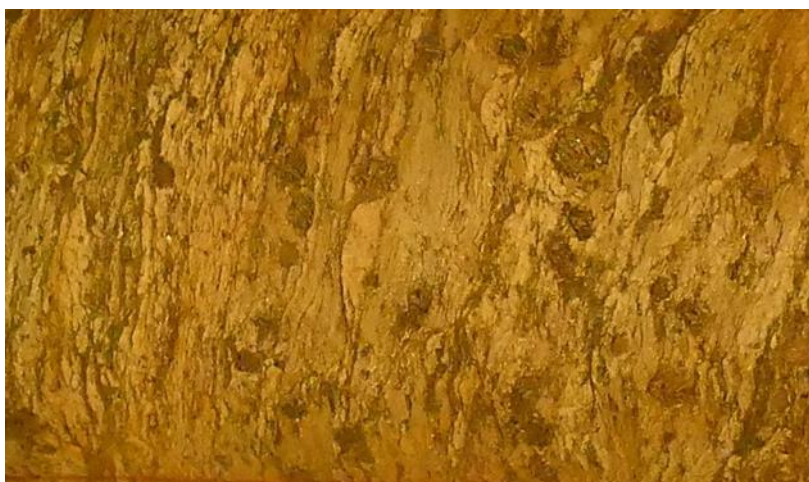
Fúrás neve	EOV-Y [m]	EOV-X [m]	Magasság [mBf]	Intervallum [m]
PAET-26	629 219,23	153 248,02	150,07	500,6–560
PAET-34	639 511,92	144 834,98	91,69	1832,95–1867,8

A PAET-26 jelű fúrás a pannóniai képződmények, a PAET-34 jelű fúrás miocén vulkanit alatt, egy ismeretlen korú, báziskonglomerátumként értelmezhető törmelékes összetétel követően harántolta a csillámpalát. A metamorf aljzat alsó kontaktusa nem ismert, mindkét fúrás a csillámpalában állt le. A metamorf aljzaton belül a kőzethatárok konkordánsak, átmeneti jellegűek.

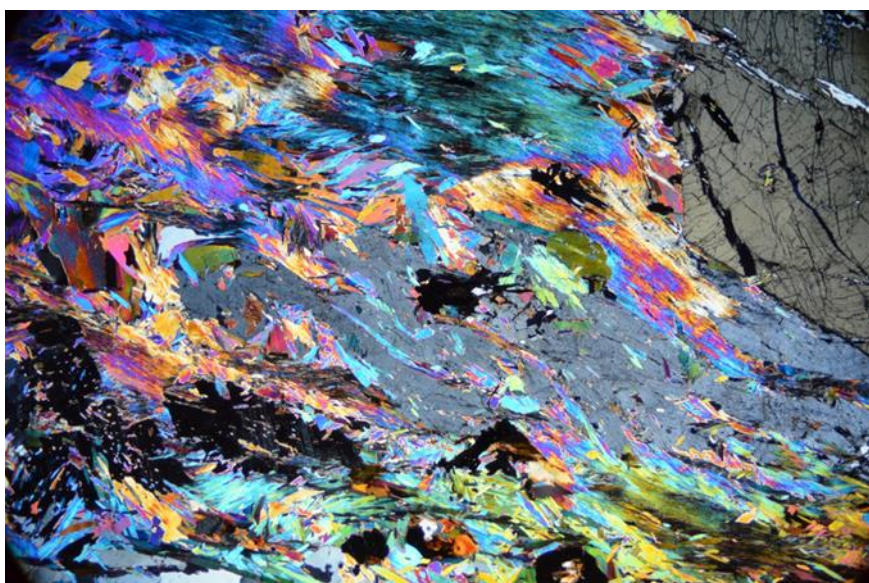
A metamorf aljzat fő tömegét adó üde, gránátos csillámpala lapos tengelysíkdőlésű izoklinális fekvődökbe gyúrt kőzet, amely temérdek apró gránát- és kicsit nagyobb, akár centiméter körüli staurolit-porfiroblasztot (100. ábra), elszórtan néhány turmalint tartalmaz. A bontottabb csillámpala, amely csak a PAET-34 jelű fúrásban fordul elő, többnyire már csak gránát-, esetleg staurolit-porfiroblaszt utáni pszeuromorfózákat tartalmaz. Gránát nagyon ritkán maradt meg a csillámpalában. Ezenkívül kétféle csillám, hosszú elnyúlt lencsékben-sávokban kvarc, néhol kékes árnyalatú, erősen nyúlt, gyakran teljesen összehajtogatott plagioklász (102. ábra) építi fel, amelyben a gyűrődéseket grafitzárványok rajzolják ki. Indexásványként még andaluzitot, a staurolitos csillámpala egy helyen (PAET-26/545,84–545,95 m) kyanitot tartalmaz (103. ábra).



100. ábra Sok apró gránátból álló sávok csillámpalában, valamint kékes árnyalatú elnyúlt földpátkristályok
PAET-26/533,15 m (ládaperem 2 cm)



101. ábra Világos megjelenésű, óriás gránátos csillámpala. PAET-34/1849,55 m



102. ábra A plagioklász- és muszkovitsávok izoklinális redőkbe rendeződése. 2x obj. XN (hosszú él 12 mm)

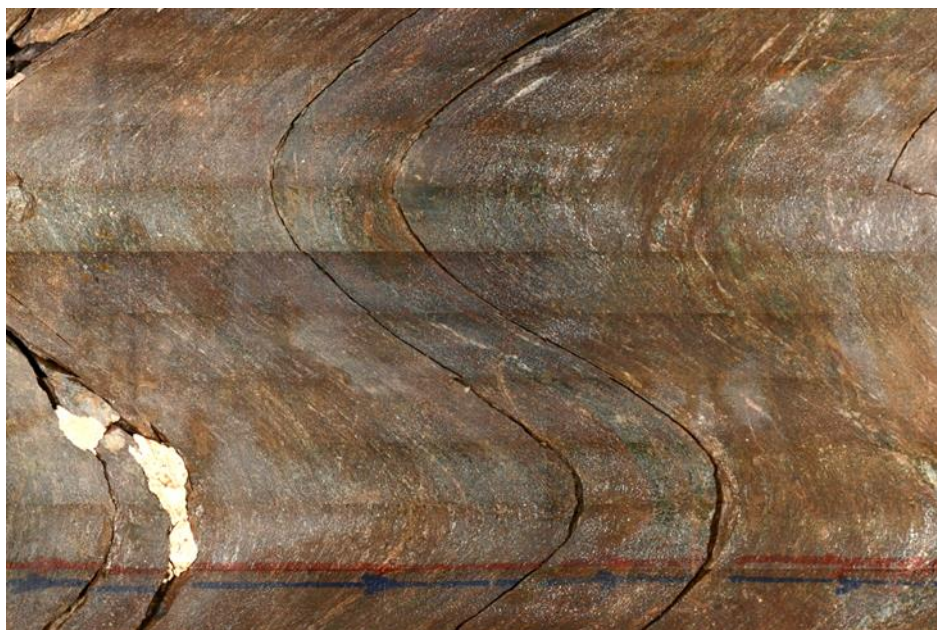
A kőzet szerkezetét kvarc- és csillámsávok, alárendelten a földpátsávok váltakozása jelöli ki, gránát-, staurolit-, ritkábban turmalin-porfiroblasztokkal. Ez utóbbiak közül néhány szinkinematikus, de vannak egyértelműen posztkinematikus porfiroblasztok is, többnyire turmalin, néhány esetben staurolit.



103. ábra Gránátzárványt magába foglaló reliktkyanit a staurolitos csillámpalában

PAET-26/545,84–545,95 m 10x obj., 1N (hosszú él 2,4 mm).

Habár a csillámpala mindkét fúrás egészében hasonló megjelenésű, mégis vannak benne eltérések. A PAET-34 jelű fúrás metamorfítjai finomabb szemcseméretűek, az elsődleges jelleget kevésbé látni, a kőzet tektonizáltsága és bontottsága erősebb, mint a PAET-26 jelű fúrásban. A kőzetalkotó ásványokban is vannak különbségek: a PAET-34 jelű fúrás maganyagára a zöld biotit, az alumoszilikátok hiánya és kevesebb staurolit a jellemző. A fúrásban lefelé haladva azonban, hasonlóan a PAET-26 jelű fúráshoz, itt is megfigyelhető egy enyhe szemcseméret-növekedés, majd újból csökkenés. A 2. törészóna után megjelenik egy aprószemcsés meredekebb palásságot mutató csillámpala-változat (104. ábra), amely egykor szintén magasabb földpáttartalommal rendelkezhetett, még ha mostanra nem is maradt a földpátból más, mint szericites pszeudomorfózák.



104. ábra Meredeken palás, finomszemcsés csillámpala

PAET-34/1864,55 m, magszkennelt kép

Vetők, repedések és törésvonalak környékén hematitos, kloritos, szericites bontás figyelhető meg. Míg a PAET-26 jelű fúrásban a staurolitos csillámpala a legbontottabb, az összetöredezett metamorfit kloritosodott, a staurolit környéke limonitosodott, addig a PAET-34 jelű fúrás kőzeteit mindenütt átítatta a hematitos-limonitos átalakulás, repedések, törések mentén kloritosodás és szericitesedés észlelhető.

A csillámpalaösszlet protolitja egy Al-ban gazdag, alapvetően agyagos, vékony homokos betelepüléseket tartalmazó üledékes sorozat lehetett. A megfűrt szakaszokon meszes betelepülések nem találhatóak, csak finom vagy apró szemcseméretű leukokrata vagy sötét „kvarcitok” (finomszemcsés csillámpala), 77%-nál is magasabb SiO₂-tartalommal, melyek homokos betelepülések metamorfózisával képződtek. Ezekből legalább kettőnek (PAET-26/508,63–508,83 és 539,69–540,55 méterközökből) torlat lehetett a protolitja, mivel számos akcesszóriát tartalmaznak: staurolitot, gránátot, cirkont, monacitot, rutilt, ritkán apatitot, nagyon ritkán xenotimot, valamint későbbi szulfidhiteket (pirit). A PAET-34 jelű fúrás alján jelentkező finomszemcsés csillámpala protolitja pedig arkózásabb üledék lehetett. Az üledékes összlet metamorfózisa több metamorf esemény vagy egy metamorf esemény több fázisának szuperpozíciójaként értelmezhető.

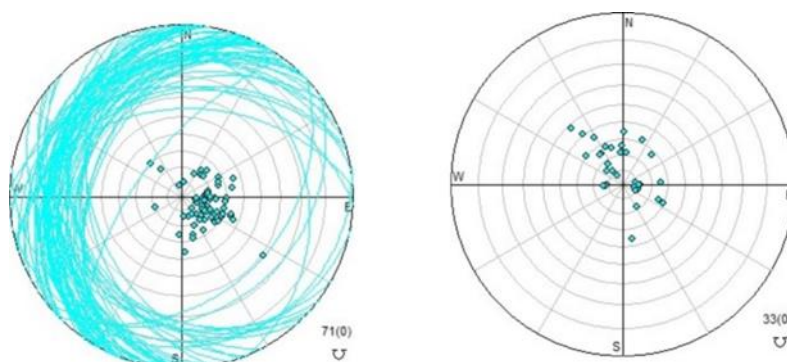
A kristályos kőzetek deformációja

Képlékeny deformáció

A PAET-26 és PAET-34 maganyagán eltérő deformációs jelenségeket lehetett észlelni. A sokkal üdébb megjelenésű PAET-26 fúrás magjain több képlékeny deformációs fázis volt detektálható, uralkodóan izoklinális gyűrődéssel, viszont jelentős nyírásos elmozdulás nélkül. Ezzel szemben a PAET-34 fúrás maganyagán az izoklinális gyűrődés kevésbé volt jellemző, ugyanakkor a kőzeten jelentős képlékeny nyírás hagyott nyomot.

Közethatárok: A csillámpala különböző kőzetváltozatait határoló síkok legtöbbször a durvább szemcsés, sötétebb szürke csillámpala és a finomszemcsés, leukokrata csillámpala

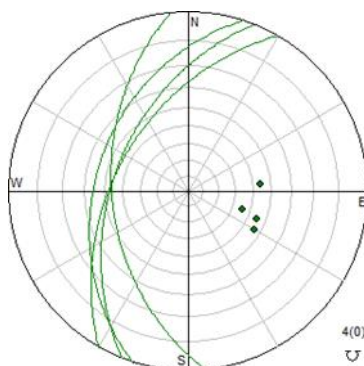
között húzódnak. Ezek a síkok a PAET-26 fúrásban $292/20^\circ$ -os átlagdőléssel jellemezhetők, a PAET-34 fúrásban pedig többségük DK-re és ÉNy-ra dől és $20\text{-}30^\circ$ -os átlagos dőlésszöggel. A közethatárok eloszlását nagy valószínűséggel a D1/2 (lásd később) deformáció szabja meg (105. ábra).



105. ábra A közethatárok dőléseloszlásának sztereogramja a PAET-26 (balra) és PAET-34 (jobbra) fúrásban.

Feltételezhető elsődleges deformáció – D1/1: Ez a deformáció csak a PAET-26 fúrásban volt észlelhető. A maganyag szerkezetét egy alapvetően nagyon erős deformáció határozza meg (D1/2), ennek ellenére sikerült néhány olyan jelenséget detektálni, ami feltehetően ehhez a deformációs fázishoz köthető (106. ábra).

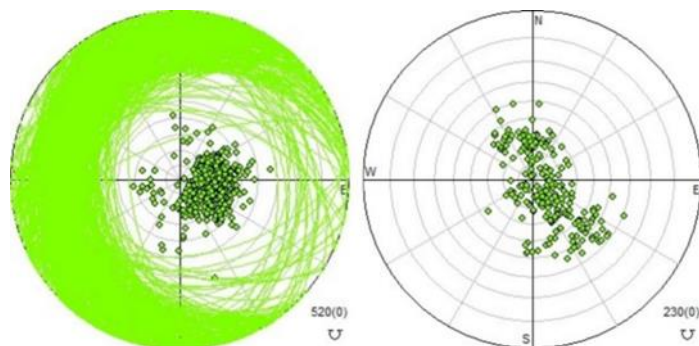
A D1/1 deformációt közepes meredekségű palássági síkok ($40\text{-}60^\circ$) alkotják (106. ábra). Ezeket a síkokat a lapos dőlésszögű D1/2 deformáció síkjai metszik vagy deformálják. A kétféle dőlésű síkok között nyírásra, elmozdulásra utaló jelek nincsenek.



106. ábra A D1/1 irányítottság azokon a helyeken, ahol D1/2 metszi azt. PAET-26 fúrás.

Izoklinális gyűrődés – D1/2: Az egész csillámpalaösszlet — nem teljesen egyforma erősséggel ugyan, de — nagymértékű deformációt szenvedett. Ez párhuzamos, sűrű, általában néhány milliméteres sávokból álló irányított szövetben nyilvánul meg. A sávok ásványtanilag elkülönült összetételűek és közettani értelemben palásságnak tekinthetők. A két fúrás esetében ennek a deformációs fázisnak a megjelenése eltérő. A PAET-26 fúrásban gyakori a magok mérettartományába eső izoklinális gyűrődés. Itt az irányított sávok tulajdonképpen szorosan egymáshoz lapított, izoklinális gyűrődések szárnyai. A PAET-34 fúrás esetében ez ritka. Bár a deformáció mértéke a PAET-34 fúrásban is erős. A palásság szövetében gyakran található nyírásjelző szerkezet, sőt a különböző dőlésű palássági szakaszok válthatják egymást akár néhány centiméterenként is. Ezeknek a palássági doméneknek a határa vagy láthatóan töréses, vagy képlékeny nyírásos.

A fő redőződést a PAET-26 fúrásban néhol parazitaredők, illetve kevésbé deformált, nem teljesen zárt redők kísérik. Az izoklinális redőződés szárnyainak illetve a palásság dőléseloszlása (107. ábra) meglehetősen koncentrált képet mutat, a PAET-26 fúrásban egy maximumhellyel adható meg: $280/22^\circ$. A PAET-34 fúrásban a síkok eloszlása egy sávba rendeződik. A legtöbb sík ÉNy felé dől, a második azimut-maximum DDK-i. Alárendelten előfordulnak DNy és ÉK felé dőlő síkok is. A dőlésszög eloszlásában a legtöbb sík lapos, $0-30^\circ$ -os, a második maximumhely csak az ÉNy felé dőlő síkokat jellemzi, ennek dőlésszög tartománya $40-60^\circ$.

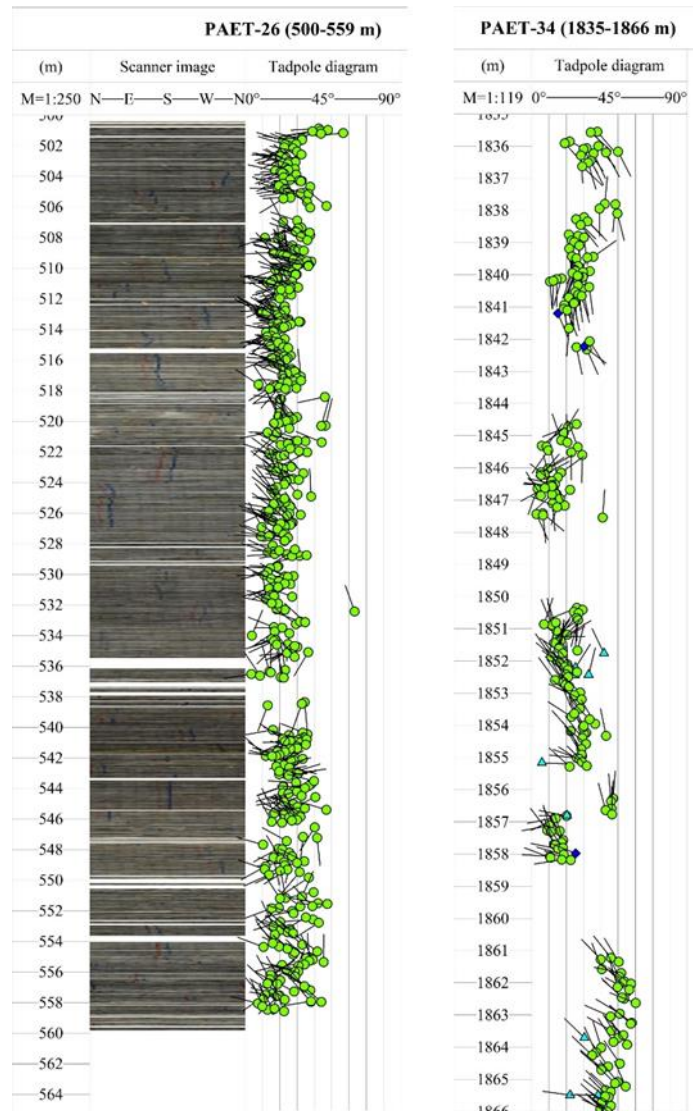


107. ábra Az izoklinális redőzárnyak, illetve a palásság sztereogramja a PAET-26 (balra) és a PAET-34 (jobbra) fúrásban.

Az izoklinális redőződés szárnyainak, illetve a palásság orientált adatainak mélység szerinti eloszlásán (108. ábra) árnyaltabb kép rajzolódik ki.

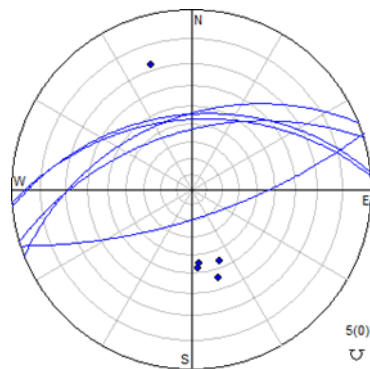
Izoklinális gyűrődés – D1/3: A PAET-26 fúrásban néhány helyen látható, hogy a palássági síkok két különböző hullámot is vetnek, tehát két különböző redőzárny szerint gyűrődtek. Kézenfekvő magyarázat lehet, hogy az irányított szövetben lokális parazitaredők jelennek meg vagy a deformáció lokálisan ingadozik. Nem zárható ki viszont egy zónák mentén fellépő valós deformációs felülbélyegzés sem. Eloszlásuk KÉK–NyDNy-i csapású $50-70^\circ$ dőlésszögű síkokból tevődik össze.

Nyírásos palásság – D1/4: Megkülönböztethető egy feltehetően egyszerű nyírás hatására létrejött, a D1/2 palásságtól dőlésében elkülöníthető, szigmoidális deformációs halakkal jellemezhető nyírásos eredetű palásságot. A jelenség a PAET-34 fúrásban észlelhető, feltehetően egy lokális képlékeny nyírózóna jelenlétének köszönhető. A nyírásos palásság a szigmoidokban megjelenő egyes palássági domének duplex szerű egymásra halmozódását mutatja. Feltehető, hogy a kőzet már palás volt, amikor erre szuperponálódott ez a deformáció. Valószínű, hogy időben egymáshoz közeli, de megkülönböztethető idejű deformációval van dolgunk. A nyírás fő deformációs síkja lapos vagy vízszinteshez közeli, tehát feltehetően egy takarós áttolódáshoz kapcsolódik. A segítő síkok kissé meredekebbek, de azok sem érik el a közepes dőlésszögtartományt. Azimutjuk Ny-i és ÉNy-i (108. ábra).

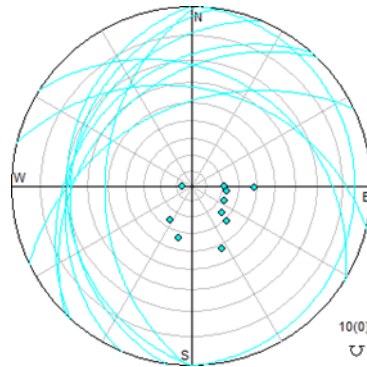


108. ábra Az izoklinális redőződés szárnyainak, illetve a palásság orientált adatainak mélység szerinti eloszlása

Az izoklinális redőzsárnyak orientált adatainak mélység-eloszlása tad-pole diagramon a PAET-26 fúrásban (balra). A palásság (zöld kör) és nyírásos palásság (világoskék háromszög) orientált síkjainak mélységeloszlása a PAET-34 fúrásban (jobbra).



109. ábra A D1/3 felülbélyegző deformáció sztereogramja a PAET-26 fúrásban



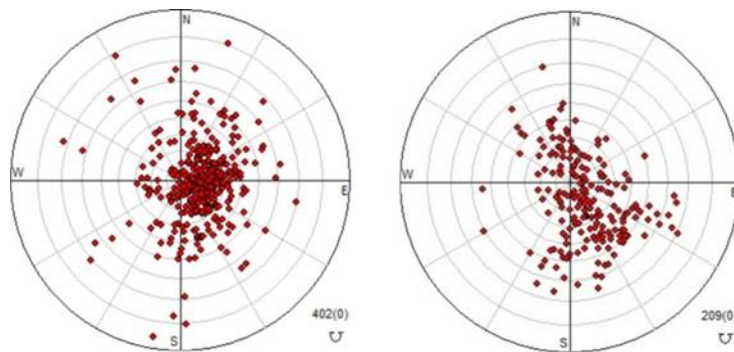
110. ábra A nyírásos palásság orientált adatainak sztereogramja

Nyírásjelző szerkezetek: A PAET-26 fúrásban viszonylag kevés nyírás- és nyírásirányjelző szerkezetet sikerült dokumentálni, szemben PAET-34 fúrással. Az aszimmetrikus szerkezetek (szigmoidális porfiroblaszt, csillámhal, S-C palásság) szintén jellemzőbbek a PAET-34 jelű fúrás csillámpalájában.

Töréses deformáció

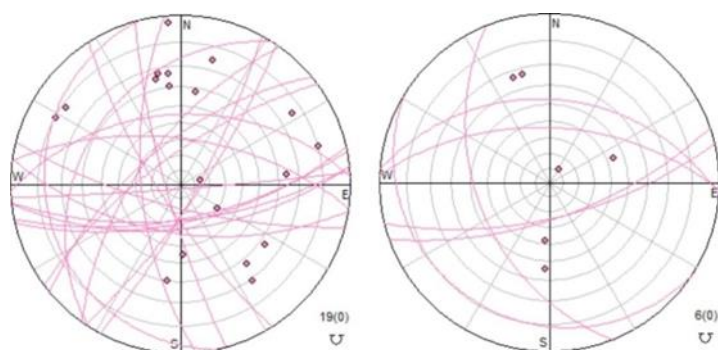
A töréses deformáció formaelemeit a szkennelt képeken aszerint kategorizálhatóak, hogy síkjuk mentén a mag eltört-e, egyben maradt-e, vagy látható elmozdulást mutat-e. Ezek szerint megkülönböztettek nyílt töréseket, zárt töréseket és vetőket. A törészónákat alapvetően a lyuktelevízió alapján volt lehetőség értékelni.

Nyílt törések: A nyílt törések általában ásványos kitöltés nélküli törések voltak. Többségükben a metamorf irányított szövet mentén jöttek létre (111. ábra). Emellett előfordul néhány nem a palássággal párhuzamos meredekebb törés is, amelyek 60-70°-osak. Ezek szórt eloszlást mutatnak, kis adatszámuk miatt szerkezeti rendszerbe nem sorolhatók.



111. ábra Nyílt törések sztereogramja a PAET-26 (balra) és a PAET-34(jobbra) fúrásban

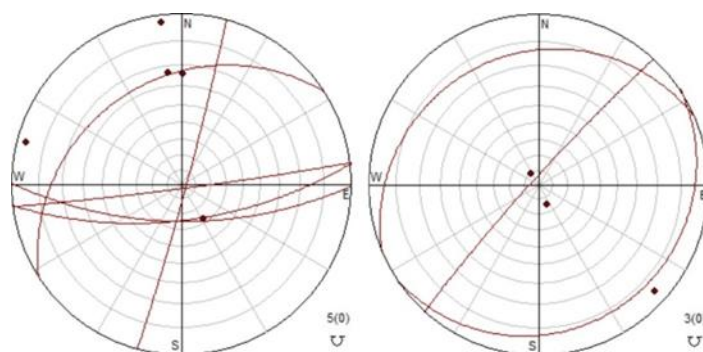
Zárt törések: A zárt törések mentén a kőzet egyben marad, ezek legtöbb esetben nagyon vékony ásványos kitöltéssel cementált törések, gyakoriságuk és összes adatuk száma is kevés. A kitöltések vastagsága általában tized mm-es, anyaga kvarc vagy hematit-limonit.



112. ábra Zárt törések sztereogramja a PAET-26 (balra) és a PAET-34(jobbra) fúrásban

Dőléseloszlásuk (112. ábra) több maximumhelyet tartalmaz. Nagyon kevés a metamorf irányított szövettel párhuzamos törés található. A törések nagy része közepes vagy meredek dőlésszögű. A rendszer K–Ny-i csapású meredek töréseket és ezzel két irányba mintegy 70°-os szöget bezáró ÉÉK–DDNy és ÉÉNy–DDK csapású töréseket tartalmaz.

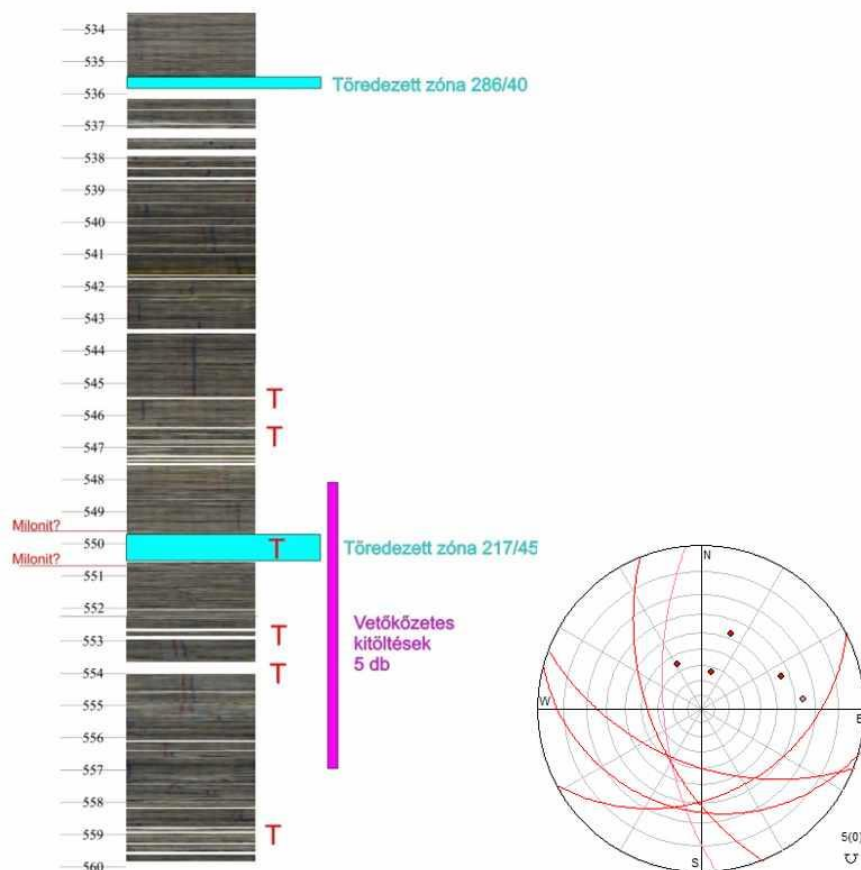
Vetők: Néhány centiméteres látszólagos elvetésű vetők is dokumentálhatók voltak (113. ábra). Ezek a legtöbb esetben meredek dőlésszögűek, döntően néhány milliméter vastag kitöltéseket is tartalmaznak. Eloszlásukban, megjelenésükben a zárt törések populációjához kapcsolhatók. A kitöltések kvarc, hematit-limonit és kőzettörmelék anyagúak. A vetősíkok leginkább egyenesek, nagyon enyhén hajladozók. Az elmozdulások értelme a legtöbb esetben látszólagos feltolódás.



113. ábra Vetők sztereogramja a PAET-26 (balra) és a PAET-34(jobbra) fúrásban

A PAET-34 fúrásban gyakran néhány centiméteren belül is több, a palássággal kis szöget bezáró hematitos repedés („begyógyult” törés) apróbb vetőkként működhetett, amely mentén kimozdult egységek a palássági síkokkal együtt a kereszttrétegzéshez hasonló szerkezetet mutatnak makroszkóposan. Ezek azonban nem tévesztendőek össze a nyírási palásság által határolt palássági egységekkel, amelyek ugyan hasonló vastagságúak, de határukon képlékeny deformáció figyelhető meg és nincsenek törések.

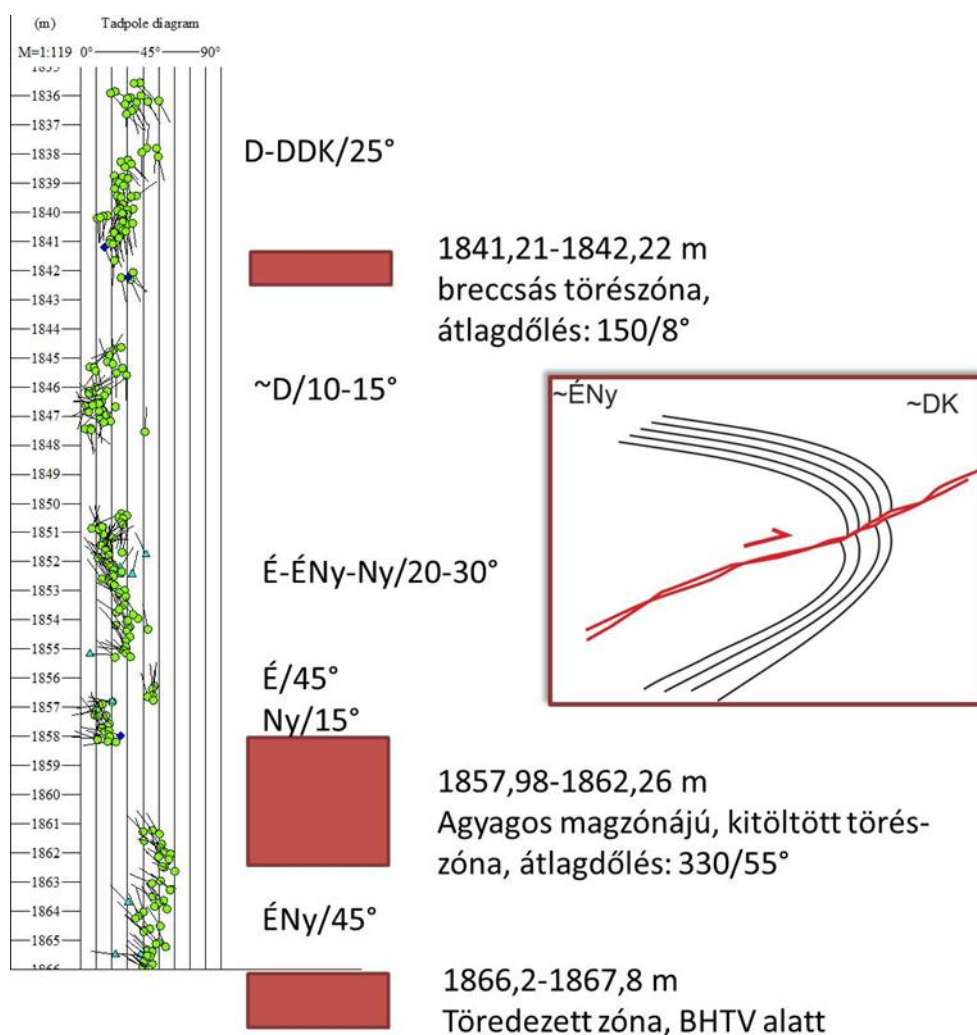
Törészónák: A PAET-26 fúrás metamorfítjában törészónát nem lett dokumentálva. A BHTV kép elemzésével és a tektonikai dokumentáció valamint magszkennelés felhasználásával készült a 114. ábra látható log. Két megviseltebb, töredezett zónát lehetett elkülöníteni: 535,5-535,8 m és 549,7-550,7 m. A vetőkőzetet tartalmazó kitöltések dőléseloszlását mutatja a 114. ábra a sztereogram. A földtani dokumentációval összevetve elmondható, hogy a leginkább megviselt szakaszt ásvány-kőzettani változások határozzák meg, ami befolyásolta a kőzet képlékeny deformációját majd a töréses deformációt is.



114. ábra PAET-26 fúrásban törédezett szakaszok a tektonikai dokumentáció alapján

T, BHTV alapján kék színnel, vetőkőzetet tartalmazó törések helye és sztereogramja.

A PAET-34 fúrásban több agyagos vagy breccsás magzónájú törészóna volt (115. ábra). A törészónák dőlését a BHTV segítségével meghatározásra került. A felbreccsásodott részek klasztjai a csillámpala különböző szemcseméretű, összetételű és erősen átalakult darabjai. A palásság eloszlásával együtt szemlélve a törészónák eloszlását kimutatható egy ÉNy–DK-i szelvényben fekvő redő, amelynek a csukló zónájában található a legnagyobb törészóna (115. ábra). E mentén vetőkarc alapján feltolódásos elmozdulás valószínűsíthető. Ebből több minta is K/Ar kormeghatározásra került.



115. ábra Törészónák a PAET-34 fúrásban és vetőkőzetet tartalmazó törések sztereogramja

Kormeghatározás

A metamorf aljzatot ért fúrásokból kétféle céllal készültek kormeghatározások: a kőzet metamorfózisának, illetve a metamorf kőzetet ért töréses tektonika korának meghatározására.

A kőzet metamorfózisának kora

Gránát, staurolit Sm/Nd-, muszkovit, biotit K/Ar-, biotit Rb/Sr-korának meghatározása során a metamorfózis egyes fázisainak, a polimetamorfózis létének, ill. a kőzet hüléstörténetének megismerése volt a cél, különös tekintettel az alpi metamorf felülbélyegzésre. A kormeghatározást ásványkémia alapozta meg, főelem ill. nyomelem vizsgálatok készültek elektron-mikroszondával ill. LA-ICP-MS-sel.

A két, kormeghatározásra szánt minta (G-37332, G-37517) közötti petrográfiai és ásványkémiai különbségek – elsősorban a gránát változékonyabb fő- és nyomelem-összetétele – ellenére a PAET-26 jelű fúrás üde csillámpalájának képződési kora teljes kőzetből, ill. gránát, staurolit, muszkovit és biotit (csak K/Ar) ásványszeparátumokból 334,87 millió évesnek (73. táblázat) adódott. Ezzel megegyező 334,4±5,3 millió éves kort mutat a mind a 8 (2 teljes kőzet, 4 gránát 2 staurolit) Sm/Nd arányra illesztett isochron, ami a variszkuszi metamorf esemény csúcsát jelenti. A ~600°C-on záródó gránát, staurolit és a ~350°C-on

záródó muszkovit azonos kora nagyon gyors hűlésre utal, de ezt követően nem érte őket metamorf felülbélyegzés. Az alacsonyabb záródási hőmérsékletű (~300°C) biotit (koradatok 333,63–267,00 Ma – 2. táblázat) azonban ennél fiatalabb hatásokat is jelez. Ezek feltehetően keverékkorok, amelyet esetleg egy permotriász felfűtés, vagy a Mecsekalja-zónából ismert késő variszkuszi milonitosodás eredményezhetett, de ennél akár fiatalabb események (alpi?) is megbolygathatták a biotit izotópegyensúlyát. Ez a felülbélyegzés azonban a kissé magasabb záródási hőmérséklettel rendelkező muszkovitot már nem érintette.

73. táblázat Ásványszeparátumokon mért korok a metamorf aljzattól

Mecsekérc azonosító	Fúrás PAET	mélység	kőzetnév	sz.méret (mm)	Sm/Nd (wr, grt1, grt2, st)	Sm/Nd (grt1, grt2, st)	K/Ar (ms)	K/Ar (bi)	Sr/Rb (wr, bi)
G-37332	26	548.88	óriás st cspala	0,2-0,3	338±12	339.8±4.6	335.59±8.4	327.44±8.2	267±3
G-37517	26	557.3	grt cspala	0,2-0,3	334.4±5.3	334.2±4.9	335.64±8.4	333.63±8.2	292±3
G-42491	34	1835.85	grt kétcskala	0,125-0,25				178.33±5.4	
G-42493	34	1848.3	grt tart kétcskala	0,125-0,25				182.34±5.5	
G-42492	34	1864.7	aprósz kétcskala	0,125-0,25				130.71±4.7	

A gránátból kiemelkedően és kevésbé tiszta szeparátumok is készültek a gránátperem (zárványmentes fázis) és a perem–mag (zárványdús fázis) keverékének azonosítására, ezek külön-külön korolásának céljából. A kormeghatározás alapján megállapítható, hogy a kétféle gránátszeparátumból kapott korok nem térnek el egymástól, így a gránátképződés nem polimetamorf, nem mutatja a variszkuszi orogén különböző fázisait. Ezt a geokémiai vizsgálatok alátámasztják, sem fő- sem nyomelemben nem sikerült két, magra és peremre elkülönülő összetételt dokumentálni, bár ennek az is lehet az oka, hogy a mag átalakult vagy zárványdús volt, így nem került bele a gránátszeparátumba.

A PAET-34 jelű fúrás csillámpalájából szeparált zöld biotit K/Ar koradatai ennél sokkal bonyolultabb képet festenek. A 178–182 millió éves (toarci) korok, valamint a kora-kréta 131 millió éves kora feltehetően a PAET-26 jelű fúrás biotitjaihoz hasonlóan szintén keverékkorokból származnak, amit a 3 minta K/Ar-korában jelentkező mintegy 50 millió év különbség is alátámaszt. Az alpi felülbélyegzés metamorf foka feltehetően nem érte el a biotitképződés alsó határát. Azt a munkahipotézist, miszerint a zöld biotit képződése a PAET-34 fúrásban jellemző nyírásos palássághoz kötődik, a kapott korok nem cáfolják, de fiatalabbak a régióban ismert képlékeny deformációs eseményeknél. Ezért ebben az esetben közvetett módon tetten érhető egy esetleges alpi felülbélyegzés, ami a korokat fiatalítja. Amennyiben viszont a kapott korok nem keverékkorok, akkor összevetve a Mórággyi Gránit vizsgálata során kapott törészónakorokkal [210], fölmerül egy másik lehetőség is, miszerint a PAET-34 fúrás képlékeny nyírásos biotitja ugyanakkor, de mélyebb kéreghelyzetben képződött, mint a gránit törészónáinak illitje.

Törészónák kora

A metamorfózisnál fiatalabb, töréses tektonika korának meghatározásához a PAET-34 jelű fúrás TZ2 törészónájának vetőagyagjai lettek megmintázva azzal a munkahipotézissel [210], hogy a deformációval egyidejű fluidumáramlás miatt a zónákban autigén módon

keletkező illit K/Ar kora jellemző a deformáció korára. A fő problémát az illit elválasztása jelentette a muszkovittól, amit teljes mértékben nem sikerült megoldani, így a kapott eredmények értelmezésénél figyelembe kell venni, hogy kevert muszkovit- és illit-korokat adtak.

74. táblázat K/Ar-korok és illit muszkovit mennyiségek a korolásra leválasztott mintákban

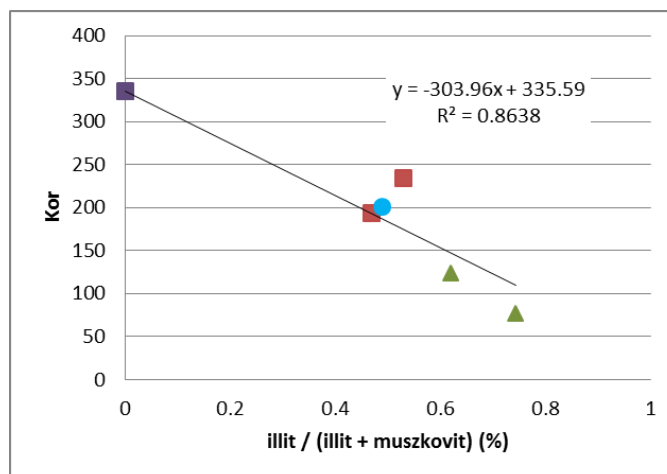
Mecsekérc azonosító	mélység	frakció (µm)	ásv	K (%)	K/Ar kor (millió év)	Hiba (+/- millió év)	ill %	ms %	XR D ill+ ms %	Kübler index
G-39190	1856.1	1-2	illit	5.33 1	235.1	5.8	36	32	68	0.42
G-39193	1856.1	0.45-1	illit	4.98 7	194.1	4.8	29	33	62	0.46
G-39191	1857.1	1-2	illit	5.31 3	122.9	3.1	44	27	71	0.57
G-39192	1857.1	0.45-1	illit	5.82 3	76.7	2.0	61	21	82	0.89
G-39194	1857.32	0.45-2	illit	7.50 3	201.5	5.0	46	48	94	0.43
G-37517	557.3	200-300	ms	7.12 7	335.64	8.4				
G-37332	548.88	200-300	ms	7.27 8	335.59	8.4				

A kapott K/Ar korokat és a minták illit- és muszkovittartalmát a 74. táblázat tartalmazza. Az illit-muszkovit kevert K/Ar-korok 235,1 és 76,7 millió éves korokat adtak, ami tág intervallumot ölel fel, de ezek részben megfelelnek a törészonákból eddig dokumentált illit koroknak [33] [210] [170]. Mivel azonban muszkovit a leválasztott szeparátumokban is magas részarányban jelentkezik, a koradatok nagy bizonytalansággal kezelendők.

Az értelmezés szempontjából két lehetőség van: (A) a mezozoos korok elfogadása, vagy (B) a muszkovit öregbítő hatásának elfogadása, majd ennek a hatásnak a kivonása a kevert korokból.

A/ A mezozoos korok mellett szólnak a már eddig is ismert magyarországi törészonákból mért koradatok, melyek triász – alsó jura, ill. alsó kréta korokat adtak, részben egyezve a kapott eredményekkel. A petrográfiai vizsgálatok alapján a törészónák környezetében erőteljes szericitesedés jelentkezik, ami felveti egy, a kőzetben lévő metamorf muszkovitnál fiatalabb szericitgeneráció jelenlétét is, tovább bonyolítva a különböző korú K-tartalmú fázisok keveredést. Ha a leválasztott mintákban a muszkovit mind szericit, akkor fiatalabb 335 millió évnél, sőt a törészónával egyidejű is lehet. Ez utóbbi esetben a kapott K/Ar-korok megállják a helyüket és valós kort mutathatnak. Ekkor a törészóna mezozoos, bár a különbséget az egyes korok között még így is nehéz megindokolni.

B/ A másik lehetőség, hogy a muszkovit metamorf kőzetből származó ásványfragmentum, amelynek ismert a kora (74. táblázat): 335,59 Ma (átlag). Ebben az esetben a röntgendiffrakció (XRD), a termikus analízis (TA) és a leválasztott frakció K₂O-tartalma alapján megállapított, illit + muszkovitra számolt illittartalom – ha más zavaró tényező nincs a rendszerben – korrelál a kapott K/Ar korokkal. A korrelációt a 116. ábra szemlélteti.



116. ábra A PAET-34 jelű fúrás 2. törészóna korának meghatározása illitből, K/Ar módszerrel. lila: G-37517 és G-37332 mintákból szeparált muszkovit K/Ar kora

Piros: G-39190 és G-39193 minták illit K/Ar kora, zöld: G-39191 és G-39192 minták illit K/Ar kora, kék: G-39194 minta illitjének K/Ar-kora.

Ez alapján kiszámítható, hogy milyen korokat kapnánk, ha kizárólag illit lenne a mintában. A 2. törészóna 3 helyéről vett, különböző frakcióban leválasztott 5 mintából együttesen ez a számított kor 31,62 millió év, azaz paleogén (oligocén), ami a B/ esetben a Közép-magyarországi zónában dokumentált paleogén szerkezeti eseménnyel [56] [253] vagy dinári hatással hozható kapcsolatba.

3.1.1.1.2 A mezozoos képződmények ismertetése

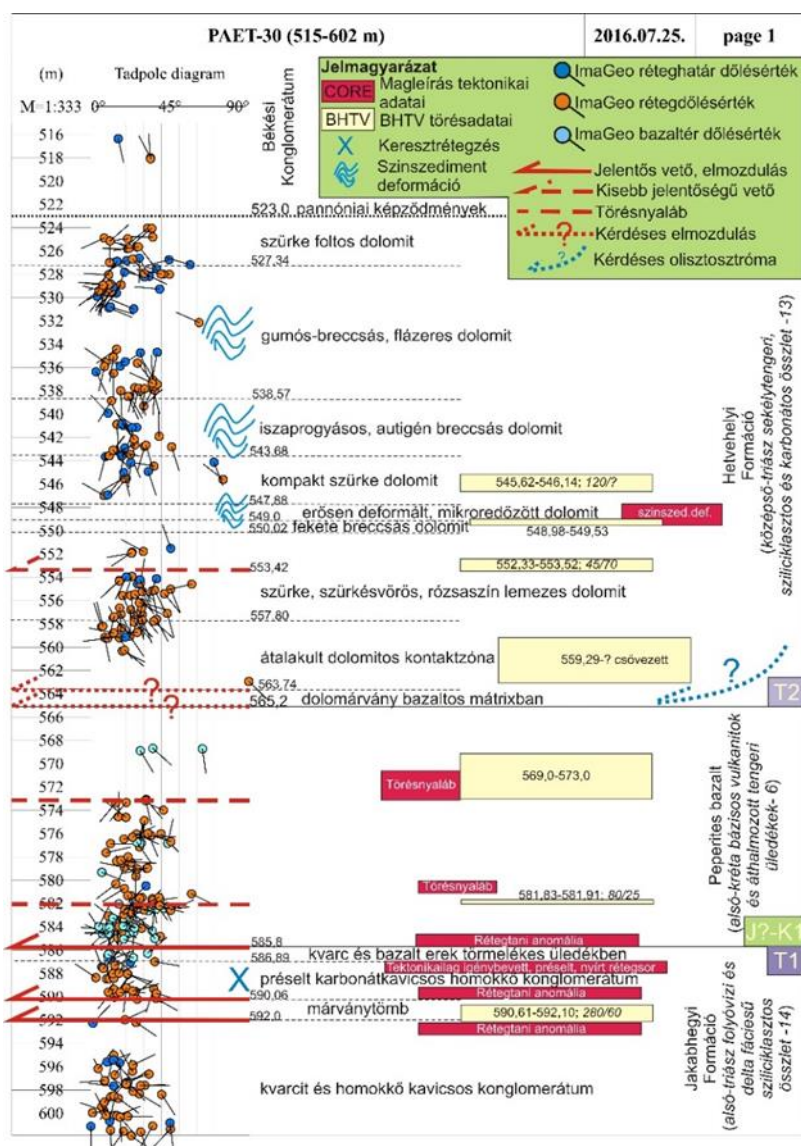
Az FKP során mélyült fúrások közül a PAET-27 és a PAET-30 fúrás tárt fel mezozoos képződményeket. Rétegtani besorolásuk bizonytalan, mivel a képződmények mindegyike eltérő litológiájú a Mecsekben felszínről, illetve fúrásból ismert formációktól, és megbízható koradatok sem állnak belőlük rendelkezésre. A rétegsor dőlés és szerkezeti adatai az ImaGeo® műszerrel szkennelt fúrómagfotók szerkezetelemzésével keletkeztek. A mezozoos rétegsort ért posztdiagenetikus töréseket, a rétegsor leírása során felvett nyírási és törési zónák, és a BHTV felvételeinek elemzése alapján azonosították. A képződmények besorolásánál a Magyarország prekainozoos aljzattérképén illetve annak magyarázójában szereplő kategóriákat alkalmazták. Az alábbiakban a képződmények rövid ismertetése következik, a rétegsorban fiatalodó sorrendben.

Alsó-triász folyóvízi és delta fáciesű sziliciklasztos képződmények

A Mecseki-egység alsó-triász folyóvízi sorozatába feltételesen sorolható rétegsort a PAET-30 fúrás tárta fel 586,69–601,33 m között, és abban is állt le (117. ábra).

A rétegsor felső szakaszát (586,69–590,6 m között) vörös, vályúsan keresztarétegzett, finomszemcsés homokkő építi fel, amelyben 20-30 cm vastag konglomerátum rétegek települnek (118. ábra). A mátrixvázú konglomerátum préselt és megnyúlt kavicsainak mérete eléri a 10 cm-t is, anyaguk túlnyomó részben karbonát. Ez a rétegsorozat kvarcerekkel és bazalt-injekciókkal átjárt finomszemű homokkőből álló kontakt zónával érintkezik a fölötte települő alsó-kréta bazalttal (585,8–586,69 m között). A képződmény vályús keresztarétegei 20-30°-os meredekséggel D-i és DK-i irányban dőlnek (117. ábra). A fenti rétegsorozat alatt következő kb. 2 m vastag sárgásszürke márványt, nagyméretű klasztként értelmezzük. Ez

alatt szürke–vörös–lilas tarka, durvaszemcsés, rosszul osztályozott, szemcsevázú konglomerátum következik egészen a fúrás talpáig (592–601,33 m között). A kavicsok nagy része (kb. 50 %) kisfokú metamorf finomtörmelékeny kőzet (apró- és nagycsillámos kvarcit, muszkovitit, fillit, szericitfillit, grafitfillit, metahomokkő, metaaleurolit). Viszonylag sok (típusonként kb. 15-17 %) a grafitos aleurolit és agyagkő, valamint a kvarcit. Nem metamorf homokkő és aleurolit is előfordul (kb. 15 %). Ezeken kívül előfordul még nagyméretű radioláriás metaagyagkő. A rétegsor felső szakaszára jellemző karbonát kavicsok itt nem jelennek meg (ugyanakkor a felső részből az itt leírt anyagú kavicsok hiányoznak). A kavicsok szemcsemérete eléri a 20 cm-t is. A mátrixot durvaszemű homok alkotja. A szemcsék közepesen koptatottak. A rétegsort kovával cementált. Gyakoriak benne a fehér és sárgásfehér kvarc-erek, amelyek sűrűn hálózják be a kőzetet, többségük a rétegződést követve zárt törésrendszert alkot (118. ábra.), egy részük azonban ÉÉNy, illetve DDK felé meredeken dőlve, átszeli a rétegeket. Sziderit- és fluorit-erek alárendeltek.



117. ábra A PAET-30-as fúrás fontosabb kőzettani és rétegtani beosztása, valamint üledékföldtani és szerkezetelemzési összefoglalása

Az ImaGeo® magszkennerrel készült, rétegtani-, és bazalttelér-dőlésirány és dőlésszög adatokat tartalmazó tadpole diagramon.



118. ábra Keresztrétegzett finomszemcsés homokkő és konglomerátum

PAET-30 fúrás, 586,84–587,73 m között (szkennelt magfotó).

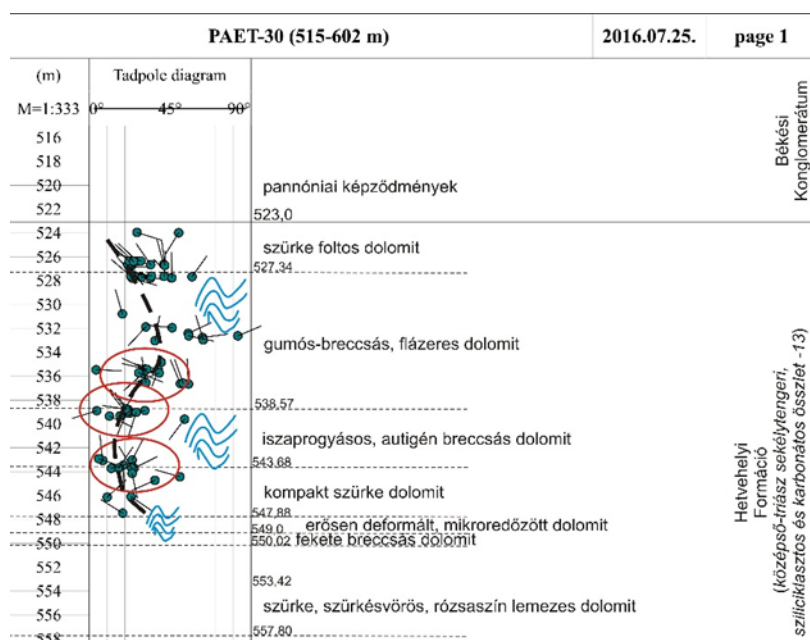
A képződményben erősen összetört zóna található a nagyméretű márványtömb szintjében (590,06–592 m között), valamint az alsó-triász rétegösszlet és az alsó-kréta bazaltos összlet érintkezésénél (585 m) (117. ábra). A BHTV felvétele alapján 590,61–592,1 m között 280/60° dőlésű vető található, amelyhez 581,83–581,99 m között egy 80/25° dőlésű vetődés csatlakozik. A kontaktus nagy valószínűséggel tektonikus, a kétféle törmelékből álló rétegcsoport tektonikus szeletekként értelmezhető. Az elmozdulás méretére jellemző, hogy innen az alsó-triász rétegsor nagy része és a középső-triász rétegsor is hiányzik.

Az ősmaradványokkal egyelőre nem igazolt korú képződmény besorolása a mecseki alsó-triász Jakabhegyi Formációba bizonytalan, részben az enyhén metamorf jelleg, részben a szemcsék összetételében mutatkozó eltérések miatt. A Mecsek környéki törmelékes kőzetekre jellemző a mezometamorf kőzetek és indexásványaik (csillámpala, gneisz, gránát, kianit, sztaurolit, sillimanit stb.), valamint a magmás kőzetek (gránit, riolit) jelenléte, amelyek közül az itt feltárt rétegsor törmelékanyagában semmi nem található meg.

Középső-triász sekélytengeri, sziliciklasztos és karbonátos összlet

A Mecseki-egység középső-triász sekélytengeri karbonátos rétegsorába sorolható képződményt a PAET-30 fúrás tárt fel 523–565,2 m között. A rétegsor felső szakaszát (523–540,91 m között) szürke és sötétszürke, gumós szerkezetű, egyes szintekben flázeresen rétegzett, agyagos dolomit alkotja (120. ábra). A NyDNy, illetve Ny felé 30°-ban dőlő rétegsorban, 45-50 fokban K-felé dőlő redőtengelysíkkal jellemezhető szinszediment csuszamlásos eredetű fekvő redő látható (119. ábra).

A fúrásban kb. 14 m szárnytávolságú redő több parazitaredőt (pl. 536 m; 539 m) tartalmaz. A félig plasztikus, vízzel telt üledék fő mozgása Ny felé történt, amit a rétegdőlések DDK-i irányától (rétegcsoport alsó része), Ny-i irányba való elfordulása is jelez (532–524 m között). A csuszamlásos folyamatoknak megfelelően a redőtengelysík a mozgásiránnyal ellentétes irányba dől. A fúrásban a redő inflexió tengelye környékén, és a redőtengelyhez közeli redőszárnyakon megjelenő széthúzásos szerkezetek okozzák a kőzet flázeres, gumós-breccsás szerkezetét. Az üledécsuszamlásos redő alatt (538,57–540,91 m között) jellemzőek az iszaprogysásos, vízkiszökéses üledékszerkezetek. Ez alatt (540,91–543,68 m között) a dolomitban üledékes breccsa betelepülések jelennek meg. A klasztok szövete kissé durvább kristályos a beágyazó mátrixéhoz képest, egy részük barnás színű és sósav hatására enyhén pezseg (sziderit). A rétegcsoport alsó szakaszát kompakt dolomit alkotja (543,68–547,88 m), ami alatt közvetlenül (547,88–549,0 m) félig plasztikus deformációs szerkezetek, üledécsúszásos eredetű, a rétegdőléssel közel párhuzamos redőtengelysíkú, 1-2 cm-es mikroredők láthatók.



119. ábra Nagyméretű csuszamlásos redőt és több parazita redőt formáló breccsa és gumó klasztok dőlésiránya és térbeli elrendeződése a középső-triász sziliciklasztos és karbonátos összetétel felső szakaszán, tadpole diagramrészleten

A fekete szaggatott vonal a klasztok dőlésirányának szisztematikus térbeli változását, a piros körök a kisebb parazitaredőket jelzik. A kék hullámvonalak középső-triász szinszediment deformációkat jeleznek.

Az erősen préselt, redőzött zóna, és a fölötte elhelyezkedő 4 m-nél vastagabb kompakt dolomit, illetve a zóna alatt található eltérő közettani minőségű rétegsor felveti a kompakt dolomit olisztolit eredetének lehetőségét is.



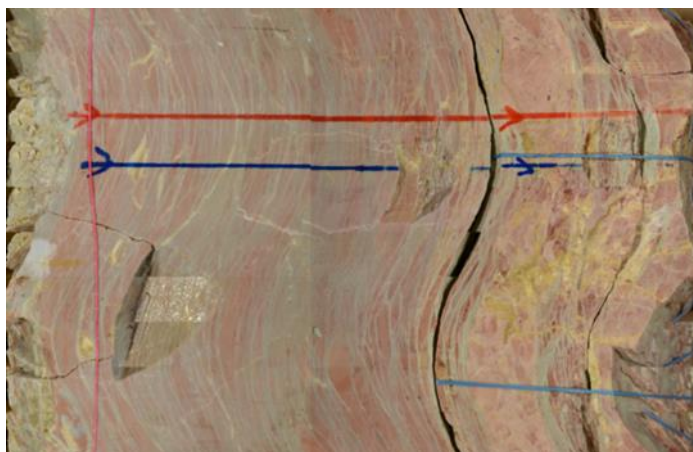
120. ábra Gumós–flázeres szerkezetű dolomit

PAET-30 fúrás, 528,83–529,71 m között (szkennelt magfotó).

A fenti rétegsoport alatt a korábbiaktól eltérő, üledékes eredetű mikropátitos, átkristályosodott dolomitbreccsa következik (549–550,02 m), 3-10 mm nagyságú fekete szögletes szemcsékkel, a rétegsoport alsó szakaszán a szemcsékhez hasonló anyagú, 2-3 cm vastagságú fekete réteggel.

A fenti dolomitbreccsa alatt vékonyréteges–lemezes dolomit települ (550,2–557,8 m). Felső szakasza szürke, alul halvány vörös árnyalatú, jól rétegzett, lemezes dolomit, egyes szintekben plasztoklasztos üledék-szerkezettel (121. ábra). A réteg alsó szakaszán egyre sűrűbben jelentkeznek dolomit erek, amelyek behálózzák a kőzetet. 557 m-nél sziderit-erek jelennek meg. A rétegsor jellemző dőlésiránya DK illetve DDK, dőlésszöge 25–30°, ami közel párhuzamos az alatta fekvő sziliciklasztos alsó-triász rétegsor dőlésirányával. A felső,

szürke szakaszon (552,9–553,42 m) a rétegzéssel párhuzamos nyírási szerkezeteket tartalmazó, szürke dolomitos zóna található, ami felveti a tektonikus érintkezés lehetőségét.

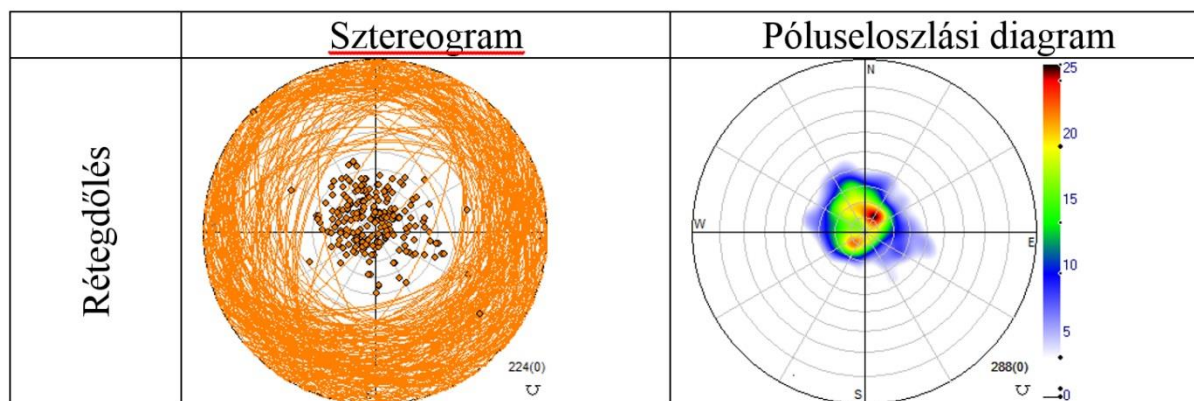


121. ábra Lemezes dolomit, plasztoklasztos üledékszerkezettel
PAET-30 fúrás, 555,19–555,47 m között (szkennelt magfotó).

A dolomit és az „alatta” lévő alsó-kréta bazalt érintkezési zónájának (557,8–563,74 m) eredeti kőzete a fenti vörösszürke lemezes dolomit, amelynek klasztjait a beinjektálódott hidrotermákból kivált telérek feszítették szét. A telérek anyaga kvarc és sziderit.

A réteg alsó fél méterén a dolomit elporlott, hidrotermás üregekkel átjárt. A réteg alsó szakaszát bazalttal körbevett fehér dolomárvány alkotja (563,74–565,2 m), amely éles, bizonytalanul tektonikus határral érintkezik az „alatta” lévő alsó-kréta bazalttal. Az átalakult kontakt zóna egyes dolomitos szakaszain felismerhető DK-i 20-30°-os rétegdőlés azonos a fölötte települő rózsaszínes vékonylemezes dolomitével, ami a rétegszakaszok egységességét és a bazaltbenyomulás peremét jelzi.

Az alsó és középső-triász formációk rétegdőlés adatai szórt azimut szerinti eloszlást, ugyanakkor többségében lapos dőlésszögeket mutatnak (122. ábra). Az eloszlás 5°-onként összegzett maximumkereséssel a 210/12° elsőrendű és a 45/10° másodrendű maximumhelyet adja. Tehát a képződmény dőlése változatos, ami jól igazodik a formációk fácieséhez, de a legtöbb sík laposan DNy felé dől.

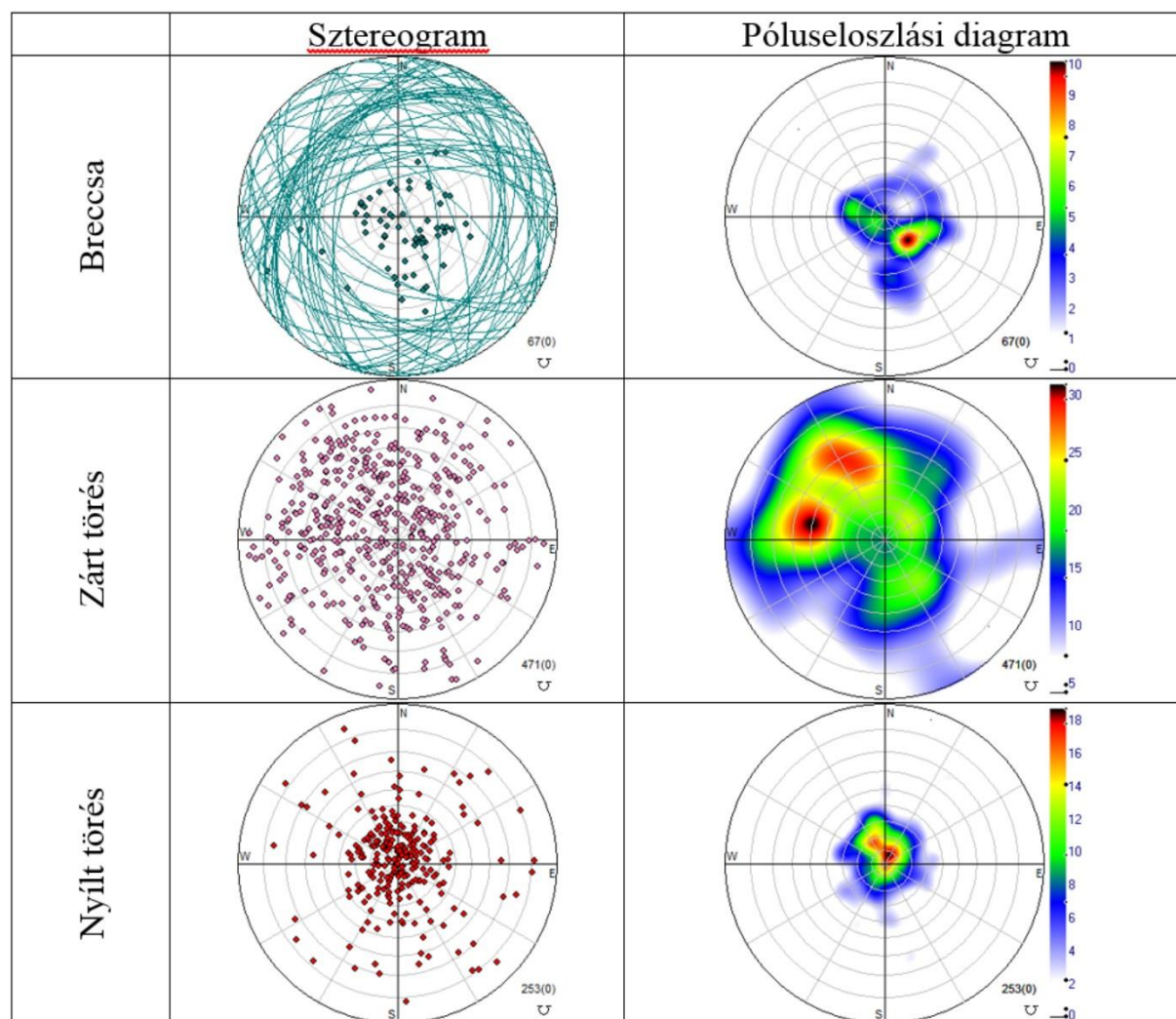


122. ábra Az alsó és középső-triász formációk rétegdőlés adatainak sztereogramja és pólussűrűségi diagramja

Az alsó és középső-triász képződményeket harántoló nyílt és zárt törések, ásványos kitöltések eloszlása és kitöltéseik anyagi minősége nem mutat korszpecifikus jellemzőket, középső triász utáni töréses eseményekhez köthetők.

A képződményekben előforduló breccsás szakaszok dőlése ÉNy-i, lapos (123. ábra, 315/22°), illetve erre az irányra közel merőleges. A dőlésszög hasonlóságából fakadóan a rétegzéssel rokonítható. Az ásványos kitöltésekkel rendelkező zárt törések (123. ábra) egy része lapos dőlésszögű, a rétegdőléshez közeli irányokkal jellemezhető, azokkal közel párhuzamosan jelennek meg. Más részük kvarc, sziderit és egyéb karbonát ásványokkal kitöltött, amelyek iránya eltér a rétegdőléstől, dőlésszögük meredek, (123. ábra). A főbb dőlés maximumok 105/50° és 140-185/40-70°. A középső-triász sekélytengeri, sziliciklasztos és karbonátos összlet jóval több lapos (10–20°) kvarcerezet tartalmaz, amelyek dőlésiránya a rétegdőléssel egyezik meg (117. ábra 124. ábra).

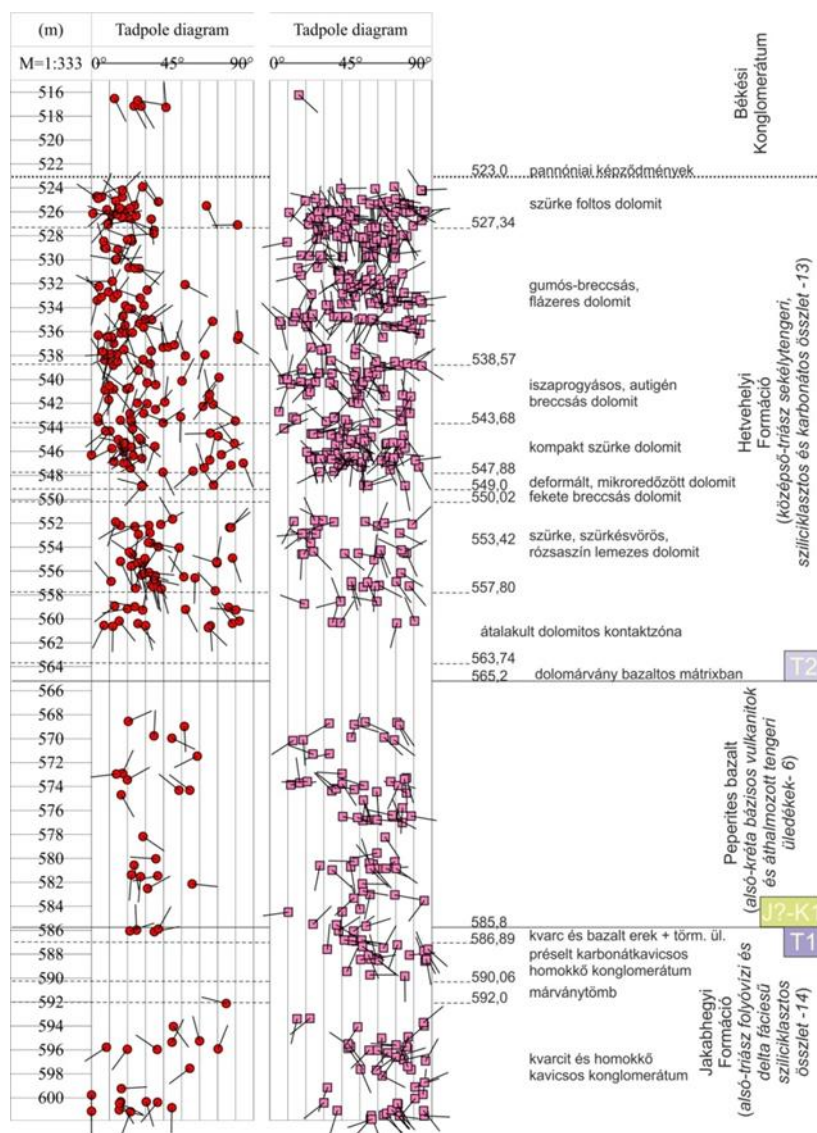
A nyílt törések eloszlása gyakorlatilag megegyezik a rétegzéssel, amiből az következik, hogy ezek többsége réteg menti felnyílás (123. ábra).



123. ábra A alsó- és középső-triász képződmények orientált töréses képződményeinek sztereografikus ábrázolása

A teljes triász szelvényen áthúzódó nyílt törések irányeloszlása a mélység szerint (124. ábra) kaotikus elrendezést mutat. Legsűrűbben a középső-triász sekélytengeri, sziliciklasztos

és karbonátos összeteben jelennek meg, ahol a rétegcsoport felső részén 10–30°-al ÉÉNy, vagy DDK, az alsó részen túlnyomó részt DK felé dőlnek. Ezekre a törésekre jellemző, hogy a mezozoos képződményekre települő pannóniai képződmények alsó rétegcsoportjában is megtalálhatók (124. ábra). A zárt, ásványos kitöltésekkel jellemezhető törések mennyisége szintén a középső-triász képződményekben nagyobb és azon belül is a mélységgel csökkenő tendenciát mutat. Az alsó-triász rétegsorban jellemzőbbek a közepesnél meredekebb dőlésszögű törési síkok.



124. ábra A teljes triász szelvényen áthúzódó nyílt törések irányeloszlása a mélység szerint

Inkább meredekebb zárt (lila négyzetek) és jórészt laposabb nyílt (vörös körök) törések dőlésadatai az ImaGeo magszkennerrel készült képek szerkezetelemzése alapján, valamint a rétegsor litológiája.

Alsó–középső-jura pelágikus, finom sziliciklasztos összetétel

A Mecseki-egység alsó-jura tengeri kifejlődésű, pelágikus medence fáciesű, finomszemcsés sziliciklaszt és karbonát összetételbe („foltosmárga”) sorolható képződményt a PAET-27 fúrás harántolta. A rétegsor felső határa eróziós – középső-miocén rétegsor települ rá 480,8 m-ben, alsó határa pedig tektonikus: alsó-miocén szárazföldi törmelékes összetétel érintkezik egy 827,5-839,2 m között húzódó tektonikai zónán keresztül. Az erősen tektonizált

rétegsor dőlése tág határok között változik, egyes szakaszokon közel függőleges. A rétegsort 710,8 m alatt kb. 38 m vastag, az oldalfalain 7-8 m vastag hófehér, nagykristályos kalcitos kiválású telér metszi át, amelynek középső részét feltehetően szintén alsó-miocénbe sorolható tufás homokkő-breccsa tölt ki.

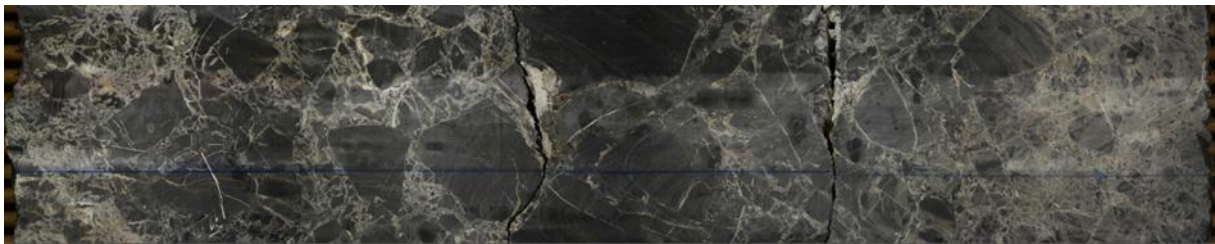
Az alsó-jura rétegsor alapkőzetét szürke, általában jól rétegzett, vékonyréteges, néhol lemezes elválású márga–mészmárga alkotja, jellemzően bioturbált üledékszerkezettel (125. ábra). A rétegsor részletező további vizsgálata során egyes kőzetszakaszok sztratigráfiai átminősítése lehetséges.



125. ábra Bioturbált mészmárga

PAET-27 fúrás, 575,82–576,67 m között (szkennelt magfotó).

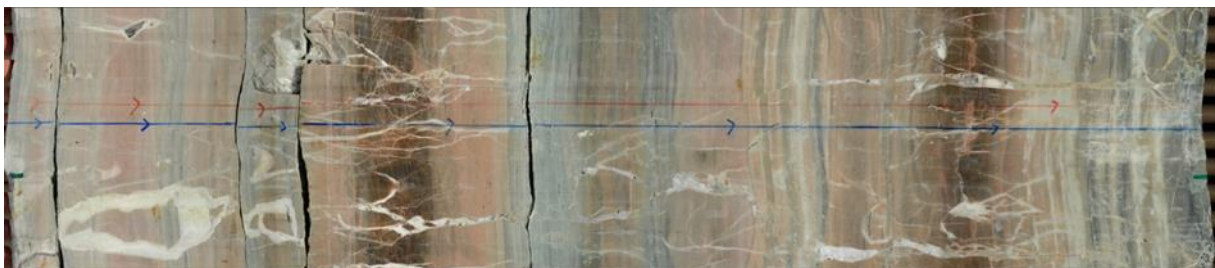
Az alapkőzet a fúrás által feltárt szelvény jelentős szakaszain breccsásodott, a breccsák között üledékes áthalmozás, injekciós hidraulikus breccsásodás és tektonikus breccsásodás egyaránt előfordul (126. ábra).



126. ábra Hidraulikusan breccsásodott sötétszürke márga

PAET-27 fúrás, 545,39–546,31 m között (szkennelt magfotó).

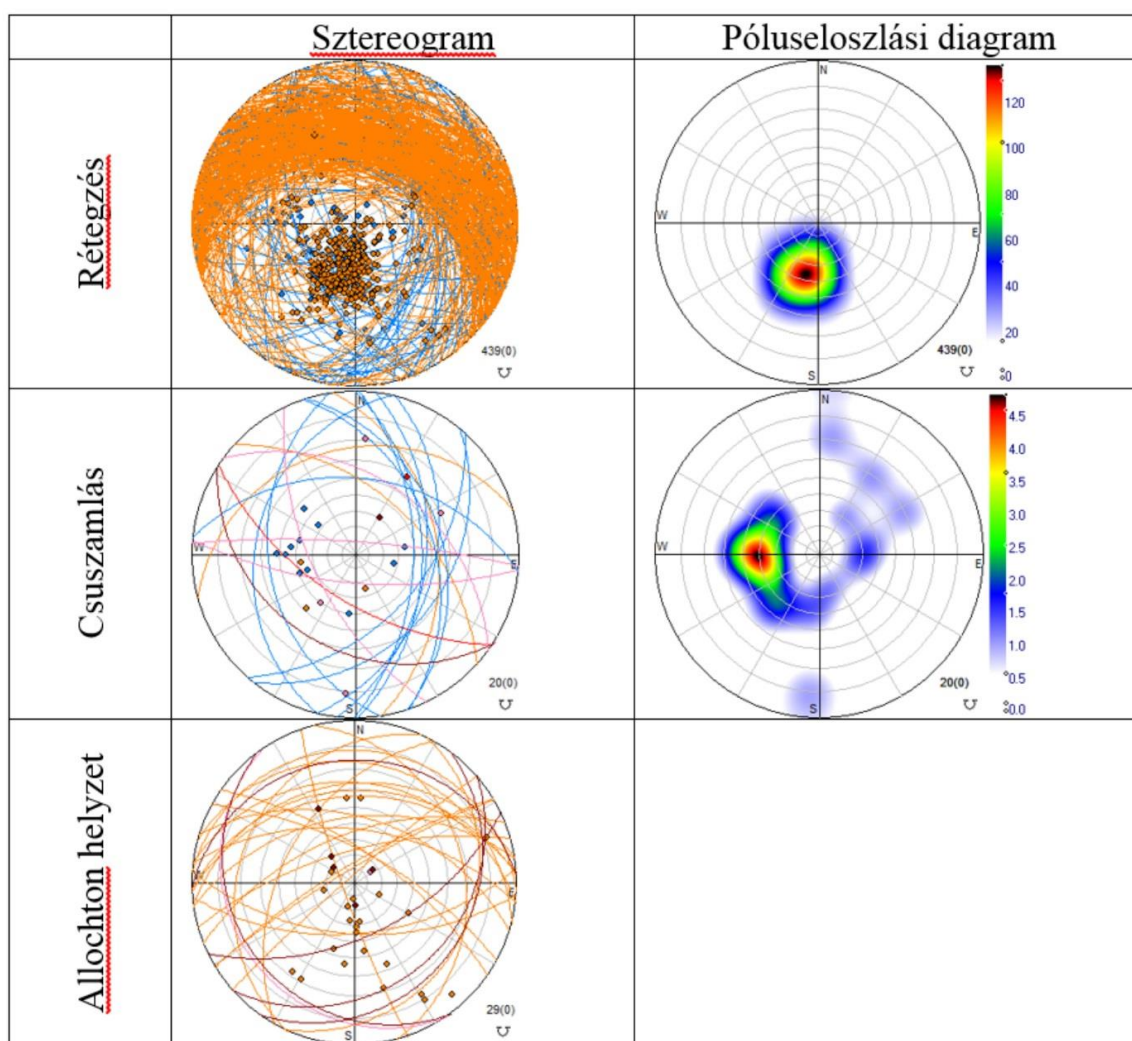
Az alsó-jura rétegsor alsó szakaszán vöröses színű mészmárga és mészkő jelenik meg (127. ábra), amelynek egyes szakaszain ugyancsak jellemző a breccsásodás.



127. ábra Jól rétegzett, lemezes szerkezetű, színes mészmárga

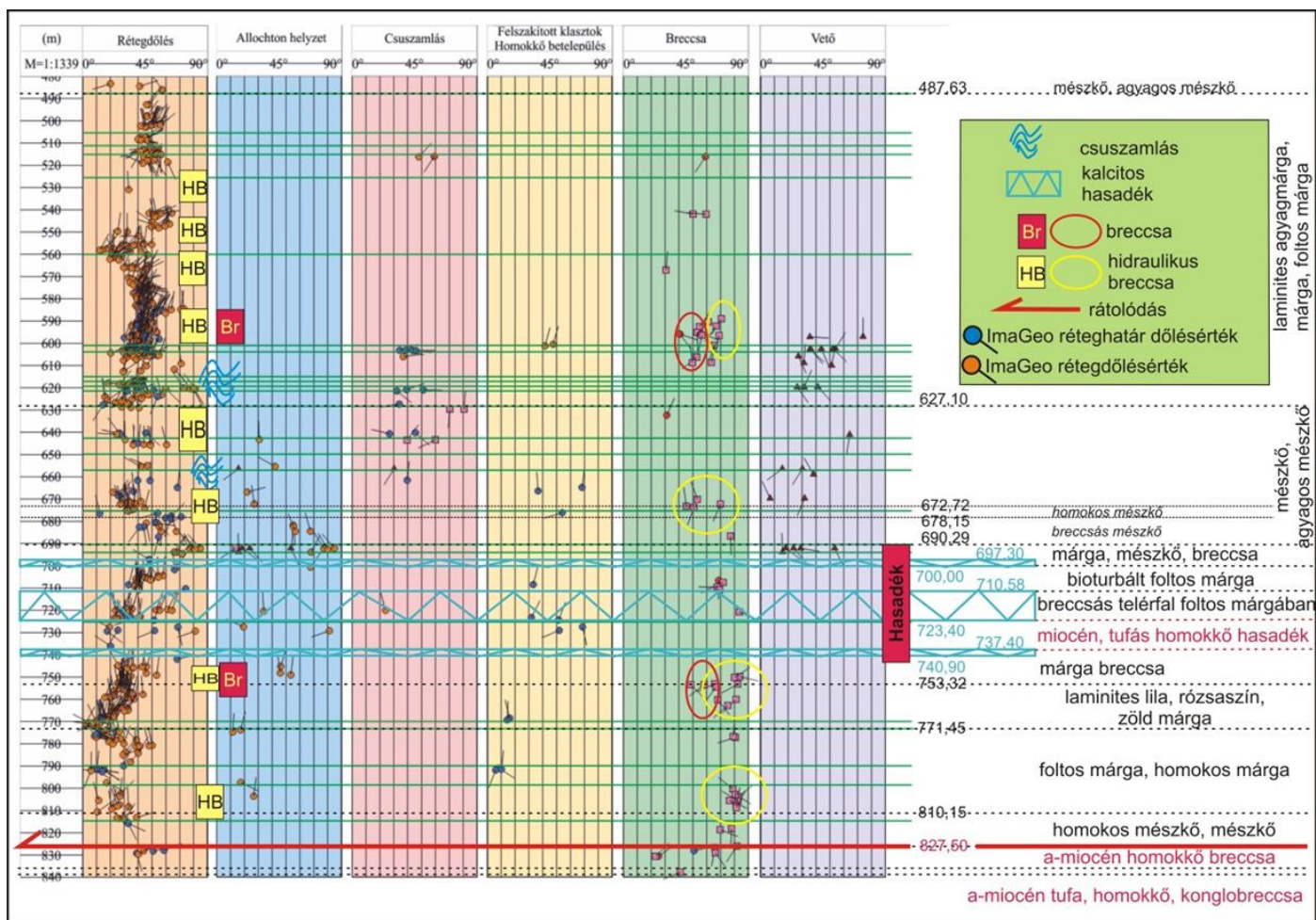
PAET-27 fúrás, 769,78–770,68 m között (szkennelt magfotó).

A képződmény rétegdőlés képe (128. ábra) és a dőlésadatok mélységi eloszlása (129. ábra), illetve a szkennelt képeken dokumentált csuszamlások és kibillent-kimozdult („allochton”) helyzetű tömbök jelenléte alapján a rétegsor részben az üledékképződés mozgalmassabb epizódjaiban és utólagos hidraulikus breccsásodás illetve tektonikus mozgások hatására keveredett. Lehetséges, hogy egyes tömbök olisztolitiként vannak jelen a rétegsorban. A sztereogram enyhén szórt rétegdőlés adatainak pólussűrűségi diagramja alapján az átlagdőlés $15/37^\circ$ -os. e A csuszamlások eloszlása erre merőleges $90/40^\circ$ átlagdőlést mutat. Ez az irány azonban alárendelten a rétegdőlések közt is megjelenik. Ezek alapján nem eldönthető, hogy a csuszamlások a rétegzésre merőlegesen, azt átszelve, vagy az esetenként keleties irányú, meredekebb réteglapon jöttek-e létre. A kibillent („allochton”) helyzetű tömböket határoló, legtöbb esetben K–Ny-i csapású síkok jobban igazodnak az átlagdőléshez.



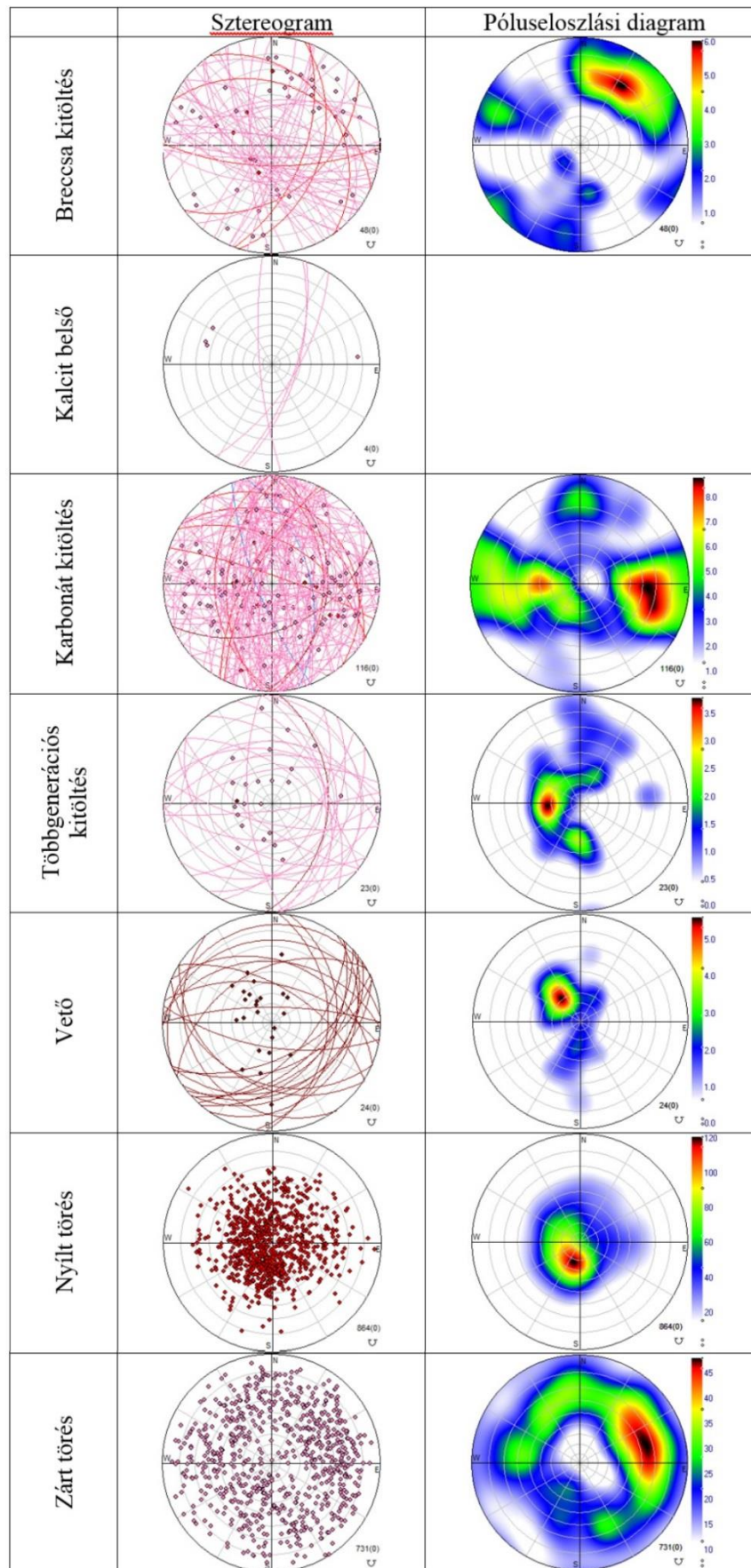
128. ábra A PAET-27 fúrásban harántolt alsó–középső-jura pelágikus, finom sziliciklasztos összlet rétegdőlés és üledékes jelenségei orientált sztereografikus eloszlásai

A genetikailag nehezen elkülöníthető breccsa szakaszok és a bizonytalan szinszediment vagy posztdiagenetikus vetők valamint a rétegzést mutató adatok együttes ábrázolása (129. ábra) szemlélteti ezek genetikai kapcsolatát a rétegdőlésben elkülöníthető (zöld vonalak az ábrán) szakaszok meglétével. Ezek alapján a breccsásodás egy része üledékes eredetű, csuszamlásokhoz, szinszediment vetődésekhez kapcsolódik. Az egész rétegsort érintő, jobbra meredek dőlésszögű hidraulikus breccsásodás gyakran felülbélyegzi ezeket az üledékes breccsákat.



129. ábra Az alsó–középső-jura pelágikus, finom sziliciklasztos összetlet fontosabb kőzettani és rétegtani beosztása, valamint üledékföldtani és szerkezetelemzési összefoglalása

Az ábra az ImaGeo magszkennerrel készült, dőlésirány és dőlésszög adatokat tartalmazó tadpole diagramon



130. ábra Az alsó és középső-jura képződmények orientált töréses képződményeinek sztereografikus ábrázolása

A főképp hidraulikus breccsák eloszlásképe (130. ábra) alapján a breccsazónák csapása ~ÉNy-DK-i, 65-70°-os dőlésszögű, illetve alárendelten erre merőleges. Ez az eloszlás lényegesen eltér a PAET-27 fúrás alsó részén, tektonikus helyzetben levő alsó-miocén rétegsorban található breccsák dőléseloszlásától, tehát a jura képződmények hidraulikus breccsásodása a késő-jurától kezdve a paleogénnel bezárólag kellett végbemenjen.

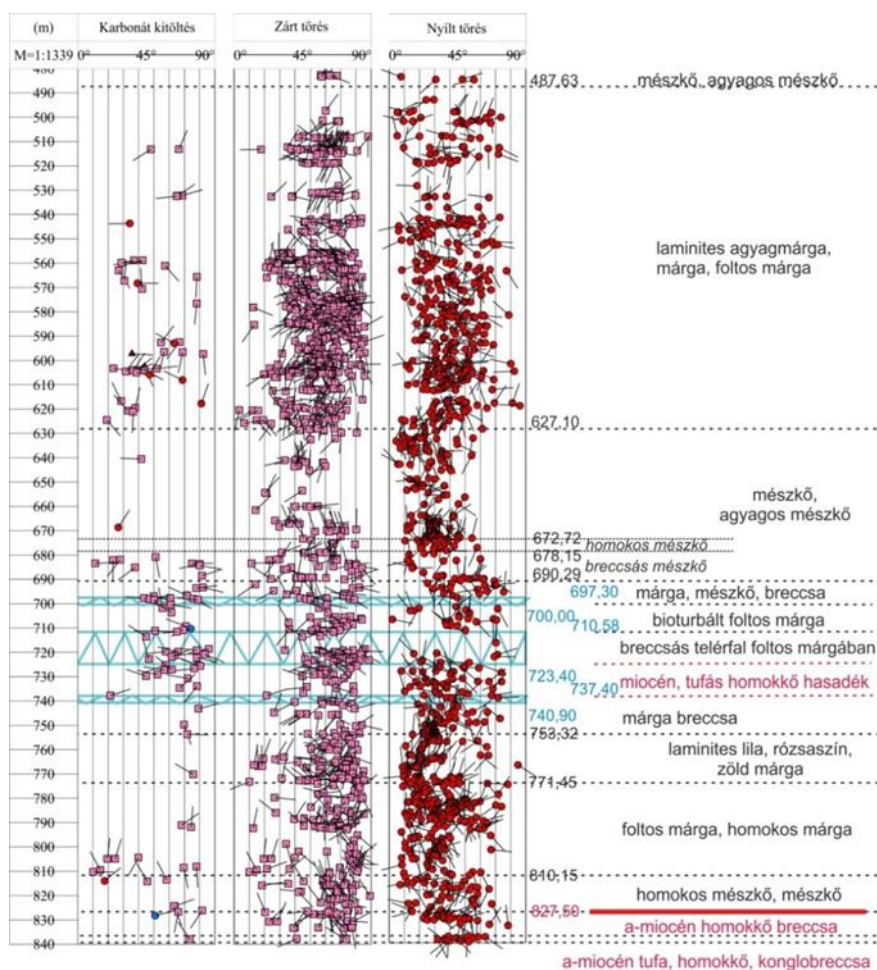
A hasadékkitöltő, több ágból álló, több méteres kalcit anyagú telér dőlése, annak orientált belső síkjaiból következően ~130/65° (130. ábra).

A zárt törések (130. ábra) uralkodóan NyDNy-i irányba dőlnek, meredek, 60-70° dőlésszöggel, alárendelten pedig DDK-re, ugyanilyen dőlésszöggel. Ezek közül leválogatva a vastagabb karbonát anyagú kitöltéssel rendelkező töréseket, azok uralkodóan É-D-i, nagyon alárendelten K-Ny-i csapású populációt alkotnak. Ezek egy töréses fázis elemei, amelyek többször is felújulhattak. A több generációs kitöltést tartalmazó síkok a karbonát kitöltésű populáció K-re dőlő, 30-40° dőlésszögű síkjainak felújulásával jöttek létre (130. ábra).

A jura rétegsort ért, fúrómag méretben észlelt elmozdulással jellemezhető vetők többsége DK-re dől, 20-50° dőlésszöggel.

A nyílt törések ugyan szórt eloszlást mutatnak, de a pórussűrűségi diagramon látható, hogy a maximumhely megegyezik a rétegdőlés maximumhelyével, ezért a triász képződményekhez hasonlóan itt is rétegmenti felnyílásokról van szó (130. ábra).

A töréses elemek mélységgel történő változása (131. ábra) szerint mind a zárt, mind a nyílt törések mennyisége lecsökken a 627,10-672,72 m közötti mészkő, agyagos mészkő litológiával jellemezhető rétegszakaszban. A zónához köthető, karbonáttal kitöltött zárt törések főként a vastag kalcittelér környezetében dúsulnak, feltehetően egy genetikai rendszert alkotva.



131. ábra A töréses elemek mélységgel történő változása

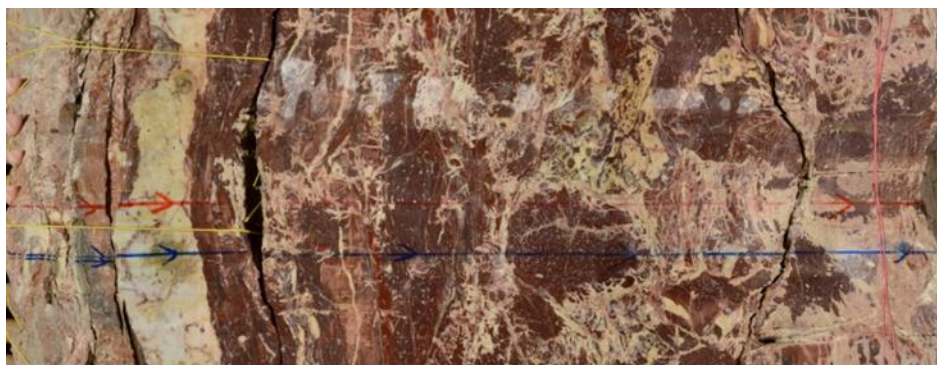
Inkább meredekebb zárt (lila négyzetek) és jórészt laposabb nyílt (vörös körök) törések dőlésadatai az ImaGeo magszkennerrel készült képek szerkezetelemzése alapján valamint a rétegsor litológiája.

Alsó-kréta bázisos vulkanitok és áthalmozott tengeri üledékeik

A Mecseki-egység alsó-kréta bázikus vulkáni–szubvulkáni összletébe sorolható képződményt a PAET-30 fúrás harántolt a középső-triász dolomit és az alsó-triász törmelékes összlet között, 565,2–585,8 m között.

A képződményt magmás és üledékes kevert kőzetként értelmezhető. A magmás összetevő erősen átalakult, főleg karbonátosodott, opakásványosodott, kovásodott, agyagásványosodott mandulaköves bazalt, amelyben a főleg kalcittal kitöltött és opakásvánnyal szegélyezett mandulakövek mellett teljesen – főleg kalcittal – kitöltött olivin és plagioklász porfirós elegyrészek vannak.

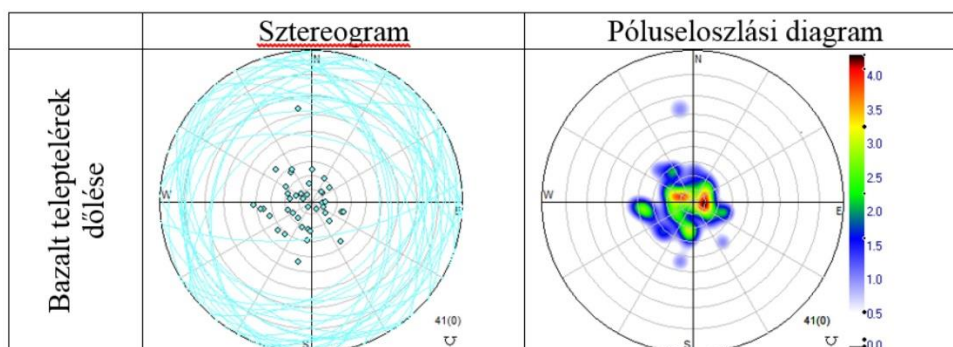
A piroxén megjelenése nem jellemző. A bazaltokhoz különböző árnyalatú vörös, rózsaszín, átkristályosodott mésziszap (mikropátitos mészkő-márvány) zárványok, kitöltések társulnak. Ezt a kevert anyagú kőzetet a szöveti bélyegek és ásványos összetétel alapján peperitnek lehet nevezni.



132. ábra Dolomitmárvány (balra) éles kontaktusa a vörös, hólyagüreges bazaltból és a vörös és fehér üledékből álló kevert kőzettel

PAET-30 fúrás, 565,05–565,54 m között (szkennelt magfotó).

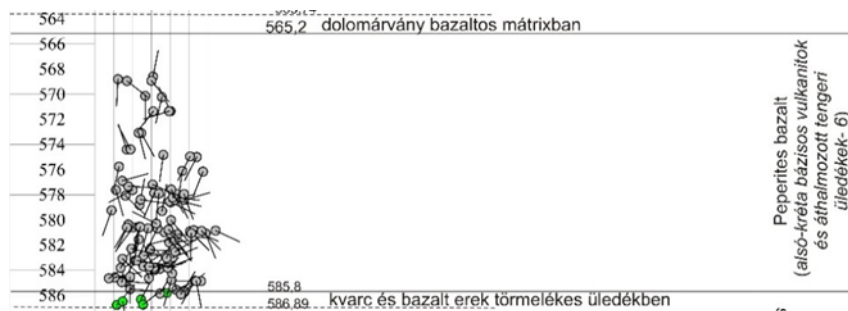
A bazalt és a befogadó üledék látszólag kaotikus érintkezési felületeinek szisztematikus szerkezeti elemzése alapján a vékony bazalttelérek K-i és DK-i irányai és a sokszor bizonytalan rétegdőlés-irányok közel azonosak (133. ábra, $270/10^\circ$; $90-110/8-15^\circ$; $10/22^\circ$), ami a bazalt teleptelér jellegét erősíti. A képződményen keresztül, az 572 m mélységköz környékén (571–572,9 m) egy erősen töredezett zóna húzódik, ami mentén elmozdulás nem észlelhető. A bazaltos képződmény és az átalakult dolomitos zóna között jelentős törési vagy nyírási szerkezeti elem nem mutatható ki. Vízrel telített környezetre utal a képződmény peperites jellege, ami nem ismeretlen a Mecseki-egység alsó-kréta szubvulkáni összleteiben.



133. ábra Bazalt teleptelérek dőlésadatainak sztereografikus ábrázolása

A bazalt és a bezáró üledékes kőzet besorolása ellentmondásos. Petrográfiai jellegei alapján ugyanis inkább hasonló a Darnó-zónában ismert triász bazaltokhoz, mint a mecseki alsó-kréta bazaltokhoz. Az eddig készült néhány minta fő- és nyomelem-geokémiai összetétele alapján ugyanakkor nem lehet egyértelműen állást foglalni abban, hogy az egymástól eltérő geodinamikai környezetben keletkezett mecseki és darnói magmatitok melyikéhez áll közelebb az összlet. A rendelkezésre álló adatok alapján így nem megalapozott a darnói triász bazaltokkal való megfeleltetés, ami amúgy is nehezen összeegyeztethető lenne a medencealjzat nagyszerkezeti felépítéséről jelenleg rendelkezésre álló modellel.

Az üledékekkel kevert bazaltot határozottan átszelő karbonátterek DDK és DDNy-i $20-40^\circ$ -os dőlésszögű irányai teljesen eltér a korábban említett karbonátkitöltésű törésirányoktól (134. ábra).



134. ábra Karbonátterek térbeli iránya és dőlésszöge (szürke körök) az alsó-kréta peperites bazaltban

A PAET-30-as fúrás 568,00 – 586,00 métere között, az ImaGeo magszkenner alapján készített tadpole diagramrészleten. A zöld körök a kvarcerek irányait mutatják az összlet alatt.

3.1.1.1.3 Miocén képződmények

A mezozoikumot követően több millió éves üledékhiánnyal számolunk. Az első harmadidőszaki képződmények megjelenése már a miocénre esik, az elsősorban szerkezetileg kialakult üledékgyűjtőkbe a közelebbi és távolabbi környezet lepusztulásából származó törmelékes üledékek, illetve az intenzív kéregmozgások következtében meginduló vulkáni működés termékei kerültek. A miocén rétegsor ennek megfelelően vagy durva törmelékes folyóvízi képződményekkel (Szászvári Formáció), vagy vulkáni képződményekkel (Gyulakeszi Riolittufa Formáció) kezdődik.

A korábbi évtizedekben a környéken lemélyített fúrások közül a Paks–2 fúrásból vulkáni és vulkanoszediment képződményeket, a Tengelic–1 fúrásból andezitet, a Tengelic–2 fúrásból folyóvízi képződményeket és riolittufát, a Nagydorog K–12 fúrásból dácitot és dácittufát, a Vajta–3 fúrásból tufás homokkővet, tufitot, riolittufát és konglomerátumot, a Kalocsa B–131 fúrásból tufás agyagot, a Szekszárd B–17 fúrásból homokkővet, konglomerátumot és riolitot, a Miske-D–1 fúrásból teresztrikus jellegű törmelékes üledékeket ismerünk. A jelenlegi kutatás során lemélyített fúrások egyrészt pontosították, másrészt új adatokkal egészítették ki ezeket az ismereteket. A Földtani Kutatási Program során mélyült fúrások közül a PAET-27, PAET-29, PAET-34 és a PAET-35 (35/1) fúrás tárt fel miocén képződményeket, minden esetben pannóniai képződmények alatt.

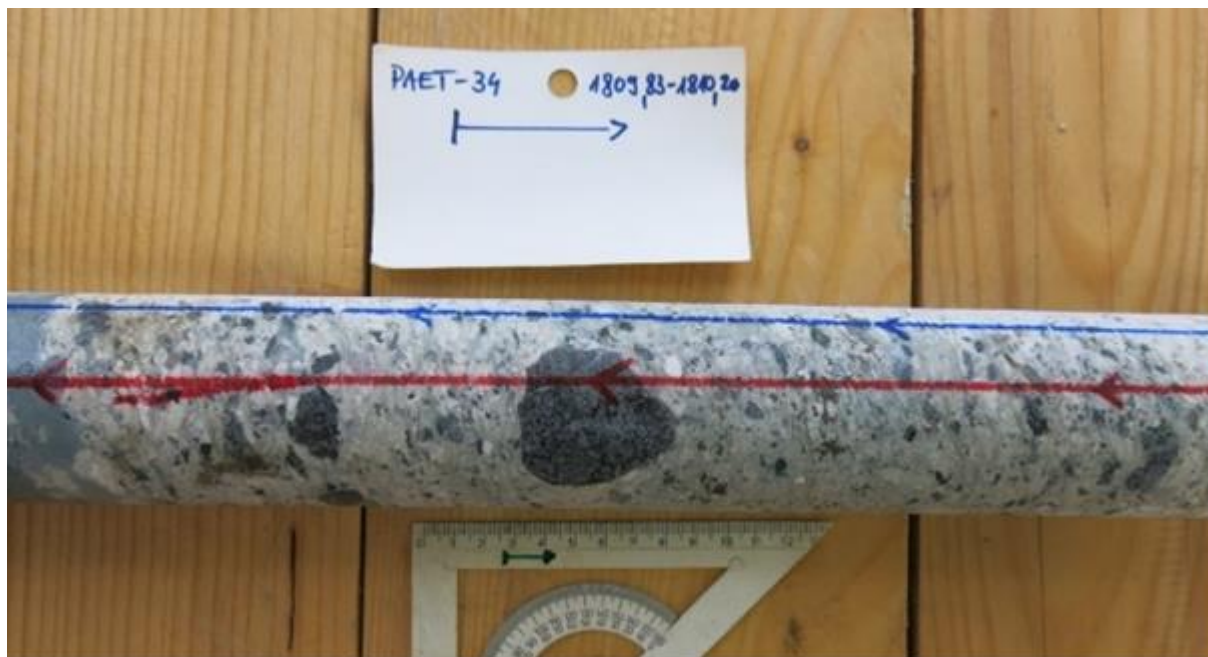
Az alábbiakban a kutatás során feltárt miocén képződményeket kialakulásuk sorrendjében (alulról felfelé haladva) ismertetjük.

Gyulakeszi Riolittufa Formáció

A formáció képződményei a PAET-34 fúrásban fordultak elő, ennek alapján a formáció képződményei az alábbiakban jellemezhetők.

A rétegsorban a három betelepülésben található tufaanyag némileg különbözött egymástól.

Az alsó, 1786,7–1832,46 m között elhelyezkedő szürke, zöldesszürke vulkáni sorozat közvetlenül az aljzat metamorfijára települő mállási zóna fölött található. Elsőként lapillitufa hullás, majd 1831,7 m-től piroklaszt ár, robbanás durvaszemcsésű lerakódása figyelhető meg — a szemcseméret felfelé finomodik. Elkülönített képződménytípusai: horzsaköves riolit lapillitufa, riolit lapillitufa, riolittufa, ignimbrít, akkréciós lapillitufa és riolit lapillikő. Helyenként a kőzetben nagy mennyiségben vannak jelen metamorf kőzetdarabok (135. ábra).



135. ábra Gyulakeszi Formáció: Durva alaphegységi törmelékot tartalmazó, hullámosan, flázeresen rétegzett összesült ártufa

A PAET- 34_1809,83 - 1810,20_IMG_4191 fotó részlete.

A középső, a Szászvári Formációba 1526,2–1546,17 m között betelepülő sorozatban különböző tufarétegek váltakoznak. Az összlet eróziós diszkordanciával települ a fekvő homokos képződmények egyenetlen felszínére, és a fedő felé is eróziós határ látható. Ezen vulkáni összlet mélyebb részén (1543,54-1546,17 m között) horzsaköves lapillikó (2–64 mm) figyelhető meg. Az osztályozatlan vulkáni törmelék a vulkanizmus eleji kirobbanásos tevékenységre utal. A vulkáni anyagban 1546 m környezetében szenesedett növényi maradvány található; a növény (fa) elégett a kitörés során, és magával sodorta a piroklaszt ár. Felfelé haladva (1540,97–1543,54 m között) a tufaszórás és piroklaszt ár termékei egymás mellett tanulmányozhatók. A tufaszórást 30–40 cm vastag, normál és gradált szakaszok képviselik, a piroklaszt ár terméke a durva, rétegzetlen törmelék. A vulkáni sorozatban különlegesség az 1533,7–1539,5 m között megfigyelhető akkréciós lapilli tartalmú tufa. A „tufagyöngyök” a kitörés jellegének megváltozására — azaz freatomagmás kitörésre — utalnak. E szakasz legfelső, 7,5 m-es részén (1533,7 m fölött) finomszemcsés tufa települ; az alsó másfél méteres szakaszon enyhén átülepedett.

Az MTA–ELTE Vulkanológiai Kutatócsoport által végzett cirkon U/Pb geokronológiai vizsgálata alapján az alsó tufaszint kora **20,8 + 0,42 millió év**, a középsőé **19,54 + 0,39 millió év**, illetve **19,41 + 0,39 millió év**, ami alapján a vulkanizmus az eggenburgiban valószínűsíthető.

A felső, 1498,4–1499,2 m közötti betelepülés fehér színű riolittufa. Mind az alsó, mind a felső határa eróziós.

Szászvári Formáció

Az alsó-miocén üledékes képződményeket két fúrásban (PAET-27, PAET-35) sajátos szerkezeti helyzetben, egy fúrásban (PAET-34) a metamorf aljzaton, vulkáni képződmények alatt, illetve azokkal megszakítva tárták fel fúrásaink.

Az e formációba sorolt képződmények legnagyobb része folyóvízi eredetű. Egy részük sodorvonalbeli, durvatörmelékes üledék (konglomerátum, homokkő, 136. ábra), más részük ártéri, tavi jellegű (homokkő, aleurolit, 137. ábra).



136. ábra Szászvári Formáció: Mezozoos mészkő és meszes aleurolitkavics a folyóvízi konglomerátumban

PAET-35_1222,9_P312-0015



137. ábra Szászvári Formáció: Kavicsos közepszemű homokkő eróziós határral települ a finomhomokkő-betelepüléssel aleurolitra

PAET- 35_1240,6_P313-0021

Az egész rétegsoportra jellemző az üledékek szürke színe, ami a finomszemű képződményekben barnásszürke, majdnem fekete. A törmelékanyag legnagyobb része metamorf eredetű, a finomabb szemcséjű rétegekben elsősorban kvarc, csillám, kőzettörmelék-szemcsék az uralkodók. Az általában jól koptatott kavicsok között is uralkodó

a metamorf anyag, legfőképpen kvarc-kvarcit, csillámpala, gneisz, de egyes szakaszokon, különösen a PAET-35 fúrás alsó részén a dél-dunántúli mezozoos képződményekből származó kavicsanyag is megfigyelhető. A kavicsok átlagos mérete 10-40 mm, de egyes rétegekben a maximális kavicsnagyság eléri a 180 mm-t is.

A sodorvonalon kívüli képződmények csak a PAET-34 és PAET-35 fúrásban fordultak elő, két, némileg különböző kifejlődéssel. A PAET-34 ide sorolt képződményei főként ártéri jellegűek, itt rétegeinek színe uralkodóan sötét tónusú: a zöldesszürkétől a vörösszürkén át a lilászörösig, vörösesbarnáig változik. Gyakran sok, apró, irányítatlan csillámot tartalmaz. A képződmény többnyire rétegzetlen; az elsődleges és másodlagos (főként bioturbáció okozta) rétegzetlenség nagyjából azonos mértékű. Kevés ősmaradványt is tartalmaz (138. ábra).



138. ábra Szászvári Formáció: Lapos mocsári csiga közeli képe a mag alsó oldalán

PAET-34 fúrás 1283,64 m

A PAET-35 fúrásban a képződmények inkább ártéri-tavi, pangóvízi kifejlődésűek, színük sokkal egyveretűbb és sötétebb, mint a másik fúrásban, textúrája rendszerint csíkos vagy sávós. Itt bioturbációs nyomok nem fordulnak elő, annál gyakoribbak a rétegcúsítások, -rogyások és a vízkiszökéses jelenségek (139. ábra), amelyek különösen ott figyelhetők meg jól, ahol az aleurolit csíkossága a betelepülő vékony, valamivel világosabb szürke finomhomok-sávok következménye. Mind a sodorvonalbeli, mind az ártéri képződményekben gyakoriak a tektonikus mozgások nyomai (140. ábra).

A formáció képződményeinek korát elsősorban a finomszemű üledékekből meghatározott palinológiai együttesek határozzák meg, a PAET-34 fúrásban a betelepülő tufák is az alsó-miocén vulkanizmussal való egyidejűségét bizonyítják, s a litológiai jellegek is a Mecsek-környéki alsó-miocén üledékeivel egyeznek meg. A PAET-34 fúrás aleurolit kifejlődéseiből történt palynológiai vizsgálatok Görög [115] eredményei alapján az 1550,2–1760,85 m közötti szakaszt delta környezetre utaló pálma–fenyő palinofációs jellemzi. A rétegsorban feljebb, az 1438,8–1499,9 m közötti szakaszon gazdag vízi és szárazföldi palinomorfa együttes volt megfigyelhető, amely Görög szerint csökkentsósvízi környezetre utal. A Spiniferoidaepollenites zolyomii faj jelenléte ottngangi–badeni kora utal. A mikroflóra az 1336,05–1385,2 m közötti szakaszon mocsári környezetet jelez. Az 1285,4–1285,45 m közötti szakaszban csak szárazföldi palinomorfák jelennek meg.



139. ábra Szászvári Formáció: Vízkiszőkés nyomai homokkő-betelepüléses aleurolitban

PAET-35_1376,1_P422-0245

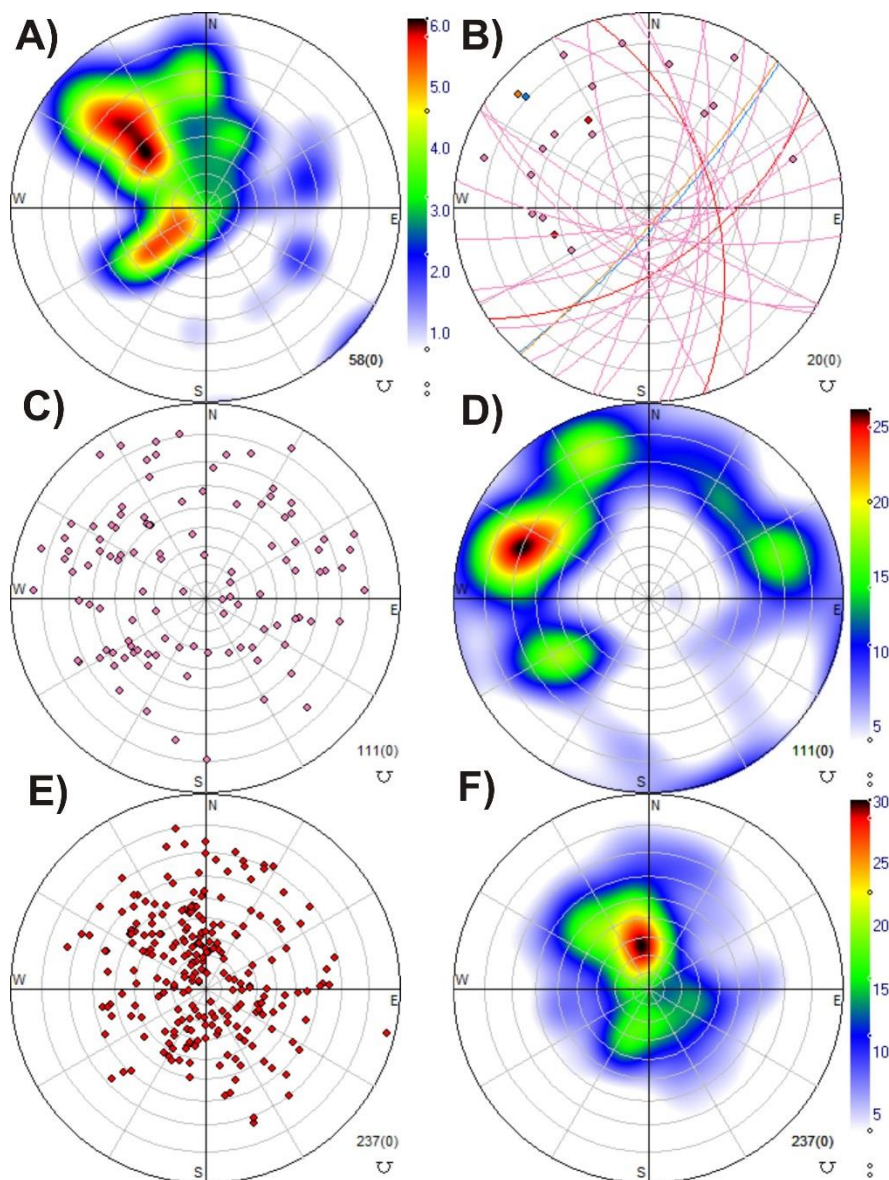


140. ábra Különböző szerkezeti elemek a PAET-35 fúrásból, a Szászvári Formációból

A PAET-27 fúrásban a képződménycsoportnak a durvatörmelékes változata, sodorvonalbeli képződményei fordulnak elő, szerkezeti helyzetben, jura képződmények alatt. A PAET-34 fúrásban viszonylag nyugodt településük rétegei, míg a PAET-35 fúrásban szerkezetileg erősen megviselt, s nincs kizárva, hogy egyes szakaszai ismétlődnek a

rétegsorban, ilyen szakaszokat azonban sem a karotázsgörbéken, sem a magmintákon nem lehetett meghatározni.

A PAET-27 fúrásban az alsó-miocén rétegsor mélyebb szakaszára (850,8–906,50 m) agyagos, aleuritos, finom-, és durvaszemcsés homokkő rétegek jellemzőek, amelyek 1-7 m vastag, meredek dőlésszögű (akár 60-65 fok) rétegeket tartalmazó, felfelé finomodó ciklusokba rendeződnek (850,8–853,6 m; 872,25–878,20 m; 885,0-891,0 m; 891,0–892,02 m; 899,77–906,50 m).



141. ábra A PAET-27 fúrás magszkennelt és mélyfúrás-geofizika alapján orientált objektumainak sztereografikus ábrázolása

Alsó félgömb vetület, orientált adatok száma. A) A rétegdőlés adatok pólussűrűségi diagramja, B) A breccsa kitöltésű szakaszok sztereogramja, C) A zárt, kitöltött törések sztereogramja, D) A zárt, kitöltött törések pólussűrűségi diagramja, E) A nyílt törések sztereogramja, F) a nyílt törések pólussűrűségi diagramja.

Az alsó miocén rétegek dőlésviszonyai két maximumhellyel rendelkező, de szórt értékkel jellemezhető eloszlást mutatnak (141. ábra/A). A nagyobbik maximumhely 135/40-65°, a kisebbik 52/43° dőlésértékkel adható meg. Habár vannak vízszinteshez közeli értékek

is az eloszlásban, jellemző a közepes vagy meredek dőlés. Ez a képződési fáciest figyelembe véve keletkezés közbeni vagy utólagos tektonikus kibillenésre utal. A két maximumhelyes eloszlás mélységben elkülönül. Az ÉK-i irányú dőlés a ~852 m-ig jellemző, utána változatos, de uralkodóan DK-i, D-i dőlésirány lesz jellemző. Figyelembe véve a képződmény fáciését, lehetséges, hogy a dőlésirány váltásokat különböző szállítási irányú üledékbehordás okozza. Mindazonáltal az sem zárható ki, hogy a képződmény felső szakaszán látható kevert eloszlást, majd az alatta, a tektonikusan rátolt mezozoos összlet dőlésére nagyon hasonló ÉK-ies dőlésirányú szakaszt blokkrotációval létrejött tektonikus kibillenés okozza.

Figyelemre méltó a 852-856 m közötti szakasz kilaposodó dőlésképe. Ez az ottnangiban feltehetően intenzív árokképződés és szingenetikus dőlésszög növekedés szünetét, az üledékgyűjtő feltöltődését jelezheti. Bármilyen intenzív szintektonikus süllyedést is tételezünk fel a képződés időszakára, ezzel nem magyarázhatjuk a 70-85°-os dőlésszögeket a fúrás >856 m-es szakaszán. Ezek kialakulását tehát későbbi tektonikus mozgásokhoz köthetjük.

A sziliciklasztos rétegsort törésszónák járják át, amelyek mentén a homokkő és agyagos homokkő rétegsor erősen breccsásodik (853,6–872,25 m; 879,37–885,0 m; 892,02–899,77 m). A breccsarétegek dőlése (141. ábra/B) nagyon hasonló a rétegdőlésekhez, ezért a breccsa rétegeket, szakaszokat tektonikus hatásra létrejött rétegmenti breccsásodás eredményének tartjuk. A breccsás szakaszokon az üledékes szemcsék szemcseméret-változása nem vizsgálható.

Az uralkodóan homokkőből álló rétegcsoport 906,50–910,0 m között húzódó, fekete agyag, finomhomokos agyag, elnyírt agyagos rétegekből álló, erősen préselt nyírási zónával érintkezik az alatta települő kalciterekkel átjárt, fekete, sűrűn fényes nyírási lapokkal behálózott finomhomokos, aleuritos agyagos rétegsorral, amely a fúrás talpát is adja, 919,05 m-en.

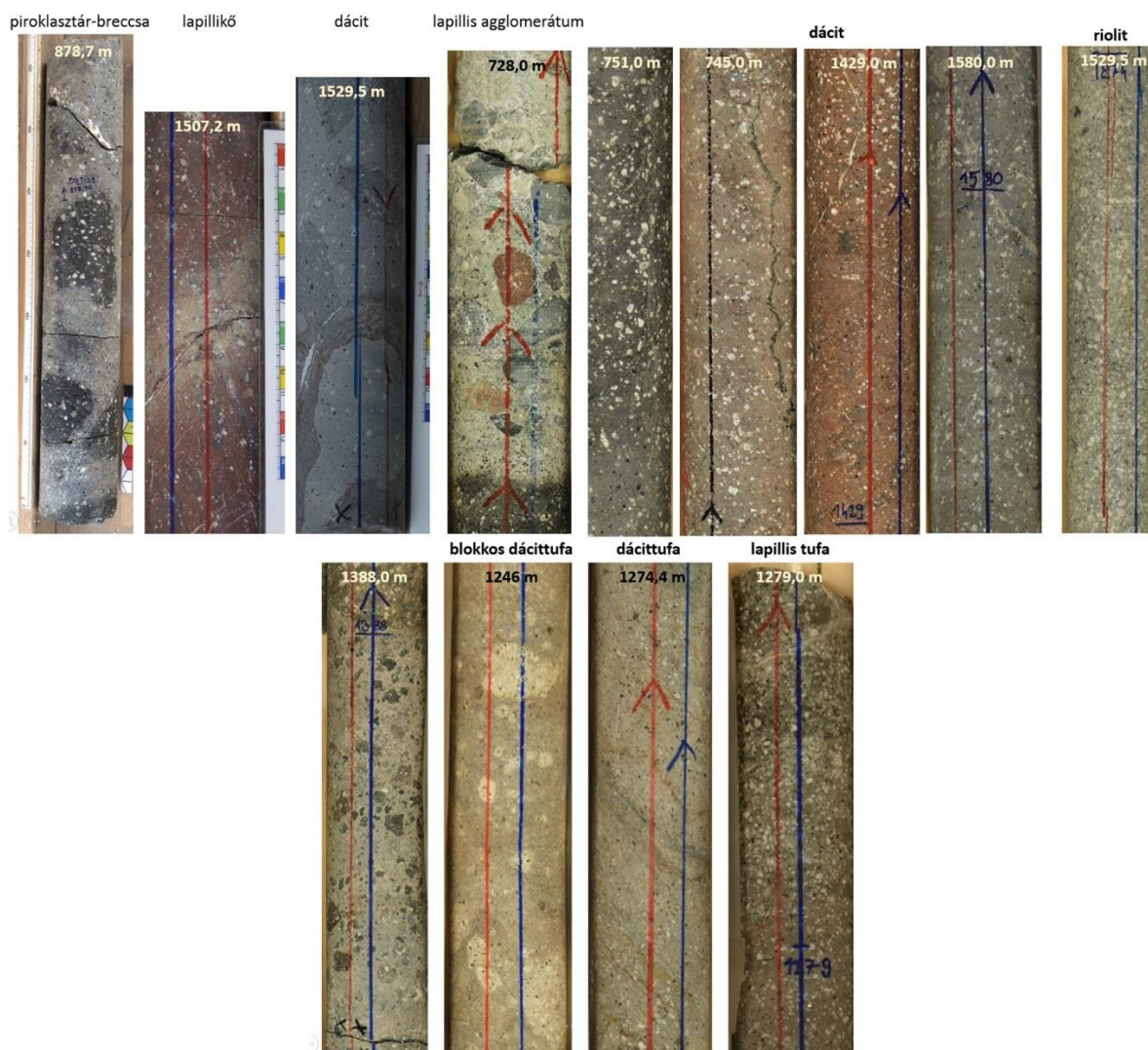
A rétegsort diagenézis után érő töréses deformáció két típusát különböztetjük meg, a zárt, gyógyult, ásványos kitöltéssel rendelkező zárt töréseket, és a magládákban nyitott állapotú nyílt töréseket. Ezek eloszlása markánsan különböző képet mutat (141. ábra). A zárt törések sztereogramja (141. ábra/C) és pólussűrűségi diagramja (141. ábra/D) szórt eloszlású, három maximumhellyel rendelkező eloszlás: 56/52°; 105-140/52-72°; 250/65°. Ebből az első kettő nagyon közel áll a rétegdőlések eloszlási maximumaihoz és ezt a hasonlóságot többé-kevésbé a mélységbeli eloszlás is támogatja. A harmadik maximum pedig konjugált párba állítható az elsővel. Ebből következően a zárt, kitöltött törések eloszlása réteg mentinek, illetve az ÉK-i dőlésirányú populáció esetében réteg mentinek és arra merőlegesnek nevezhető.

A nyílt törések eloszlásképe szintén szórt (141. ábra/E), ugyanakkor egy összességében K–Ny-i csapású, 173/35° maximumhellyel jellemezhető felhőbe tömörül.

Mecseki Andezit Formáció

Az alsó-miocén vulkanit sorozatot két fúrásunk érte el: a PAET-29 fúrás a Lajtai Mészke Formáció alatt ebben állt le; a PAET-34 fúrás a Szászvári Formáció és a Lajtai Mészke Formáció között harántolta. A vulkáni összlet diszkordánsan települ a fekvőn, s fedőjétől is diszkordancia felület választja el. A PAET-29 fúrás harántolta a Dél-Dunántúlról ismert legvastagabb riolitos vulkáni összletet. Számos közettípus megtalálható a sorozatban: riolit, dácit, látit és andezit határozható meg, s láva, agglomerátum és tufa egyaránt előfordul

(142. ábra). A riolit és dácit lávakőzetek mennyisége megegyezik a tufák mennyiségével, a többi kőzettípus teszi ki a képződmény-együttes 24%-át.



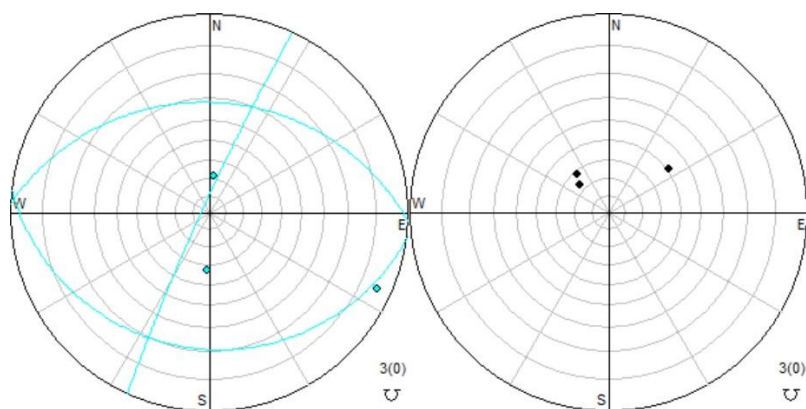
142. ábra Mecseki Andezit Formáció: A PAET-29 fúrás jellegzetes vulkanittípusai

A vulkáni sorozat a PAET-29-ben dácitos-riolitos, a PAET-34-ben alapvetően dácitos összetételű, ezen a fúrásban legfelső szakaszon a kőzetek bázisosabbak, mint a rétegsor többi részén (andezites jellegűek). A rétegsor kőzetei többé-kevésbé bontottak. Igazán üde kőzet csak helyenként látható, e szakaszokon kvarc, biotit és földpát a jellemző fenokristályok. A bontottabb szakaszokon mállott biotitok és bontott plagioklászok jellemzőek. A makroszkópos szövet jellemzően inekvigranuláris. A repedéseknél, zárt litoklázisoknál gyakran kloritos vagy kalcitos kitöltés figyelhető meg. A vulkáni sorozat mélyebb részén települő kőzetek robbanékony vulkáni működésre utalnak, amely során a viszkózus lávadóm szétrobbant. A feljebb települő képződmények létrejötte a viszkózus láva kitüremkedésével és darabokra való szétesésével magyarázható. A vulkáni sorozat magasabb részén kisebb vastagságú lávaegységek látszanak; ezen a részen tömör, üde láva is megfigyelhető.

Az MTA–ELTE Vulkanológiai Kutatócsoport által a PAET-29 vulkáni képződményeiből vett mintákon végzett cirkon U/Pb geokronológiai vizsgálata a vulkanit korára vonatkozóan **18,81–19,09±0,38 millió év** adott, a PAET-34 mintáinak vizsgálata **19**

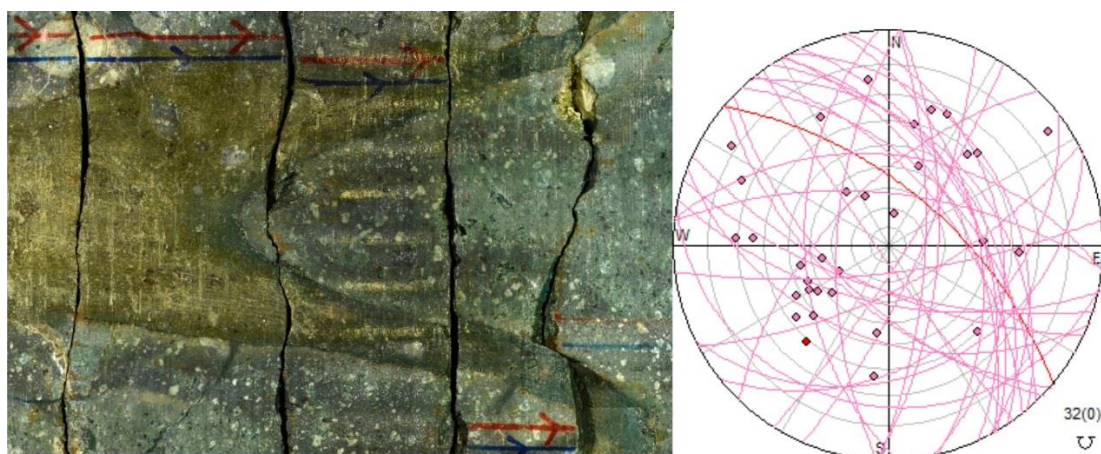
millió év körüli érték (**18,81–19,16 ± 0,38 millió év**). Ezek alapján a vulkáni sorozat képződése az eggenburgiban illetve az ottngangi idősebb szakaszában mehetett végbe.

A PAET-34 fúrásban néhányszor 10 m-es szakaszon lehetőség volt a maganyag szkennelésére is. Ennek eredményei szerint a képződmény belső szerkezetét a néhol felismerhető belső irányítottság, vagy a különböző vulkáni kőzetek határfelületeinek eloszlása mutatja (143. ábra). Az adatok száma nem enged meg messzemenő következtetéseket, de mivel ezek egy adat kivételével nagyon lapos szögű síkokat jeleznek, ezért ezeket egymásra települő rétegekként, illetve belső folyásos szövetként értelmezhetjük.



143. ábra Közethatárok (balra) és belső irányítottság (jobbra) sztereogramja a vulkanitban

Az egymás utáni kitörésgenerációk síkszerű vékony kitöltéseket is hátrahagytak az idősebb vulkáni kőzetekben (144. ábra). Ezek eloszlásképe uralkodóan egy ÉK illetve DNy felé dőlő, közepes dőlésszögű valamint alárendelten egy K illetve Ny felé dőlő kissé meredekebb töréspár mentén rendeződik. Ez két egymást követő vulkanit anyagú kitöltésgeneráció meglétére enged következtetni. Sorrendiségükre nézve nem rendelkezünk adattal.



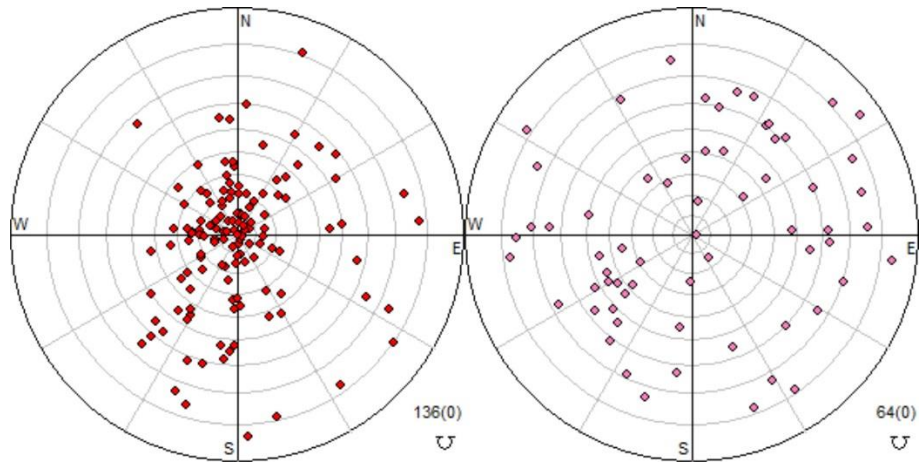
144. ábra Az egymás utáni kitörésgenerációk síkszerű vékony kitöltéseket is hátrahagytak az idősebb vulkáni kőzetekben

Vulkanit anyagú, gyakran fekete kitöltés 733,95 m körül (balra) és az ilyen síkszerű orientált kitöltések sztereogramja (jobbra).

A vulkanitban található törések nyíltak, a magládában elválóak illetve valamilyen kitöltés által cementáltak, zártak lehetnek (145. ábra). A nyílt törések döntő többsége lapos

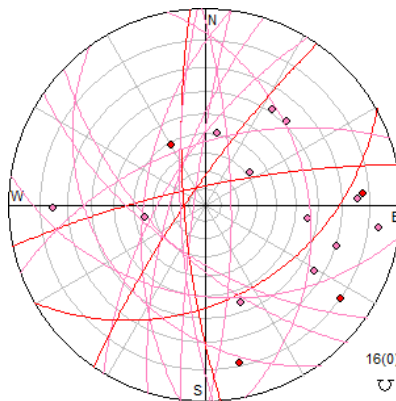
dőlésszögű, dőlésirány eloszlásuk heterogén. A lapos dőlésszög a vulkáni anyag rétegzettsége mentén történt elválást valószínűsíti.

A zárt törések eloszlása nagyrészt a vulkanit kitöltő anyagú törések eloszlását mutatja. A dőlésszögek szignifikánsan nagyobbak, a közepes vagy a meredek dőlésszög-tartományba esnek. Dőlésirány szerint ÉK illetve DNy felé alárendelten egy K illetve Ny felé dőlnek, de előfordulnak ÉNy-i és DK-i dölések is.



145. ábra Orientált nyílt (balra) és zárt (jobbra) törések sztereogramja a vulkanitban

A vulkanit anyagú kitöltésgenerációk után képződött, de lehetséges módon a vulkáni működéshez kapcsolható fluidum mobilizáció termékei a fehér, világos színű, karbonát anyagú, centiméteres vastagságú kitöltések populációja. Dőléseloszlásuk egy széles tartományban megjelenő, Ny-ias dölést mutat, amelynek határai egészen az ÉNy és DNy-i irányig tartanak (146. ábra).



146. ábra Orientált karbonát kitöltőanyagú zárt törések sztereogramja a vulkanitban

Budafai Formáció

A formáció képződményeit a PAET-35 fúrás tárta fel, fekéjében diszkordánsan a Szászvári Formáció, fedőjében szintén diszkordánsan a Lajtai Mészke Formáció települ.

A Budafai Formáció általában a kárpátiban kezdődő transzgresszió peremi kifejlődése. Elterjedése jelenlegi ismereteink szerint nem nagy, így az egykori tengerpart helyzetét csak sejteni lehet. A fúrás által feltárt rétegsor delta fáciesű törmelékeny képződményekből áll. A hozzá tartozó medencebeli kifejlődések helyzetét csak valószínűsíteni tudjuk.

A formáció homokkő és konglomerátum váltakozásából épül fel. A két képződmény általában konkordánsan, folyamatos átmenettel települnek egymáson. A rétegsorban a rétegek egyharmada konglomerátum, kétharmada homokkő. A konglomerátum felső része világos, alja sötétebb tónusú, a legfelső részén tarka, lejjebb szürke színű. A durva kavicsanyag közeit középszemű homok tölti ki. A kavicsok mérete 2–150 mm között változik, átlagosan 40-50 mm. Közepesen kerekített, koptatott szemcsék. A leggyakoribb kavicsok anyaga az alsó részen üledékes (mészke, homokkő), a felső két konglomerátumrétegben kvarc és metamorfitt anyagú, de itt is sok az üledékes kavics (147. ábra).



147. ábra Budafai Formáció: Polimikt konglomerátum

PAET-35_895,2_PA16-0166

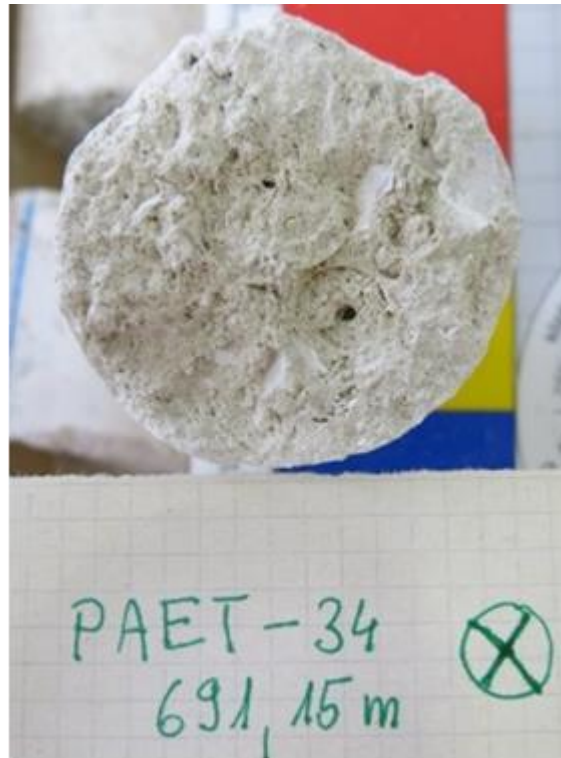
A konglomerátum változóan cementált, helyenként a repedésekben és a szemcsék közötti térben apró, sárga fémes ásványok (pirit). Ősmaradványokat nem találtunk benne. A homokkő-rétegek a képződmény vastagságának 66%-át teszik ki. Nagy részük szürke, kevesebb zöldesszürke réteg is megfigyelhető. Néhány réteg aprókavicsos, a homok is változó szemnagyságú. A kavicsok anyaga azonos a betelepülő konglomerátum-rétegek kavicsanyagával, alsó rétegeiben magasabb az üledékes kavicsok aránya. Általában jól cementált, erősen kötött, a kötőanyag többnyire karbonátos. Helyenként zagyár vagy sárfolyás jellegű, ezeken a szakaszokon gyengén rétegzett, a dőlése eléri a 60°-ot.

Alsó részén különösen sok szenes növényi törmelék tartalmaz, s legalsó rétegében felismerhetetlen eredetű mészhéj-törmelékek is vannak.

Lajta Mészke Formáció

Az FKP végrehajtása során lemélyített fúrásaink közül a PAET-27, a PAET-29 és a PAET-35 fúrás tárta fel, fekéjében rendre mezozoos alaphegység, alsó-miocén tufa, alsó-miocén tufa és a Szászvári Formáció, fedőjében pedig rendre a Tinnyei Formáció, a Tinnyei Formáció és az Endrődi Márga Formáció települ. Ez a miocén első tisztán tengeri kifejlődése a területen.

Mindhárom fúrásban 100 m alatti vastagságban harántolták a formáció képződményeit. Legfontosabb közettípusai bioklasztos, lajta fáciesű mészke (148. ábra), fehér, szürkésfehér mészmárga, a gyakran tufás homokkő, vörösalga-töredékekkel jellemezhető konglomerátum-rétegek.



148. ábra . Lajtai Formáció: Biogén mészkő a PAET-34 fúrásban, 691,15 m-ben

PAET34_1_IMG_3899_691,15

A mészmárga nagy része erősen zavart településű és textúrájú, sok helyen autigén breccsásnak, másutt tektonikusan zavartnak látszik. A márga és agyagmárga-rétegek alul zöldesszürkék, felfelé barnásszürkévé válnak. Általában csomós textúrájúak, a több-kevesebb kőzetliszt- és agyagtartalom miatt változó a szemcseméretük. A konglomerátum-rétegek kavicsai között uralkodó a metamorfít, de sok kvarcot és homokkő-kavicsokat is tartalmaz, a PAET-29 fúrásban szinte csak a közeli vulkanit kavicsai fordulnak elő, a PAET-35 fúrásban pedig kevés üledékes kavics is látható. A kavicsok maximális mérete nem haladja meg a 60 mm-t. Kerekített, gömbölyített, többször áttelepített kavicsanyag.

A formáció a miocén rétegsor ősmaradványokban leggazdagabb kifejlődése. A tengeri környezetet jelzik a Lithothamniumok, Foraminiferák (149. ábra), Bryozoák; nagyszámú Mollusca (csiga, kagyló, Dentalium), Echinodermata (tengeri sün) mellett cápafogak is előkerültek. A PAET-34 fúrás 691,0-691,1 m közötti mintájából előkerült részben héjas, töredékes kagyló Görög Á. [115] jelentése szerint *Aequipecten malvinae* (DUBOIS, 1831), a kora-badeni zónajelző formája [208] [209]. A mikrofauna együttes trópusi- szubtrópusi jól szellőzött, normálsósvízi sekélytengeri környezetet jelez, amelyben az aljzaton dús vegetáció tenyésztett.



149. ábra Lajtai Formáció: *Planostegina giganteiformis* (Papp) óriás Foraminifera lithothamniumos homokkőben

PAET- 35_868,0_PA05-0134

Tinnyei Formáció

A miocén végének jellegzetes csökkentsósvízi képződményeit soroljuk ebbe a formációba. Országosan elterjedt, de általában nem nagy vastagságú képződmény. Leggyakoribb kifejlődésének kőzetei sárga, kőzetalkotó tömegű molluszkás kőbélből álló biogén, néhol ooidos mészkő, mészhomokkő, meszes molluszkás homok. A kutatási területen a szarmata képződmények viszonylag kis vastagságban fordulnak elő, területi elterjedésük nem egyezik meg a fekü bádeniével, sokkal inkább az alsó-pannóniai képződményekéhez kötött.

A Tinnyei Formációt a PAET-27 és a PAET-29 fúrás harántolta, a két fúrásban a kifejlődés némileg eltérő.

A PAET-27 fúrásban a fekü a Lajtai Mészkő Formáció, fedőjében diszkordánsan az Endrődi Márga települ. A rétegsort mészmárga, homokkő és mészkő alkotja. A kőzetek uralkodóan szürkésfehér vagy sárgásfehér színűek. Általában rétegmentesek, csak a szakasz alsó részén lévő mészkő és mészmárga rétegzett. Néha a teljes réteg autigén breccsás (150. ábra); változó mértékben szétesett, átforgatott, szögletes darabokra, vékony lemezekre elváló, az eredeti rétegzés csak nyomokban ismerhető fel.



150. ábra Tinnyei Formáció: Autigén breccsás, ferderétegzett mészmárga

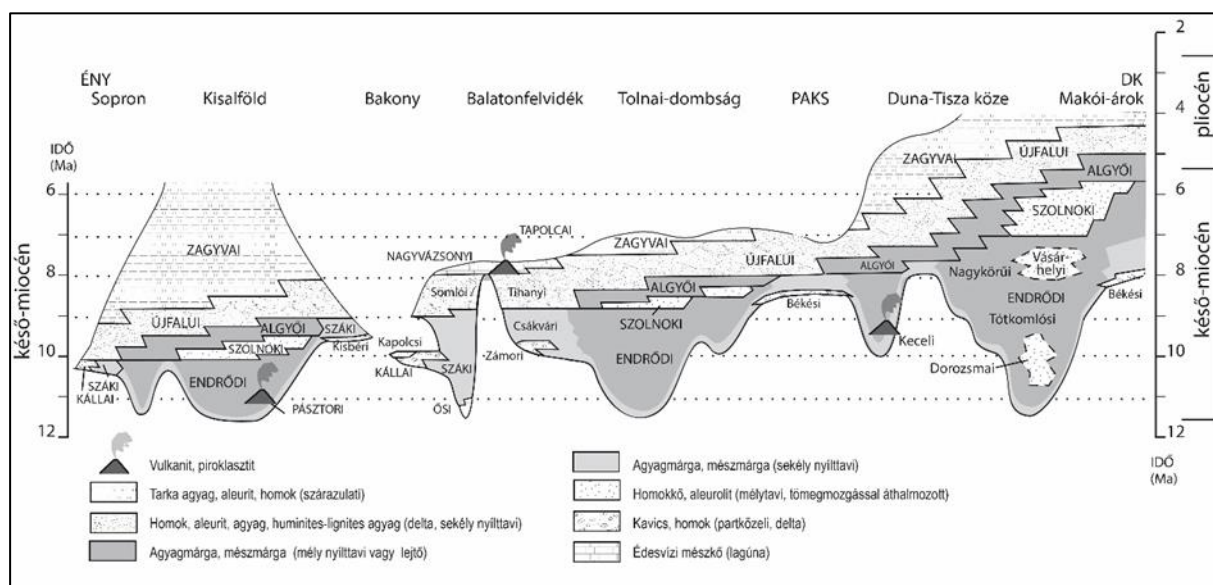
PAET-27_420,6_P127-0058

Helyenként gyökérnyomszerű, 1 cm-t meghaladó vastagságú, elágazó, sárgásbarna finomhomokkal kitöltött üregeket tartalmaz. A homokkőben gyakoriak a kavicsok, általában közepesen kerekítettek, anyaguk elsősorban kvarc, de metamorfit és idősebb üledékes kőzet is előfordul benne. A PAET-29-es fúrásban szintén a Lajtai Mészkő a fekvő, míg fedőjében az Újfalu Homokkő Formáció települ. Kőzetanyaga jellemzően zöldesfehér – zöldesszürke, meszes homokkő, alárendelten agyagkő, márga és aleurolit. Két szintben vulkanittörmelékes breccsa/piroklasztit agglomerátum jelenik meg. Tufás rétegei is vannak. A meszes homokkő gyakorisága miatt soroltuk a Tinnyei Formációba. Jellemzően rétegzetlen, a finomabbszemű betelepülések helyenként kiemelik ferderétegzettségét. Eróziós diszkordanciával gradált konglomerátum betelepülés is előfordul, amely fölfelé agyagkőig finomodik. Gyakori a meszes aleurolit és homokkő néhány mm-es illetve cm-es rétegváltakozása, ilyenkor vékony mészkőlelencsék is előfordulnak. Ősmeradványai szerint kora szarmata.

3.1.1.1.4 A pannóniai képződmények ismertetése

A Pannon-medencét kitöltő késő-miocén-pliocén üledékek a Pannon-tó mélyebb és sekélyebb vizében, a tó folyamatosan változó helyzetű peremén épülő deltákon és az azok mögött a lehordási terület felé elterülő folyósíkságokon rakódtak le. A Pannon-tó egy nagy, hosszú életű tó volt, amely kb. 7 millió éven át létezett (11,5-4,5 millió évvel ezelőtt). A késő-miocéntől a pliocénig tartó története során endemikus biótája látványos fejlődésen ment keresztül, amelyből a puhatestűek a legismertebbek [198] [200]. A tavat lassan emelkedő hegvidéki terület vette körbe, mely kiemelkedés idővel jelentős mennyiségű üledéket

juttatott az intenzíven süllyedő medencébe változóan csapadékos és enyhébb éghajlat mellett. Ezeket az üledékeket a pliocén-kvarter medenceinverzió következményeként jelenleg két szélső helyzetben találjuk meg, ráadásul különböző módszerekkel megkutatva és eltérő részletességű ismeretességben. Ezt litosztratigráfiai beosztásuk fejlődése is tükrözte.

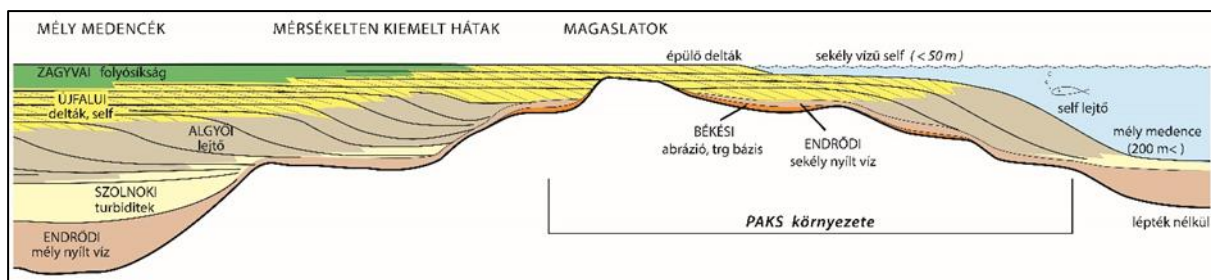


151. ábra Pannóniai formációk kronosztratigráfiai helyzete a Dunántúl egy szakaszán

Sztanó [325] után módosítva

A *mély medencékben* a pannóniai gyakran idősebb miocén felett üledékhézzaggal, egyes helyeken akár folyamatosan települ (151. ábra 152. ábra). A rétegsorok a forrástól távol lerakódó nyugodtvízi képződményekkel, mészmárgával kezdődnek, majd agyagmárgával folytatódnak, ez az **Endrődi Formáció**. A pélites üledékképződés a pannóniai elejétől egészen addig folytatódott, míg a feltöltődéssel épülő self-lejtő 50-100 km-nyi távolságba nem érkezett. Ezt követik mindenhol egyveretűen a lejtő üledékei: agyag, aleurit és vékonyabb, szintén elsősorban turbidites homokkő (Szolnoki Formáció) betelepülések a lejtők alsó részében (**Algyői Formáció**). A szeizmikusan észlelhető klinoform geometriából könnyen meg-becsülhető az egykori vízmélység, mely átlagosan 400-600 m lehetett, a legmélyebb medencékben azonban elérhette az 900-1000 m-t is. Ez a korai értelmezésekkel [34] ellentétben ma nem deltalejtő, hanem az épülő self lejtője [198][325][326]. A deltalejtő a jelenlegi deltákon a self aktuális vízmélységét tükrözi, mindig kisebb 100-120 m-nél, átlagosan 30-60 m magas. A lejtő fokozatosan épült a medencebelső (délkelet, délnyugat) felé, így felette megjelennek a morfológiai selfen felhalmozódó üledékek, melyeket az **Újfalu Formáció**ba sorolunk. Az Algyői és Újfalu Formációk határa fiatalodik dél felé haladva, a tágabb paksi kutatási területen 8,6-7 millió éve haladt át [202]. Az Újfalu Formáció az eddig tárgyaltak közül litológiailag a legváltozékonyabb. Magába foglalja a selfen és a deltalejtőn lerakódó, uralkodóan pélites prodeltát, a deltafronton (torkolati zátonyok, hullámveréses part, mederkitöltések) ülepedő homoktesteket, valamint az összetett környezetekből épülő deltasíkság (öblök, mocsarak, medrek) homok, pélit, szervesanyagdús, szenes-lignites sorozatait [282]. Elkülönítése az üledékfolytonosan települő fedő Zagyvai Formációtól nem könnyű. Utóbbi az alluviális síkságon felhalmozódó agyag-aleurolit, tarkaagyag, szervesdús agyag és néhány méteres homoktestek váltakozásából áll. Vastagsága a pliocén-kvarterben is folytatódó süllyedés miatt a mélyebb medencék területén az 1000 m-t is meghaladhatja.

A mélymedencéktől eltérő rétegsorokat tapasztalhatunk a süllyedékek közti *vízborította aljzatmagaslatokon és* kiterjedtebb, csak kisebb medencékkel tagolt *hátaikon* (151. ábra 152. ábra). Itt is előfordulhatnak prepannoniai miocén képződmények, gyakran azonban prekainozoos üledékes vagy kristályos képződmények felett következik eróziós vagy szögdiszkordáns településsel vékony, kondenzált formában az Endrődi Márga. Ha ez a magaslat a pannóniai kezdetén hosszabb–rövidebb ideig szárazulat volt, akkor a néhányszor 10 m vastag helyi anyagú abrúziós kavics, a **Békési Formáció**, vagy a szigetről a tóba szállított, szintén helyi anyagú kisebb durvahordalékú delták üledéke és ezek hullámveréssel átdolgozott anyaga, a legidősebb képződmény. Ha a kavicsanyag csupán néhány méter vastag, a megelőző szárazulati kitérés üledékei nyomtalanul eltűnhettek, ilyenkor az előtérhez tartozó transzgresszív bázistörmelétről van szó, melyet önálló formációba nem sorolunk, a fedő nyíltvízi agyag-aleurolit-márga sorozat része. Mivel a paksi kutatási terület is ilyen átmeneti mélységű vagy kifejezetten sekély zónákból áll, az egyszerűség és a lényeg kiemelése érdekében javasoljuk a nyíltvízi képződmények Endrődi Formációba sorolását, legfeljebb tagozat szinten említve pl. a Csákvári Formációt. A vízborította aljzatmagaslatok vidékén teljesen hiányzik, vagy kivételes esetekben kiékelődően megjelenhet a depocentrumok felé tartó zagyarak terméke, azaz a Szolnoki Formáció. Ilyen helyeken a vékony Endrődi Formáció felett közvetlenül a tőle nem, vagy csak szerencsés esetben elkülöníthető Algyői Formáció következik [152]. Az elkülönítést segítheti, ha az Endrődi mészmárga kifejlődésű (Tótkomlósi Tagozat, [201]) vagy ha az Algyői Formációhoz tartozó lejtőlábi turbiditék felismerhetőek [150][326] illetve ha a klinoformok elég magasak ahhoz, hogy szeizmikusan is felismerhetőek legyenek (150-200 m-nél magasabbak). A vízzel alig borított legmagasabb magaslatokon (vízmélység 100 m alatt) sokszor a lejtő nem fejlődött ki, mert a lejtőépülés irányát a lokális mélyedések befolyásolják, vonzzák [357]. Ilyen helyzetben az Endrődi Formáció kondenzált péliteire közvetlenül az Újfalui Formáció deltaképződményei következnek. A péliteles prodelta és homokos deltafront kifejlődéseket inkább a Somlói Tagozatba, míg a deltafront-deltasíkság homok, pélite, lignit, huminites agyag váltakozásából álló rétegeit a Tihanyi Tagozatba sorolhatjuk. Ezek megjelenése minden esetben függ az eredeti ősföldrajzi szituációtól is, azaz, hogy egy vizsgált fúrás mennyire helyezkedett el torkolat közelében, vagy inkább a deltalebeny peremén. Mivel ezek megkülönböztetése csak az üledékszerkezetek és a pontos közetösszetétel ismeretében lehetséges, ezért csak teljes maggal fúrt fúrások esetén lehetséges, ezért általánosságban a tagozatok helyett az Újfalui Formáció használata javasolt. A magaslatok általában jóval kevésbé süllyedtek, mint a környező kisebb-nagyobb medencék, így a deltaciklusok száma is kisebb, mint egy szomszédos süllyedékben. Hasonlóképp a deltasíkságot követő alluviális síkság is kisebb szárazulati kitölthető térben fejlődhetett, így több átfutás (bypass), ismételt bevágódás eredményeképp egymásba harapózó, látszólag nagyobb/vastagabb mederkitöltések várhatók a Zagyvai Formációban. A magaslatok kisebb vastagságú alluviális sorozata ráadásul hamarabb emelkedhet ki és pusztulhatott le a pliocén- negyedidőszaki inverzió következtében. A paksi területen ezért joggal feltételezhető, hogy a Zagyvai Formáció csak kis vastagságban fejlődött ki és az is lepusztult.



152. ábra Pannóniai formációk települési helyzete és az egykori domborzat kapcsolata

Sztanó et al., [325] után módosítva

Békési Formáció

Az alaphegységre települő pannóniai sorozat gyakran kezdődik alapkonglomerátummal. Ezek anyaga minden esetben a fekü helyi lepusztulásából és átdolgozásából származik. Felfelé haladva a szemcsék osztályozottsága és koptatottsága nő, a szemcseméret gyakran csökken (153. ábra). Előfordulnak benne molluszka héjak, egyes rétegekben tömegesen is [89]. Előfordulása általában az egykori partvidék keskeny sávjára korlátozódik, de a kavicsanyag a parttól távolabb keletkező márgába is besodródott esetenként. Vastagsága átlag 40 m, de helyenként eléri a 80 m-t is, felfelé akár 10 m-en át is összefogazódik a fedő márgával. Kora földrajzi helytől függően változó, attól függ, hogy az adott alaphegységi sziget mikor került víz alá. Ennek meghatározására ritkán van közvetlen mód, általában a fedő márga korával adható meg.



153. ábra Durvahomokkő mátrixú konglomerátum lekerekített kavicsai a Békési Konglomerátum Formációban

(PAET-30_0516,53-0516,63_IMG_4247.JPG)

Endródi Formáció

A formáció alsó részén mészmárga, márga, mészkő (sic!) (70-100 % karbonáttartalom) található (Tótkomlói Tagozat), mely feljebb fokozatosan agyagmárgába megy át (Nagykörűi Tagozat). A Tótkomlói Márgában a karbonáttartalom csökkenését felfelé legjobban a lyukgeofizikai görbék (TG és R) jellegzetes, növekvő beütésszámot és csökkenő ellenállást mutató alakja jelzi [89][201].



154. ábra Agyagfoltos, bioturbált agyagos aleurit az Endródi Márga Formációban

PAET-30_0493,00-0493,60_IMG_4226.JPG

Az aljzatmagaslatok közelében a mészmárga sekélyebb vízben ülepedő változata világos szürke, mélyebb medencebelső előfordulásai sötét szürke, fekete színűek. Változóan teljesen bioturbált kagylós törésű, masszív kőzet, másutt mm-es lemezei aleurolittal váltakoznak. Gyakoriak a szenesedett és/vagy piritesedett növénymaradványok, de ezen kívül is elfordulnak pirites csomók, halmazok. Szervesanyag tartalma viszonylag magas (1,5-2 %), anyakőzetnek tekintik több mélymedencében. A formáció felső szakaszán, a Nagykörűi Agyagmárgában a karbonáttartalom 20-40 % közé esik, a kőzet sötétszürke agyagkő (154. ábra), aleurolit, szenesedett növényi törmelékekkel és pirit halmazokkal. Időnként és helyenként ebben is előfordulnak vékonyabb gravitációs tömegmozgással bekerülő kavics és homok rétegek, még mindig a helyi magaslatok oldaláról áthalmozva [326]. Felső részén alárendelten megjelenhetnek olyan vékony turbidit betelepülések is, melyek a szomszédos felvízi medence Szolnoki Homokkővével állnak kapcsolatban, a feltöltődés előrehaladásával a köztes hátton átjutni képes zagyárákból ülepedtek.

Az Endródi Formáció vastagsága tág határok között változik. Aljzatmagaslatokon néhány m-n*10 m, gyakran a szeizmikus felbontásnál kisebb, de fúrásokkal igazolható. A formáció mélytavi kifejlődése ellenére is tartalmaz fossziliákat (155. ábra, 156. ábra), a mélyvízi körülményekhez alkalmazkodó kis-diverzitású puhatestű együttest: különböző Paradacna-fajokat, Congeria banatica-t, mélyvízi tüdőscsigákat, pl. a Valenciennius rokonságába tartozó Lymnaea-féléket. Kora szervesvázú mikroplankton flórája és molluszkafaunája alapján jól ismert.



155. ábra Pirites Mollusca lenyomatok és kőbelek

PAET-27_405,30_P125-0044



156. ábra Kagylóhéj-töredék és -lenyomat a szürke agyagmárgában

PAET-30_0501,03_IMG_4230.JPG

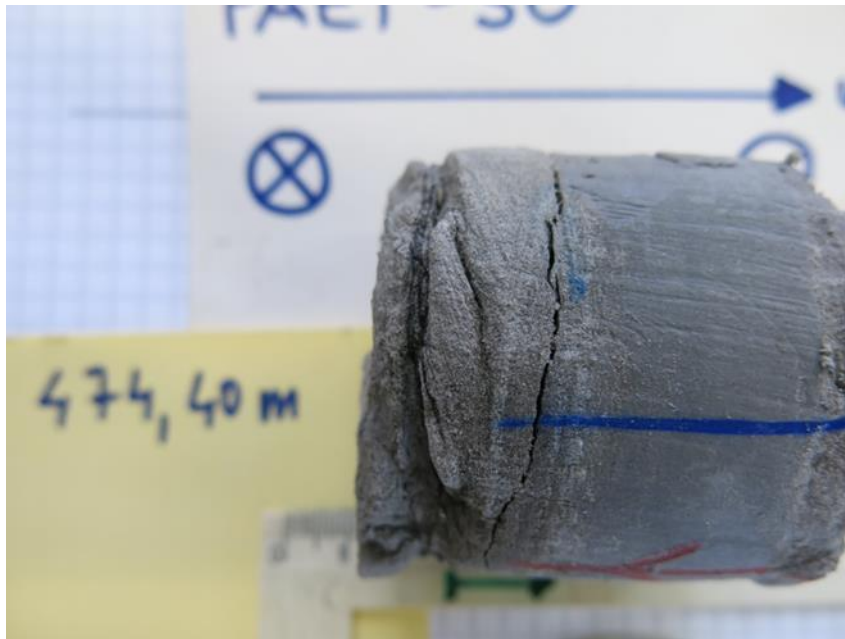
A Pannon-medence mélyzónáiban nagyjából egyszerre, 11,6 millió éve kezdődött meg képződése, a magaslatokon a vízborítottság függvényében később, csak 10-8 millió éve. A márga képződés vége északról dél fele fiatalodik, a fedő Szolnoki vagy Algyői Formáció megjelenésével. Az Endrődi Formáció Csákvári Agyagmárga Tagozata nagyrészt szürke, világosszürke lemezes–kagylós elválású agyagmárga, agyagmárgás aleurit alkotja, amibe vékony finomhomok rétegek települnek. A Pannon-medence szigeteinek a nyílt víztől változó mértékben elzárt részein, illetve víz alá kerülő egykori szigetek helyén kialakuló sekély, de hullámbázis alatti nyugodt vízben keletkezett [53][316] szervesvázú mikroplankton vizsgálatai alapján képződése a pannóniai elején a legidősebb, Ultima-zónától a Pecsvaradensis-zónáig tartott (11,6–10,6 millió év, cf. [198]). Kora a paksi kutatási területen valószínűleg fiatalabb.

Keceli Bazalt

A Duna-Tisza köze középső-déli részén (Kecel, Ruzsa, Kiskunhalas, Üllés stb) az Endrődi Márgába települve, azzal összefogazódva bazalt, bazalt lapillikő, bazalttufa települ. A bazaltos sorozatot 100-150 m vastagságban több fúrás is harántolta, így ásványos és geokémiai összetétele jól ismert. A vulkáni testek gyakran szeizmikusan is jól térképezhetők, mint pl. a paksi kutatási terület keleti szélén. Víz alatti lávafolyások és robbanásos kitörések terméke, mely jól illeszkedik a késő-miocén –pliocén alkáli bazalt vulkanizmus sorába. Kora 10,4-8,1 millió év HARANGI [132] és hivatkozásai.

Algyői Formáció

Sötétszürke agyag, agyagmárga, aleurolit, homokkő betelepülésekkel [89][151][153]. Néhány 10 méter homokkő előfordulhat a formáció felső vagy középső részén is, de a formáció alsó harmadában 20-50 m vastag homokkő sorozatok megjelenése gyakori, akár a kőzet 30-50%-át is alkothatja. A péлитes rétegek szerkezetmentesek vagy vékonyrétegesek. Az uralkodóan finom-, apró- vagy középszemcsés homokkő rétegek szerkezetmentesek, lemezeseek, keresztlemezeseek lehetnek (157. ábra, 158. ábra), gyakori a normál gradáció.



157. ábra Keresztlemezese homokbetelepülés agyagos aleuritban

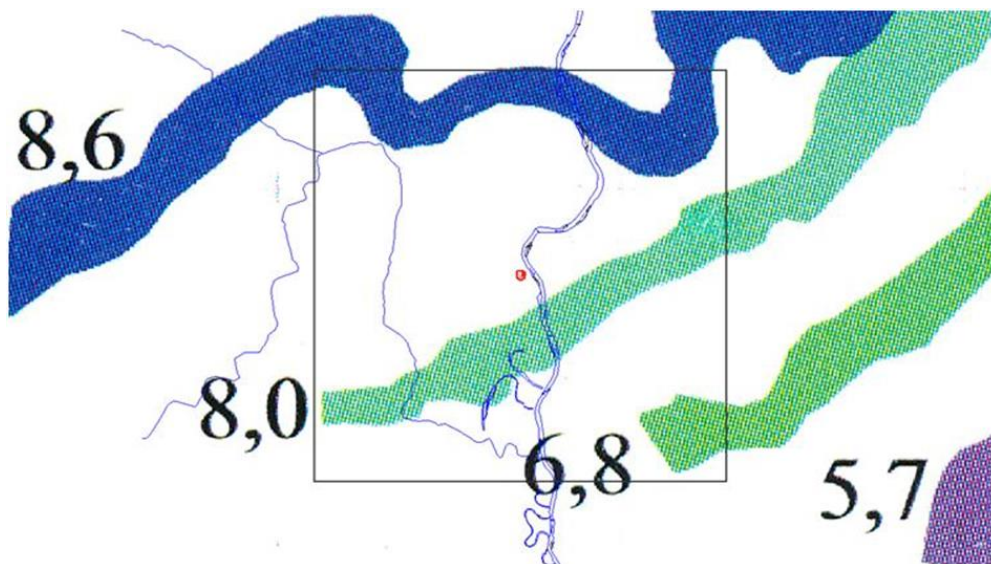
PAET-30_0474,35-0474,4_IMG_4222.JPG



158. ábra Csíkos-sávos kőzetlisztes márga

PAET-27_397,0_P124-0036

Szintén gyakoriak a puhaüledékes deformációs szerkezetek, így a konvolúció, a terheléses szerkezetek és az üledékes redők. A karotázs szelvényen a litológiai heterogenitást tükröző fogazott jelleg és a vékony homokcsúcsok segítik elkülönítését a fekü Endrődi Márgától, ahol a Szolnoki Formáció hiányzik. Az agyagmárga gyakran tartalmaz kis-diverzitású, nyílttavi puhatestű faunát, melynek tipikus fajai a *Paradacna abichi*, *Pontalmyra otiophora*, *Lymnocardium majeri*, *Congeria czjzeki*, *Dreissenomya digitifera*, *Valenciennius* sp., és különböző tüdőscsigák (*Planorbidae*, *Lymnaeidae*). Az Algyői Formáció a selfet és a mélyebb medenceterületeket összekötő selflejtő üledéke [326] [198], a korábbi felfogással és nomenklatúrával ellentétben nem deltalejtő, mert utóbbi a self területén található és ipari szeizmikával gyakorlatilag nem látható méretű. A lejtő szakaszosan épült DK és DNy felé, a paksi területen ca. 8,6 - 7 millió éve haladt át.



159. ábra A selfperem progradációjaa késő-miocén során szeizmikus korreláció alapján [198]

A színes sávok a deltalejtő helyzetét, a számok a hozzávetőleges korát (Mév) mutatják. Fekete poligon: kutatási terület, piros poligon: tervezett telephely.

Újfalui Formáció

Agyag, aleurolit, homok és szervesanyagdús agyag, lignit rétegek ciklikus váltakozásából áll a formáció. A fekü Algyőihez és a fedő Zagyvaihoz képest a homok túlsúlya jellemző. Karotázson a 20-50 m vastag felfelé durvuló sorozatok segítik a felismerését [151][152], de kisebb vastagságú felfelé durvuló sorozatok is megjelennek [282]. Elsősorban a pélites rétegekben, melyek teljesen szerkezetmentesek, bioturbáltak, gazdag sekélyvízi molluszka fauna jelenik meg (*Lymnocardium*-fajok, vastaghéjú *Congerina*, *Dreissena*, *Dreissenomya*, és rendkívül nagy diverzitású csigafauna: *Melanopsis*, *Theodoxus*, *Valvata*, *Micromelania*, *Pyrgula*, *Bithynia*, *Viviparus*, *Gyraulus*, stb.) (160. ábra).



160. ábra *Limnocardium* kőből közép- durvaszemű homokban

PAET-27_74,55_PC02-0122



161. ábra Kagylóhéj-töredék és -lenyomat a rétegzetlen, szürke agyagban

PAET-30_0369,67_DSC_0036.JPG

A finom- és aprószemcsés homokrétegekben lencses és hullámos rétegzés, kereszt- és síklemezesség (163. ábra), konvolúció és egyéb vízkiszökési szerkezetek is előfordulnak, egyszerű vertikális és ferde járatok gyakoriak [241][282]. A középszemcsés homok szerkezetmentes vagy keresztretegzett, az alján agyagkavics lencsék lehetnek. A szervesdús aleurolit rétegek gyökérnyomosak, pedoturbáltak, csomósak, rögösek, néha tarka foltosak. A formáció a selfre épülő delták sorozatából áll, egy-egy delta lebeny kiépülése eredményezi a 20-50 m vastag felfelé durvuló ciklusokat. Az ezt követő kisebb vízszintemelkedés a delták inaktívvá válását, előntését eredményezi a partvonal 50-100 km-es hátralépésével. A selfen ezután nyíltvízi molluszkás agyag-aleurolit ülepedik a prodelta régióban, amit az újabb delta előreépülése a sekély vízmélység és a nagymértékű üledékbeszállítás következtében gyorsan követ. A különböző okból erősen süllyedő területeken ezek a deltaciklusok nagyobb számban, míg a kevésbé süllyedő aljzatmagaslatti területeken kisebb számban következnek egymásra. Mivel eközben a selfperem is épül előre, a sorozat alsóbb deltáin a prodelta-torkolati zátony kifejlődések uralkodóak, míg a felsőbbek vékonyabbak és a deltasíksági mocsarak/lápok üledéke a domináns (162. ábra). Az egyes üledékfáciesek részletes környezeti értelmezését ld. a Somlói és Tihanyi Tagozatok képződményleírásánál [372].



162. ábra 6 cm vastag lignitréteg márgás kőzetlisztben

PAET-26_202,8_P703-0041

Az Újfalu Formációhoz kapcsolódhatnak kisebb-nagyobb völgykitöltések is, melyek egy-egy deltasíksági medernél jóval nagyobbak, összetett szerkezetűek. Ezeket áthalmozott prodelta-deltasíksági-édesvízi-szárazföldi kevert faunájukról, különböző méretű feltépett agyagtömbökről és középszemcsés keresztretegzett homokkitöltésükről lehet megismerni. Kisebb, azaz 10-30 m nagyságrendű vízszintesek nyomát őrzik. Ezek azonban „ipari” felbontású szeizmikus szelvényeken nem ismerhetők fel. Medencékben az Algyői Formációra, kiemelt hátakon gyakran vékony Endrődi Márgára települ, mindkét esetben a kőzettani váltás drasztikus. Felső határát, azaz a Zagyvai Formáció kezdetét a brakkvízi fauna eltűnésénél, a kismedrekkel szabdalta, mocsaras, oxigénszegény deltasíkságot felváltó, jobban szellőzött ártéri, alluviális síksági agyagok és hozzájuk kapcsolódó nagy mederkitöltések megjelenésénél vonhatjuk meg. A formáció kora a paksi területen kora 8-6,8 millió év.

A pannóniai képződmények részletesebb ismertetésével az 1.3.19 Földtani modellezés összefoglaló és értékelő jelentés 2.4-es alfejezete foglalkozik [372].



163. ábra A finom- és aprószemcsés homokrétegekben lencsés és hullámos rétegzés, kereszt- és síklemezesség

A: Keresztlemezés finomszemű homokkő (PAET-27_43,4_PB15-0094), B: Keresztlemezesség az agyagos, finomhomokos kőzetlisztben (PAET-30_0080,84-0081,00_PC020054.JPG), C: Keresztlemezesség csillámatorlatos finomszemű homokban (PAET-26_280,0_P706-0050).

3.1.1.1.5 A terület negyedidőszaki képződményeinek ismertetése

Klasszikus értelemben vett földtani térképezés a tervezett telephely szűkebb – 400 km²-es – környezetében történt, 1:10.000-es méretarányú felvételi lapokon. A terepi felvételek alapján készült el az 1:25.000-es méretarányú fedett földtani térkép. A tervezett telephely tágabb – 3600 km²-es – körzetében földtani reambuláció történt, melynek végterméke egy 1:50.000-es méretarányú reambulált földtani térkép. A képződmények bemutatása a térképek jelkulcsa alapján történik.

A térképek jelkulcsa nagy részletességgel mutatja be a két területen elkülönített negyedidőszaki képződményeket, melyek a vizsgált földtani környezet csaknem 100%-át borítják. Mindkét térképváltozat estében a jelkulcsi elemek indexelése az elfogadott hazai negyedidőszaki felépítést tükrözi: genetika, kor, kőzetösszetétel. A szűkebb területen elkülönített 75 negyedidőszaki földtani index természetesen szoros kapcsolatot és átfedést mutat a tágabb terület 104 elemével. A különbségek bemutatására a részletes leírásoknál kerül sor.

A terület negyedidőszaki képződményeinek tárgyalása ezeken a jelkulcsokon alapul, az elkülönített földtani egységek genetikájuk alapján, korban idősödve kerülnek ismertetésre. Miután a különböző genetikai típusok képződése a negyedidőszak során számos alkalommal ismétlődhetett, az ismétléseket elkerülendő ezek egy helyen, a képződési környezetnek megfelelően lettek összevonva és ismertetve. A kőzetösszetétel indexelésnél az alkalmazott rövidítések a szemcseméret frakción alapulnak: a=agyag; al=aleurit (kőzetliszt); h=homok; k=kavics; illetve leggyakrabban ezek kombinációja jellemzi a képződményt.

A felszíni képződmények részletesebb ismertetésével az 1.3.19. Földtani modell összefoglaló és értékelő jelentése 2.5 fejezete foglalkozik [372]. A fúrások negyedidőszaki rétegsorainak beépítése a már elkészült sekélyfúrási jelentés megfelelő fejezeteinek felhasználásával történt [373].

Antropogén képződmények – Újholocén – Qh2

Szűkebb terület: a_Qh2; a_Qh2_im (iszaplerakó)

Tágabb terület: a_Qh2; a_Qh2_im (iszaplerakó); a_Qh2_mh (meddőhányó)

Az Újholocén üledék-felhalmozásnak a többi kortól alapvetően eltérő, lényeges tényezője az emberi tevékenység. Nyomait részben régészeti leletek (pl. római limes), részben a lakott településeken végzett feltöltések őrzik. Ez utóbbiak a területen elsősorban Pakshoz kötődnek és főképp az Atomerőmű területét, környezetét jellemzik, az iszaplerakókkal együtt.

Ezen kívül a természetes környezetet nagyobb mértékben befolyásolják a bányászat hatásai. Ezek részben táji sebhelyekként jelentkező külszíni bányák, kisebb-nagyobb fejtések, melyek többségét, bár bezárták, a környezetbe való visszaillesztése, rekultivációja nem történt meg. További területeket foglalnak el a korábbi és jelenlegi bányászat során kialakított meddőhányók, amelyek többségükben homok és agyag kinyeréshez köthetők a vizsgált területen. E meddőhányók egy része már természetes növénytakaróval borított, s bizonyos mértékig belesimult környezetébe, egy részüknél azonban ez a folyamat még el sem kezdődött. Részben ezekhez a felhagyott bányákhoz-fejtésekhez köthetők az illegális és legális személerakó helyek is.

Folyóvízi képződmények – Újholocén – Qh2; Holocén általában – Qh; Óholocén – Qh1; Felső-pleisztocén–Holocén – Qp3-h; Felső-pleisztocén–Óholocén – Qp3-h1; Felső-pleisztocén – Qp3; Középső-Felső-pleisztocén – Qp2-3

Szűkebb terület: f_Qh2; f_Qh2_al; f_Qh2_h, al; f_Qh2_h; f_Qh2_al, h; f_Qh; f_Qh_a, al; f_Qh_h, al; f_Qh1_al; f_Qh1_a, al; f_Qh1_h, al; f_Qh1_h; f_Qh1_al, h; f_Qp3-h1_h; f_Qp3-h1_h, al;

Tágabb terület: f_Qh2; f_Qh2_al; f_Qh2_h, al; f_Qh2_h; f_Qh2_alh; f_Qh_a, al; f_Qh_h, al; f_Qh_al, a; f_Qh_al, h; f_Qh1; f_Qh1_al; f_Qh1_a, al; f_Qh1_h, al; f_Qh1_h; f_Qh1_al, h; f_Qp3-h; f_Qp3-h_h, al; f_Qp3-h_h; f_Qp3-h_k, h; f_Qp3-h1_h; f_Qp3-h1_h, al; f_Qp3-h1_a, al; f_Qp3-h1_al, h; f_Qp3_h, al; f_Qp3_al, h; f_Qp3_h; f_Qp2-3_h, al

Fúrásokban: fQp-h

A térképezési terület alsó-középső-pleisztocén folyóvízi képződményeit [3] írta le részletesen a Hegyhát területéről. Ezek a Tengelici Vörösayag Formációval és az idős löszképződményekkel összefogazódva ismertek, pl. Kisszékely környékén. Hőgyész-Diósberény környékén az idős lösz helyettesíti finomszemcsés folyóvízi összlet [163].

Jelen kutatás során a PAET-jelű kutatófúrások nem tártak fel ebbe a korba sorolható folyóvízi képződményt. Vékonyréteges, finomszemcsés, kvarter molluszkákkal jellemzett folyóvízi üledékek tárulnak fel, pl. a Hegyhát É–ÉNy-i részén Tolnanémedi környékén a Tengelici Vörösayag Formációval összefogazódva, illetve a Hegyhát É-i peremének suvadásos összleteiben. A Dél-Mezőföldön Paks, Földespuszta, Vajta térségében vastag

folyóvízi homoktestek felszíni feltárásai látszanak, melyek pontos rétegtani helyzete egyelőre nem tisztázott.

A dombvidéki területek folyóvízi képződményeinek másik csoportja döntően szintén feltárásokból ismerhető meg. Ezek a képződmények finomszemcsés ártéri, ártéri mocsári aleuritből, szerves festődéses, agyagos, finomhomokos aleuritből, finomhomokból, valamint ártéri és durvább szemcsés meder üledékek váltakozásából állnak. Az összlet egyes szintjeit Ramann-féle barna erdőtalaj fedi, amilyen az Idős Lössorozat Felső Összletében jellemző. Ezeket a folyóvízi képződményeket több helyen csernozjom barna erdőtalajjal tagolt fiatal löszképződmények fedik. Ilyen képződmények nyomozhatók nagyobb területen, pl. Dunaföldvár környékén (4315, 4319 feltárások), illetve lokálisan a Hegyháton, Murga belterületén (4245, 4246 feltárások).

A vizsgált területen, a felszínen is nyomozható, legvastagabb ismert negyedkori folyóvízi képződmények a Duna üledékei. Ezek a Solti-síkságon, a Sárközben és a jobb part menti sávban Bölske és Mőzs közötti területen települnek. A Duna üledékeit viszonylag nagyszámú víztermelő és kavicskutató fúrás is feltárta. A PAET-jelű fúrásokból 7 db fúrta át az atomerőmű területén, a közvetlen közelben mélyült fúrások közül a 30 m-es, vagy annál mélyebb fúrások úgyszintén harántolták a dunai rétegeket. Az erőmű környezetében terepszint alatt mintegy 23,0-28,0 m közötti átlagos mélységben van a dunai homokos kavics alatti pannóniai fekü. Legtöbb helyen ehhez hasonló üledékvastagsági adatok ismeretesek, Azonban, Akasztó–Császártöltés–Kalocsa térségében 60,0-90,0 m-nél is mélyebben van a képződmény feküje (75. táblázat).

A legidősebb felszíni, felszín közeli Duna üledékek Paks-Mőzs között a dombság előterében húzódó pár km széles terasz-szintet építették fel. A teraszt a felszínen változó vastagságú futóhomok fedi. Nagyobb szélgödrök (eolikus ablakok) területén szinte felszínen van a folyóvízi üledék. A felszíni feltárásaiban jól rétegzett, pados közepszemű folyami homok, és kisebb részben iszapos, finomhomokos ártéri szakaszok jellemzik (164. ábra). Az erőművi fúrások jól feltárták a terasz mélyebb szakaszait is. Ezek alapján az látszik, hogy a zonális csernozjom talajjal borított néhány méter vastag iszapos, finomhomokos ártéri üledék alatt két-, vagy három durvatörmelékes folyóvízi félciklus van, melyek felfelé finomodó szemcseméretűek és homokos kavics, kavicsos homok, homok építi fel őket.

75. táblázat A Duna üledékek jellemző fekü mélysége a terület néhány fúrásában

TELEPÜLÉS	JEL	EOVX	EOVY	Z mBf	Fekü (m)
Akasztó	PAET 10	664869,3	147797,4	93,98	93
Császártöltés	PAET 22	661333,5	119935,4	110,8	91,7
Decs	B-7	627832	103972	88,42	32,5
Dunaföldvár	B-29	640743	163119	96,11	10
Dunakömlőd	PAET-34	639512,3	144835,3	92,6	14,8
Dunaszentbenedek	PAET 13	639541,4	137594,4	91,68	32,5
Dunaszentgyörgy	PAET 18	629495,5	130696,8	101,75	29,8
Harta	K-40	650305	148138	95,31	29
Homokmégy	PAET 20	650240,5	125891,2	90,96	81,5
Kalocsa	B-131	645653	132255	91,31	70
Kalocsa	K-104	644480	129904	93,1	63,5
Ócsény	B-4	627537	107939	88,74	32

TELEPÜLÉS	JEL	EOVX	EOVY	Z mBf	Fekü (m)
Paks	B-129	635354,9	141674,4	93,58	41
Paks	I-2-C	635035,8	137950,2	97,08	24,6
Paks	I-4-C	635414,7	137906	96,91	28,2
Paks	I-6-D	635663,5	137927,8	96,5	29
Paks	II-2-D	634919,6	137737,8	97,16	27,6
Paks	II-4-C	635198	137771	96,96	27
Paks	II-6-D	635408	137747	96,87	26,2
Paks	III-2-C	634786,3	137467,3	97,02	23,6
Paks	III-4-C	635017,2	137502,5	97,17	26,3
Paks	III-6-D	635240,1	137514,2	97,33	28,5
Paks	IV-2-D	634808,3	137225,4	97,04	25,7
Paks	IV-4-C	635054,9	137280,8	96,56	27
Paks	IV-6-D	635195,2	137294,6	97,22	28
Paks	K-61	635554	138534	94,22	26,2
Paks	P-2	637106,2	137113,9	93	27,3
Paks	P-3	633756,7	133664,1	89,5	30,6
Paks	P-4/a	633401,4	135128,2	91,5	27,7
Paks	P-4/c	633414,6	135073,5	90,97	27,3
Szalmár	PAET 15	651332,9	136670,6	92,55	86,5
Szekszárd	B-37	625769	112135	89,7	22,4
Tolna	K-55	629756	121105	100	33,8



164. ábra Folyóvízi (Duna) teraszképződmény Fadd közelében (4212. feltárás)

[mértékléc hossza 115 cm]

A Duna holocén ártere típusos fonatos alluviális térszín, elhagyott medrek, parti gátak, övzátonyívek, sarlólaposok, mocsaras mélyedések bonyolult hálózatával. Ilyen terület a Solti-síkság a Solti-magaslat és a Tétel-halom kivételével, a Sárköz és a jobb part Madocsa,

Dunaszentgyörgy, Fadd, Dombori vidékén. A felszint nagyobb részen finomszemű ártéri iszap, finomhomok, iszapos agyag, kisebb részben mederhomok borítja. Az árvizektől mentes legmagasabb térszínek, az ún. parti gátak környezete. Ezek a legmagasabb morfológiai szintet foglalják el és fejlett terasz-csernozjom, vagy réti-csernozjom talajuk van. Az alacsonyabb morfológiai szintben lévő képződmények fiatalabbak, s humuszos öntés, nyers öntés, szikes, réti és láptalaj változatok fejlődnek rajtuk.

A tágabb térképezési területen a Duna üledékek mellett a Sió-völgyben vannak nagyobb területen felszíni, felszín közeli folyóvízi képződmények. Ezek szinte teljes mértékben megfeleltethetők a fent vázolt dunai kifejlődéseknek. Futóhomokkal fedett folyóvízi terasz-homok nyomozható Simontornya, Pálfa térségében. A Sió holocén ártere két részre tagolódik. Magasabb, óholocén szintjét nagyobb, övzátonyíves kanyarulatok, újholocén szintjét kisebb, övzátonyíves kanyarulatoktól mentes térszínek alkotják (165. ábra).

A Sió-völgyön kívül a térképezési területen csak a Völgységi-patak ártere különül el magasabb és alacsonyabb morfológiai szintre.



165. ábra Övzátonyíves térszíni forma a Sió árteren.

A kivágat 800×500 m

A terület fúrásait tekintve a „mezőföldi” részterület sekélyfúrásai közül mindössze egy, a PAET-07 fúrás harántolt pleisztocén–holocén folyóvízi üledéket. Az idősebb, plio–pleisztocén folyóvízi képződmények jellemzése a Tengelic Vörösayag Formáció leírásánál található, mert szervesen ahhoz az összlethez tartoznak.

A fúrásdokumentáció szerint 10,75–5,3 méter között települ a folyóvízi összlet, de úgy tűnik, hogy csak a vázolt intervallum felső szakasza tekinthető allúviumnak. Ebben a 8,05–5,3 méter közötti tartományban sárga–szürke, finomszemű homok és kőzetliszt vékony rétegei váltakoznak, egy ártéri üledékképződésnek megfelelően.

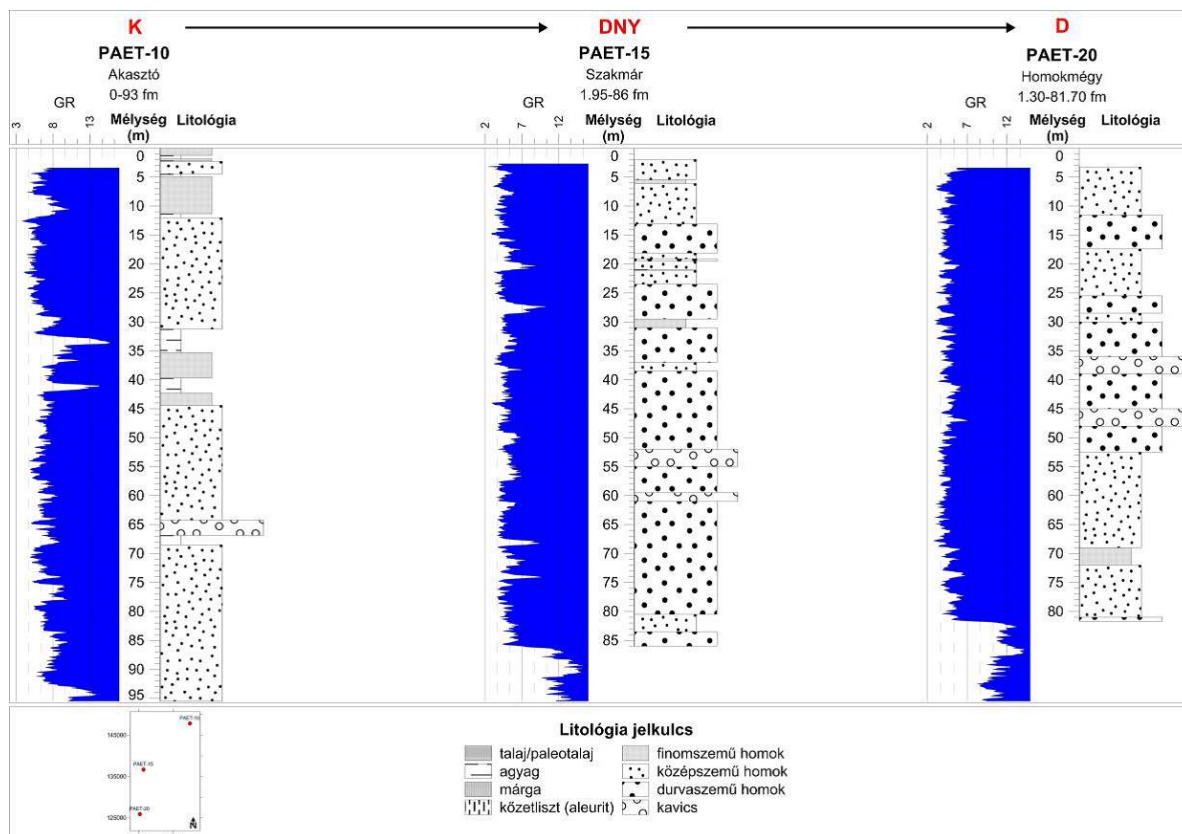
A „mezőföldi” mélyfúrások közül a Gerjennél mélyült, PAET-30 fúrás tárt fel dunai üledéket. A pannóniai képződmények fedőjében eróziós diszkordanciával települ, 0,0–38,8 méter között, a folyóvízi félciklusokból felépülő folyóvízi rétegsor. A legdurvább szemcsefrakció kavicsos durvaszemű homok, a legfinomabb egy 0,3 méter vastag tőzeg réteg, mely finomszemű homokon alakult ki.

A Duna völgyének jellegzetes folyóvízi összlete, a folyó bal partján, a Dunától K-re található meg jóval nagyobb kiterjedésben. A folyóvízi képződmények vastagsága északról dél felé és nyugatról keleti irányba nő (166. ábra).



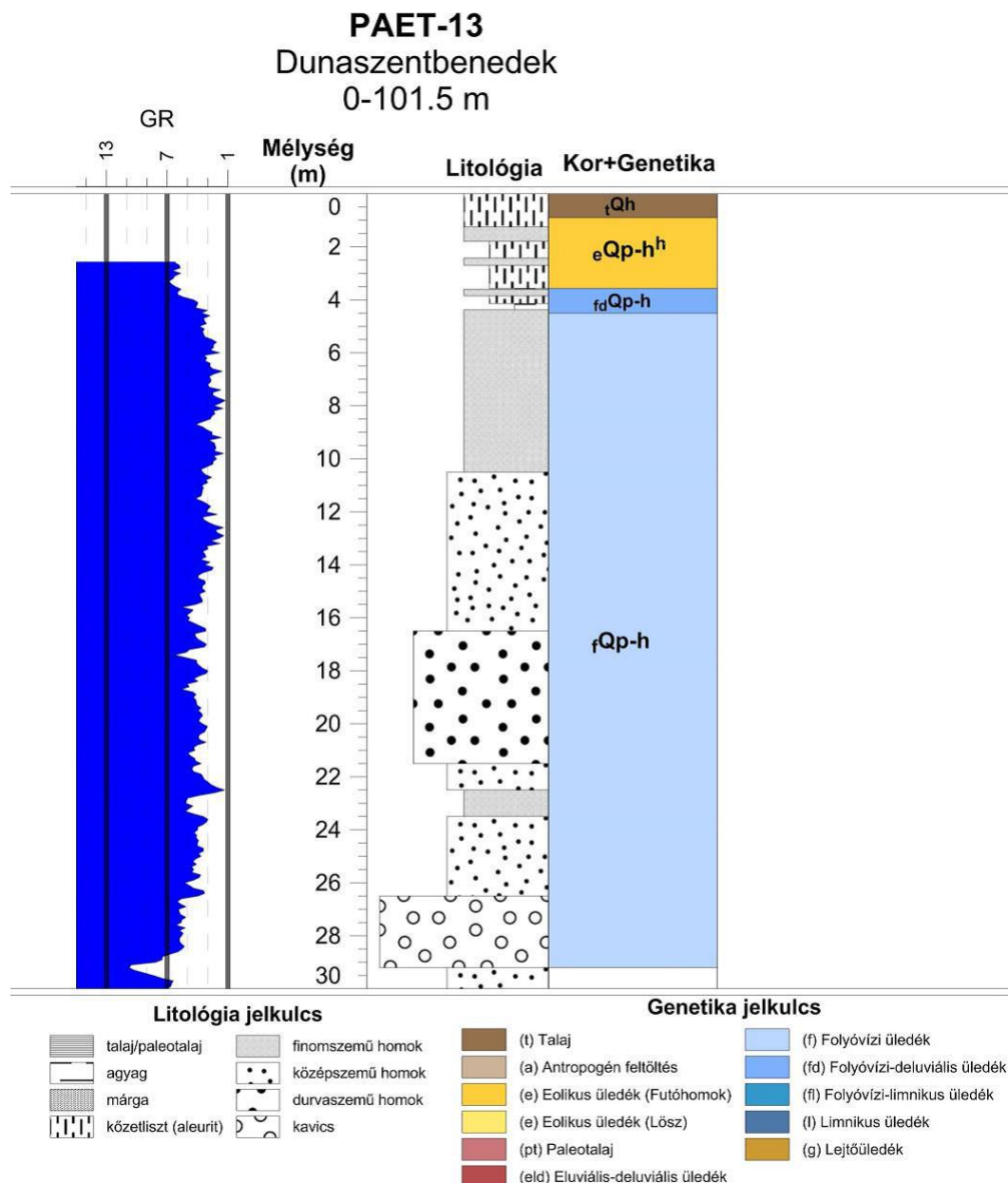
166. ábra A Dunamenti síkság fúrásainak térbeli helyzete, a fúrásszám alatt a folyóvízi genetikájú képződmények vastagsága található

Ezek közül a legkeletibbi fúrás a PAET-10, ettől délnyugatra a PAET-15, melytől délre a PAET-20 fúrás található. E három fúrás rétegsorának kifejlődési körülményei és üledékvastagsága igen hasonló, egymással jól korrelálhatóak (167. ábra).



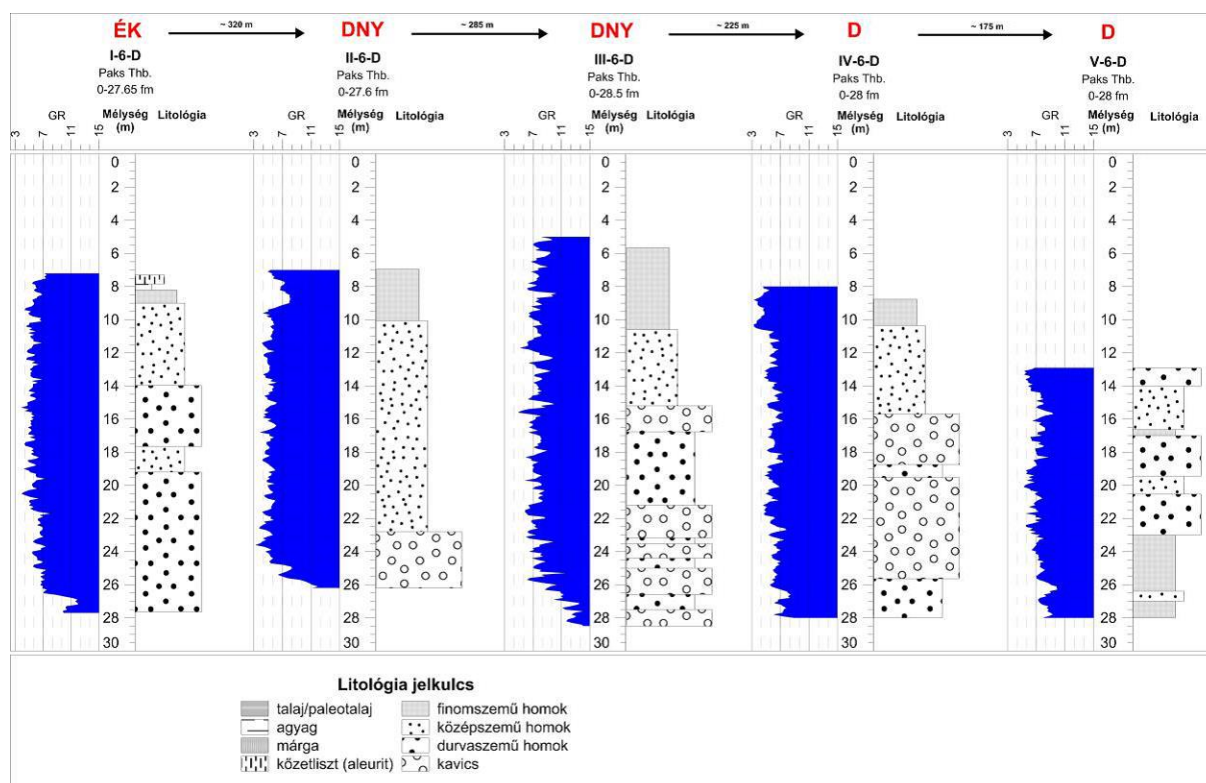
167. ábra A PAET-10, PAET-15 és PAET-20 fúrások folyóvízi üledékeinek litológiai tagolása (maganyag dokumentálás alapján) és a hozzájuk tartozó GR mélyfúrás geofizikai szelvényeik (Z koordináta szerint)

A Dunamenti-síkság nyugati oldalán található a PAET-13 fúrás (168. ábra), mely folyóvízi genetikájának felépítése a telephelyen belül mélyült 7 db D-jelű fúrásban (169. ábra) található folyóvízi üledékekkel mind vastagságában, mind litológiai felépítésében is igen hasonló. Szintén ide tartozik a PAET-18 fúrás, azonban itt már kisebb vastagságban fejlődtek ki a folyóvízi üledékek, és az üledéksorozat felépítése is eltérő. Ez a fúrás a Duna nyugati oldalán található, a telephelytől DNy-i irányban, a folyóvízi üledékeinek vastagsága (16,9 m) hasonló a telephelyen belüli fúrásokéhoz. A megjelenő mederfácies felépítése is az előzőekhez hasonló, felfelé finomodó trendet mutat. A PAET-18 fúrásban a maganyag hiányos volt a folyóvízi üledékeket érintő szakaszon, egyrészt furadékminta állt rendelkezésre, másrészt geotechnikai mintavételezés a dokumentálás előtt történt, így a képződmény elemzése nagy bizonytalansággal terhelt.



168. ábra A PAET-13 fúrás negyedidőszaki képződményeinek rétegsora

A folyóvízi genetikába sorolandó képződmények vastagsága a Dunamenti-síkságon a keleti oldalon 93–81,7 m között jelentkezik, míg az erőmű környezetében és a már Mezőföldön található, PAET-18 fúrásban ezek a képződmények 30–18 m vastagságban találhatóak meg. Az említett nagyléptékű tendenciát figyelembe véve (a folyóvízi fáciesek keletről nyugat felé az egyre fiatalabb korban jelentek meg) a kisebb léptékű változások szintén megmutatkoznak az elemzés során, azaz a területen több kisebb-nagyobb meder aktív volt (akár egy időben is), vertikálisan áttevődhetett az üledék beszállítódás egyikből a másikba, jellemzőek voltak a lefűződés, morotvák, a fő ág mellett több oldalág is aktiválódhatott. Az itt található folyóvízi üledékek kormeghatározása nehézkes, így egyöntetűen minden esetben csak az összefoglaló jellegű pleisztocén-holocén kor adható meg.



169. ábra A telephelyen belül mélyült fúrások folyóvízi genetikájú rétegsora

A kutatási terület DK-i része a Bácskai-síkvidék területére esik. E terület földtani viszonyaira az eolikus és a folyóvízi eredetű képződmények felszíni előfordulása a jellemző. Erre a területre a program során a PAET-22 fúrás mélyült le Császártöltés mellett. A fúrás rétegsora alapján lehetséges a terület folyóvízi üledéksorának jellemzése.

A területen számos képződmény létrejöttében van szerepe a folyóvíznek, a tisztán folyóvízi üledékcsoportba összesen 36,5 m-nyi üledék sorolható, 5 szakaszban 9 réteg volt elkülöníthető, melyek a fúrásban 6 szakaszban limnikus (tavi) üledékekkel váltakoztak (Lásd. részletesen [373] Sekélyfúrási jelentés 6.2.3.3. fejezet).

Folyóvízi-proluviális képződmények – Újholocén – Qh2

Tágabb terület: fp_Qh2

Túlnyomórészt a terület dombsági vidékeire jellemző üledék, mely a kisebb, illetve időszakos vízfolyásokkal rendelkező völgyek felső szakaszán, mint völgykitöltő, a völgytalpakat borító képződmény jelentkezik. Tekintettel arra, hogy ezek a völgyfők a területen túlnyomórészt löszös térszíneken található a folyóvízi-proluviális üledékek anyaga dominánsan kőzetliszt, agyagos kőzetliszt.

Folyóvízi-mocsári képződmények – Újholocén – Qh2; Holocén általában – Qh; Óholocén – Qh1

Szűkebb terület: fb_Qh2_a, al; fb_Qh; fb_Qh_a, al; fb_Qh_al, h; fb_Qh1_a, al; fb_Qh1_al, a

Tágabb terület: fb_Qh2; fb_Qh2_al, a; fb_Qh2_h, al; fb_Qh2_al, h; fb_Qh; fb_Qh_a, al; fb_Qh_al, h; fb_Qh_h, al; fb_Qh1_a, al; fb_Qh1_al, a; fb_Qh1_h, al

A terület kisebb relief energiájú dombjai közt folyó patakok alluviális völgyeinek gyenge lefolyású szakaszain képződött üledékek. Uralkodóan finomszemű agyagos-kőzetlisztes képződmények.

Folyóvízi-deluviális képződmények – *Újholocén – Qh2; Holocén általában – Qh; Felső-pleisztocén–holocén – Qp3-h; Pleisztocén általában – Qp; Középső-felső-pleisztocén*

Szűkebb terület: fd_Qh2_al; fd_Qh; fd_Qh_al; fd_Qh_a, al; fd_Qp3-h; fd_Qp3-h_h; fd_Qp_h; fd_Qp2-3_h

Tágabb terület: fd_Qh2; fd_Qh2_al; fd_Qh2_a, al; fd_Qh_al; fd_Qh_a, al; fd_Qh_h, al; fd_Qp3-h

Az állandó vízfolyásokkal rendelkező kisebb-nagyobb völgyek talpát a patakok alluviális üledékei és a domboldalakra időszakosan beszállított képződmények borítják. Az alluviális-deluviális összletek a lehordási területtől függően változatos közettani összetételűek lehetnek, de többnyire a finomabb frakció túlsúlya jellemző. Képződésük a középső-felső-pleisztocéntól napjainkig jellemző.

Deluviális képződmények – *Újholocén – Qh2; Holocén általában – Qh; Felső-pleisztocén–holocén – Qp3-h; Felső-pleisztocén – Qp3*

Szűkebb terület: d_Qh2_h, al; d_Qh_al; d_Qh_h; d_Qp3-h; d_Qp3-h_al; d_Qp3-h_h, al; d_Qp3-h_al, h; d_Qp3_h

Tágabb terület: d_Qh2_h, al; d_Qh_h; d_Qp3-h; d_Qp3-h_al; d_Qp3-h_h, al; d_Qp3_h; d_Qp3_al, a

Lejtőképződmények név alatt a típusos lejtőüledékek foglalhatók össze (deluviumok) vagyis az areális lejtőlepusztulás útján keletkezett üledékek, valamint a tőlük gyakran nem elkülöníthető gravitációs, kúszásos, vonszolódásos képződmények. A deluviumok áthalmazott, többnyire igen kevert összetételű összletek, melyek elsősorban a domboldalakat, völgyfőket borítják. Ide sorolandók a szoliflukciós, talajfolyásos képződmények is. A negyedidőszakban számos alkalommal, különböző periódusokban felgyorsulhatott a deluviumok képződése az időjárási körülmények és/vagy a morfológiai viszonyok megváltozásával. A térképezési területen elkülöníthető volt pleisztocén és felső-pleisztocén–holocén és holocén lejtőképződmény.

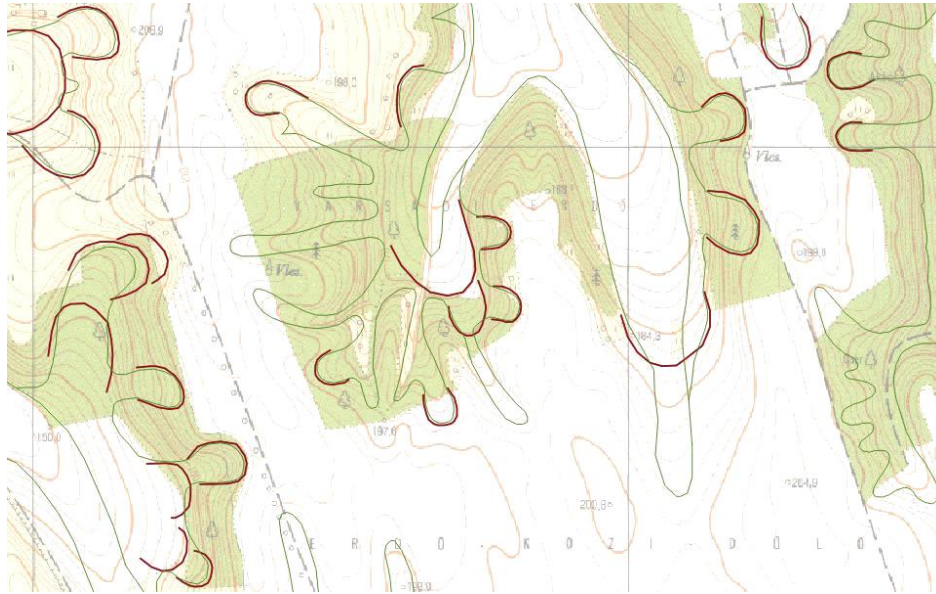
Gravitációs, csuszamlásos, suvadásos képződmények – *Holocén általában – Qh; Felső-pleisztocén–holocén – Qp3-h*

Szűkebb terület: g_Qp3-h

Tágabb terület: s_Qh; sd_Qh

A gravitációs üledékek a domvidéki területek jellegzetes képződményei. A gravitációs mozgás általában gyorsan játszódik le és ennek során nagyobb egybefüggő összletek halmozódnak át. Különösen jellemző ez a jelenség a nagy relief energiájú területrészekre, illetve a Duna, vagy más folyóvíz (pl. Sió-Sárvíz) által erodált völgyoldalakra. A mozgás

lehet szakadással, amikor nagyobb tömbök roskadnak le, vagy völgyoldali suadások, melyek többnyire egy-egy erősen agyagos felépítésű rétegen kialakult csúszó pályával jellemezhető csúszófelülethez kötődnek. A csúszósík leggyakrabban a Tengelici Vörösgyag Formációba tartozó vörösgyag, tarkaagyag, vagy az Idős Lössorozat Paksi Dupla paleotalaja, de lehet fiatalabb paleotalaj, vagy pannóniai agyag is. A csuszamlásos testek — bár eltérő gyakorisággal — a térképezési terület összes löszvidékén felismerhetők, gyakran több generációs suvadási sorozatokat alkotva (170. ábra).



170. ábra Többgenerációs suvadásos térszín Varsád környékén

(a koordinátaháló szomszédos rácspontjainak távolsága 1 km)

A legtöbb csuszamlás a Szekszárdi-dombság Szekszárd-Kakasd közötti É-i peremén, a Völgységi patak völgye mentén, illetve a Hegyhát aszimmetrikus völgyeiben (Kapos, Donát-patak, Hidas-patak) a meredekebb oldalak mentén található (171. ábra).



171. ábra Idős löszképződmények csúszása pannon felszínem (Alsópépuszta, 4217 feltárás)

a mértékléc hossza 115 cm

Mocsári-, deluviális-mocsári-, tavi-mocsári-, tavi képződmények – Újholocén – Qh2; Holocén általában – Qh; Óholocén – Qh1

Szűkebb terület: b_Qh2; lb_Qh2_a, al; b_Qh_a, al; lb_Qh_a, al; lb_Qh_al, a; l_Qh; l_Qh_a, al; db_Qh_a, al; l_Qh1_a, al

Tágabb terület: b_Qh2_al, a; lb_Qh2; lb_Qh2_a, al; b_Qh_al, a+to; lb_Qh_a, al; lb_Qh_al, a; l_Qh_a, al; b_Qh1_al, a

A tavi és a mocsári képződmények együtt tárgyalását az igen hasonló genetika indokolja. Mindkettő sík, lapos morfológiájú területrészekhez kötődik, ahol a lefolyástalan területeknek időszakos tavaiban keletkeztek a kis vastagságú, sötétszürke, barna színű, nagy humusztartalmú agyagos, agyagos kőzetlisztes mocsári üledékek. A tavi-mocsári üledékek keletkezése számos területen az emberi tevékenységhez is köthető. A különböző céllal, emberi beavatkozással létrehozott mesterséges tavak egyúttal recens üledékgyűjtők is. Ezek a változó vízmennyiségű (pl. lehalászás vagy aszályos időszak) mesterséges tavak időnként elmocsarasodnak és ebben az ingadozó vízállású környezetben keletkeznek finomszemű, agyagos, agyagos kőzetlisztes üledékeik. A terület tavi üledékeinek képződése is javarészt emberi beavatkozás eredménye. A nagyobb vízfelületű, többé-kevésbé állandó vízmennyiségű mesterséges tavak finomszemű, agyagos, agyagos kőzetlisztes üledékek sorolhatók ide. Ezek a felszíni üledékeken kívül említést kell tenni a folyóvízi fűrési rétegsorokban harántolt limnikus (pl. PAET-22) betelepülésekről, illetve az esetleges tőzeges rétegekről (pl. PAET-30).

Proluviális-, proluviális-deluviális képződmények – Újholocén – Qh2; Holocén általában – Qh; Óholocén – Qh1; Felső-pleisztocén–holocén – Qp3-h; Középső-felső-pleisztocén–holocén – Qp2-3-h

Szűkebb terület: p_Qh; p_Qh_h; pd_Qh; pd_Qh_h; p_Qp3-h; pd_Qp3-h; pd_Qp3-h_al; pd_Qp3-h_al, h; p_Qp2-3-h; pd_Qp2-3-h

Tágabb terület: p_Qh2; pd_Qh2; p_Qh; pd_Qh; pd_Qh_h; p_Qh1_al; pd_Qp3-h; pd_Qp3-h_al; pd_Qp3-h_al, h; p_Qp2-3-h; pd_Qp2-3-h

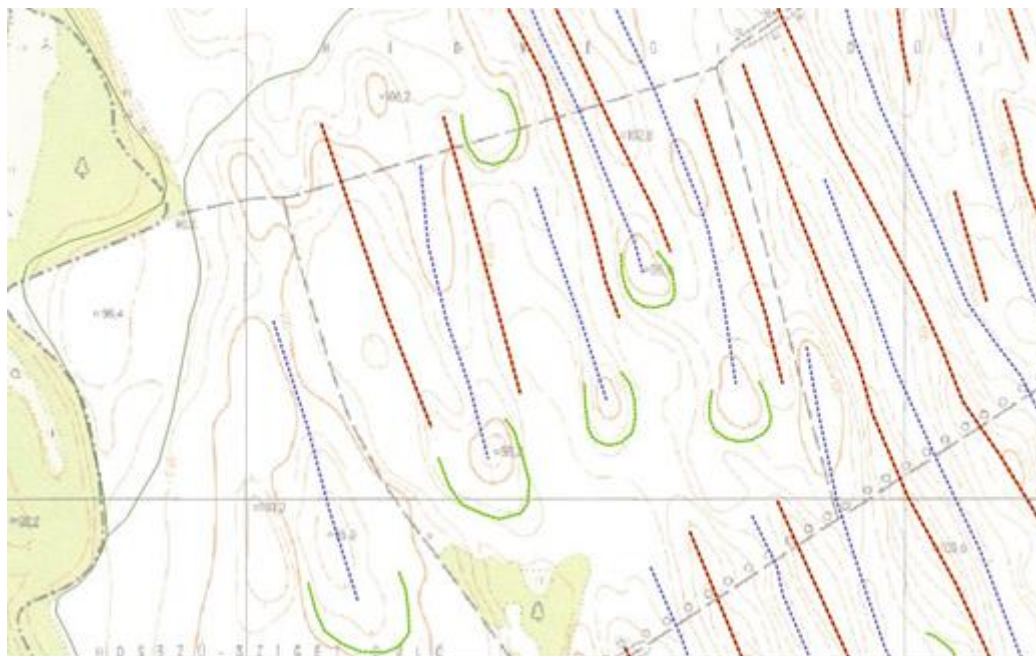
A proluviális-deluviális üledékek részben a lineáris, részben az areális erózió termékei. A domblábi vidékekre lehordott és ott leülepedített összletek képződését lehet ezzel az összetett genetikával értelmezni. Tekintettel arra, hogy a dombvidék a területen túlnyomórészt löszös térszín valamint futóhomok az üledékek anyaga dominánsan kőzetliszt, agyagos kőzetliszt, homok, a proluviális-deluviális üledékek áthalmazott, többnyire igen kevert összetételű összletek. Képződésük szinte folyamatosnak tekinthető a középső-felső-pleisztocéntól napjainkig.

Futóhomok – Újholocén – Qh2; Holocén általában – Qh; Óholocén – Qh1; Felső-pleisztocén–holocén – Qp3-h; Felső-pleisztocén–óholocén – Qp3-h1; Felső-pleisztocén – Qp3; Középső-felső-pleisztocén–holocén – Qp2-3-h

Szűkebb terület: e_Qh2_h; e_Qh_h; e_Qh1_h; e_Qp3-h_h; e_Qp3-h_l, h; e_Qp3_h1_h; e_Qp3_h; e_Qp3_l, h; e_Qp2-3_h; e_Qp2-3_l, h

Tágabb terület: e_Qh2_h; e_Qh_h; e_Qp3-h_h; e_Qp3-h_l, h; e_Qp3_l, h+e_Qp3-h_h; e_l_Qp3-h_al, h (talajosodott); e_Qp3_h1_h; e_Qp3_h; e_Qp3_l, h; e_Qp2-3_h; e_Qp2-3_l, h

A tágabb térképezési területen a legfontosabb futóhomokos térszínek a Dél-Mezőföldön, a Sió-völgy mentén, illetve a Kiskunság területén vannak. Felszíni formakincs alapján két fő forma-együttes különül el. A legnagyobb futóhomok területeket hosszanti dűnesorok uralják. A néhányszor száz m-es, ritkábban a km-t meghaladó jellemzően ÉÉNy-DDK-i irányítottságú dűnék közötti szélsatornák olykor zárt, gyakrabban a szélirány felől nyitott, változó méretű szélgödrökben végződnek (172. ábra).



172. ábra Szélgödrökkel, hosszanti dűnékkel jellemzett futóhomok Kajdacs környékén

A koordinátaháló szomszédos rácspontjainak távolsága 1 km.

A másik jellemző futóhomok térszínen néhányszor 300-500 m széles 10-15 m magas parabolabuckák sorakoznak. Ilyen terület pl. a Paks-Cece közötti futóhomok pászta. Nagy valószínűséggel ebbe a típusba tartoznak a kiskunsági futóhomok területekre eső foltjai is.

A két eltérő morfológiájú kifejlődés szemcseösszetétel, talajfejllettség, epigenetikus bélyegeik alapján tovább differenciálódik. A parabolabuckás kifejlődés durvább szemcseméretű. Jól osztályozott, középszemű homok alkotja, amelyik jól kerekített durvahomok és 4-6 mm-t elérő nagyságú aprókavics szórványokat tartalmaz. A felszínen települő futóhomok testek közül ez látszik a legidősebb eredetűnek. Felhalmozódása, talajosodása nagyrészt már a felső-pleisztocénben megtörtént. Ezt tükrözi a boreális podzolos talajfejlődést kísérő glejesedési jelenségek kialakulása, illetve az altalajban mutatózó kovárányos akkumulációs szintek kialakulása is. A képződmény szemcseösszetétele miatt azonban ez a homoktest nagyon sérülékeny, a felső-pleisztocén podzolos talajosodása nem tudta megkötni. Ezt a homoktípust a szél a holocén folyamán is rendszeresen átmozgatja, ezért a felszínén szinte humuszmentes szélmarásos, vagy akkumulációs szakaszok nyomozhatók és a pleisztocén epigenetikus bélyegeik csak alárendelten, roncsolt formában ismerhetők fel területükön.

A hosszanti dűnéket finom- középszemű homok jellemzi. Területük gyakran nehezen kitérképezhető löszös homok, homokos lösz, lösz átmeneteket alkot. A dél-mezőföldi területek fiatal löszeinek heteropikus fácieseként kifejlődött futóhomok lerakódások fő

tömege a felső-pleisztocén legvégén, óholocén elején halmozódott fel, s rajtuk a holocén jellemző sztyepp klímán jól fejlett mezőségi típusú talajképződés folyt. A zonális talajosodás jól megkötötte a finom-középszemcsés alapkőzetet, s rajta jó termőképességű csernozjom jellegű homoktalaj alakult ki. Ezek felszínét sokkal kevésbé tudja megbontani a jelenkori szél, mint a parabolabuckás változatot.

A hosszanti dűnével jellemzett futóhomok másik területi változata holocén korú. Kifejlődései a Sió-völgy Pincehely-Simontornya közötti szakaszán, valamint a Sárvíz-völgy Mezőszilas-Alap-Cece környéki vidékén vannak. Ezek a képződmények a folyók óholocén homokjának az árterén és az árteret övező peremekre történt holocénbeli áthalmozása útján keletkeztek. Megkötetlenek, vagy gyengén kötött, gyengén humuszos felszínük van.

A homokmozgás az eddig elkészült OSL vizsgálatok előzetes eredményei alapján jelentős részben a pleisztocén és a holocén határán történt. A Mezőföldön, a Solti-halom területén és a Duna-Tisza közti hátság peremén számos futóhomok dűne kora 10 és 15 ezer év közötti. Fiatalabb koradat a térképezés során vett minták között nem volt. A homokmozgás természetesen többször ismétlődött a holocén folyamán. A minták nagyméretű buckák feltárásaiból származnak. A Solti-síkság területén a Duna holocén korúnak tartott ártéri síkságán nagy területet borít futóhomok. Ezek a Solti-halom, Tétel-halom területén fúrásokkal, felszíni feltárásokkal igazoltan a dunai üledékeknél idősebb képződményekre, geomorfológiai értelemben teraszszigetekre települnek.

Paksi Löss Formáció – *Felső-pleisztocén – Qp3; Középső-felső-pleisztocén – Qp2-3; Középső-pleisztocén – Qp2; Pleisztocén – Qp1-3*

Szűkebb terület: e_Qp2-3_l; e_Qp2-3_h, l; e_Qp2-3_l+e_Qh; e_Qp2-3_h, l+eQh; e_Qp1-3_l

Tágabb terület: e_Qp3_l; e_Qp3_h, l; ed_Qp3_l; ed_Qp3_h, l; e_Qp2-3_l; e_Qp2_a, l

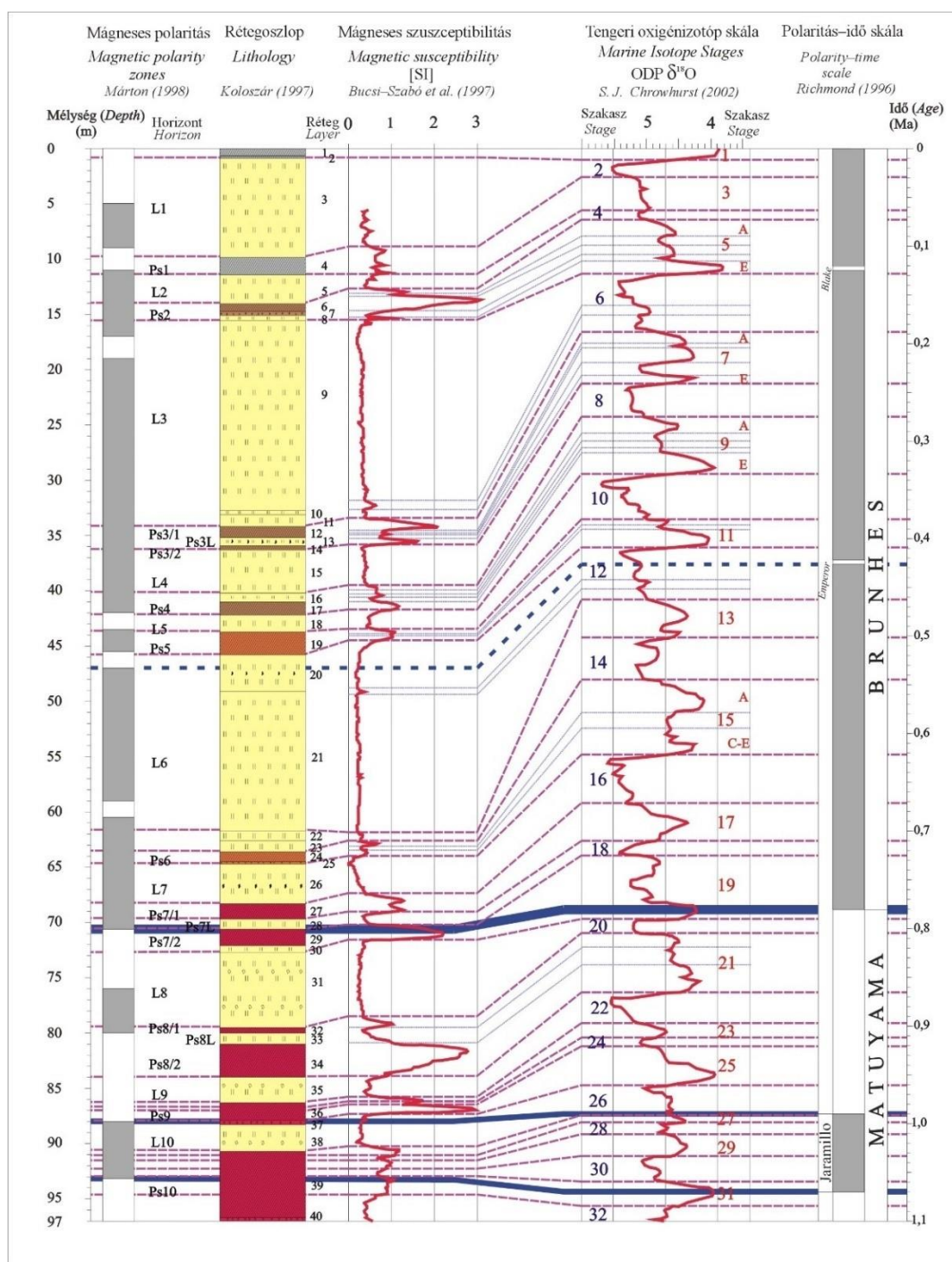
A kutatási terület a Lössformáció klasszikus magyarországi kifejlődési területe. A paksi téglagyári szelvény a talán legrészletesebben vizsgált alapszelvény [180][262], az Udvari U-2A fúrás 0,0-97,0 m közötti szakasza pedig a tágabb térség legteljesebb lösz-rétegsora [164]. Ez a csaknem 100 m vastag lösz-paleotalaj sorozat az L12 horizont kivételével tartalmazza a Paksi Löss Formáció Magyarországon ismeretes teljes rétegsorát (173. ábra 174. ábra).

IDŐ (Ma)	KOR	LITOLÓGIAI EGYSÉGEK						ZONÁLIS PALEO- TALAJOK		
		ALHORIZONTOK			HORIZONTOK					
		löss	talaj		löss	talaj				
0,01	Pleisztocén	Paksi Löss Formáció	Fiatallösssorozat	Felső ösztlet	Ps1L	Ps1/1		L1	Ps1	Csernozjom jellegű paleotalajok
						Ps1/2		L2		
				Alsó ösztlet	Ps3L	Ps3/1		L3	Ps2	Erdősztyepp (csernozjom barna erdőtalaj) típusú talajok
0,125						Ps3/2		L4	Ps3	
					BT			L5	Ps4	
	Idős lössorozat	Felső ösztlet	Ps6L	Ps6/1		L6	Ps5	Barna erdőtalaj típusú paleotalajok		
				Ps6/2		L7	Ps6			
			Alsó ösztlet	Ps7L	Ps7/1		L8	Ps7	Mediterrán típusú paleotalajok	
					Ps7/2		L9	Ps8		
							L10	Ps9		
							L11	Ps10		
				L12	Ps11					
~1,2	Alsó									

173. ábra A Paksi Löss Formáció litosztratigráfiai felosztása a DK-Dunántúlon [164]

Jelmagyarázat: Horizontok: Paleotalaj horizontok: Ps1–Ps11, Löss horizontok: L1–L12. Alhorizontok: Paleotalaj alhorizontok: Ps1/1–7/2, Löss alhorizontok: Ps1L–Ps7L. BT: Bagi tefra

A kutatási területen a Paksi Löss Formáció földtani kor és területi kifejlődés tekintetében is, alapvetően két egységre osztható. Korban elkülöníthető az „öreg lösz” azaz Idős Lössorozat és a „fiatal lösz”, vagyis a Fiatallössorozat. A két fő területi kifejlődés szinterei — területi, morfológiai egységei — pedig a platósíntek illetve a völgyek, lejtős területek környezete.



174. ábra Az Udvari-2A fúrás lösz-rétegsorának párhuzamosítása a Polaritás-ido és a Tengeri oxigénizotóp skálákkal [164]

A Formáció felépítésében legfontosabbak a lösz- és a paleotalaj-horizontok. A legteljesebb kifejlődés a Hegyhát területén nyomozható 11 paleotalaj és 12 löszhorizonttal [164]. A lösszel jellemzett dombvidéki területek legnagyobb részén hiányosabb a formáció kifejlődése 6-7, egyes részeken 8 löszhorizont és 6-7 zonális, egymással párhuzamosítható paleotalaj horizont és néhány helyi, nagyrészt lehordott, áttelepített talaj (paleopedolit) különíthető el. A platósintek típusos löszhorizontjai és a rajtuk kialakult zonális paleotalaj horizontok jellemző rétegtani felosztását a 173. ábra tartalmazza.

A völgyek, lejtős területek környezetének általában az átmozgatott, áttelepített, vagy szerkezetében átalakult löszös üledékei bonyolult kapcsolatban állnak a típusos löszképződményekkel. Azokkal változatosan összefogazódva települnek, sokszor zárványként helyettesítik egymást, epigenetikusan lösz-szerűvé vált alapanyaguk is az idősebb lösz-, és paleotalaj kötegekből származik, ezért ezek a gyűjtőnéven lejtőlösznek nevezett változatok is a Paksi Lösz Formációba lettek sorolva (ed_Qp3_1). Kitérhető jellemző kifejlődéseik főként a Szekszárdi-dombságon, a Hegyháton, valamint a dunai magaspartonokon találhatók (175. ábra).



175. ábra Szintesen rétegzett lejtőlösz a Fialal Löszsorozatban (Dunaföldvár 4316. feltárás)

Több kutatófúrás szelvényében megfigyelhető volt, hogy a fiatal lösz L1, vagy L2 horizontja (a PAET-9-ben L4, L5 horizont) a típusos löszből fokozatosan megy át futóhomokba, amit a karotázsgörbék ellenállás-adatai is alátámasztanak. Ez egyben azt is jelenti, hogy a futóhomok testek fő tömege is a löszhöz hasonlóan a glaciális szakaszokban halmozódott fel.

A Paksi Lösz Formáció az egész térképezési terület Ny-i felén jellemző felszíni, felszín közeli képződmény. Jellemző fekvő képződménye a Tengelici Vörösayag és az Újfalui Formáció, kisebb részben folyóvízi képződmény. A dombsági platósinteken képződött típusos lösz-paleotalaj együttesek teljesebb, folyamatosabb kifejlődések. A völgyoldalak, lejtők szelvényei jellemzően hiányosabbak, lejtő, vagy csuszamlásos üledékváltozatokkal tagoltak, illetve egyes szakaszokat folyóvízi üledék, vagy futóhomok helyettesíthet. A változatos futóhomok löszös homok, lösz típusú üledékváltozás szinte a Dél-Mezőföld teljes löszvidékét jellemzi.

A Formáció természetes feltárásainak többsége a völgyekhez, azon belül is a települések belterületéhez köthető, többnyire lakóházak mögötti rézsúkban, pincékben vannak. Ezen kívül a képződményt több mint 10 térképező-, és kutatófúrás is feltárta. A PAET-jelű fúrások közül a paksi téglagyár közelében mélyített PAET-9 fúrásban volt a legvastagabb és legteljesebb a löszrétegsor, 0,3–79,9 méter között.

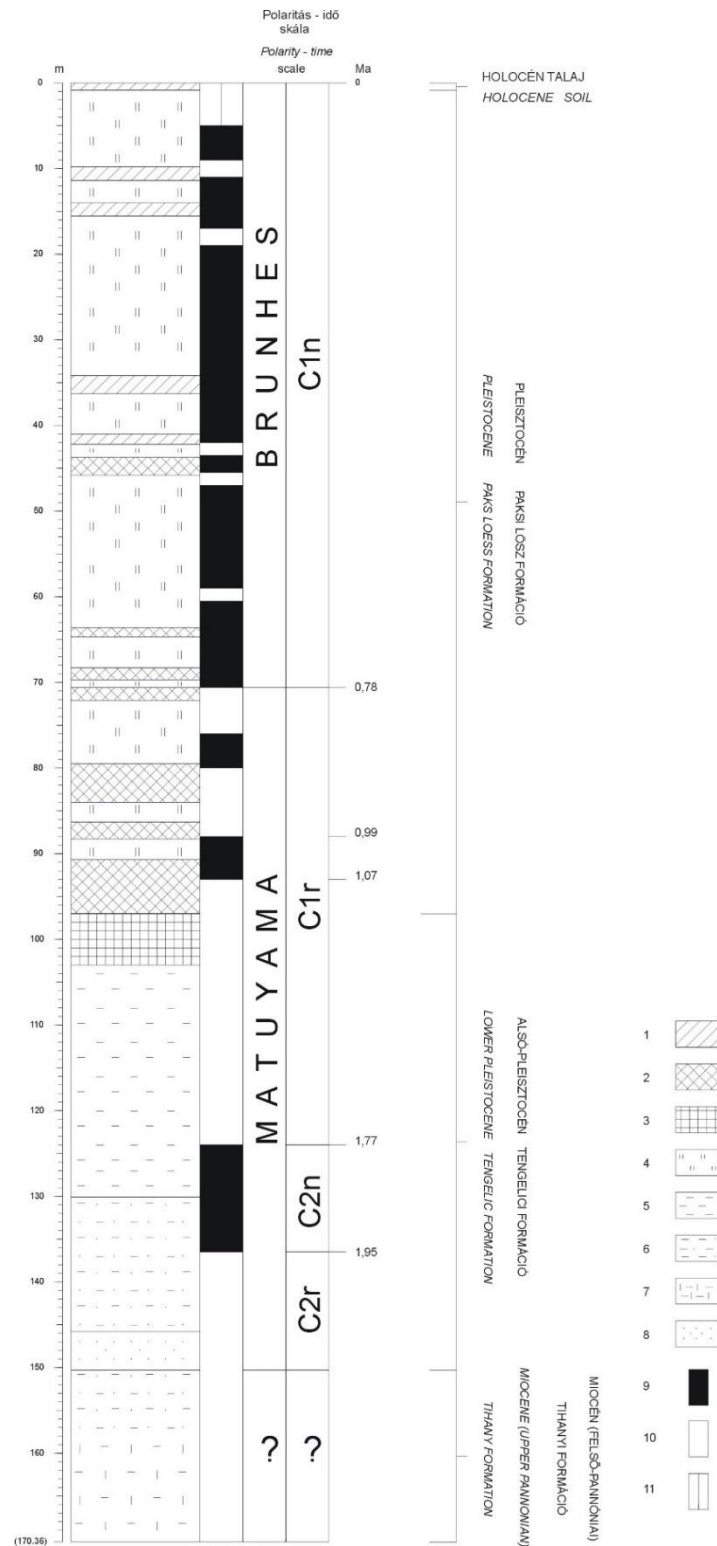
Tengelici Vörösgyag Formáció – Pliocén–Középső-pleisztocén

Tágabb terület: eld_Pl-Qp2_a, al

A Formáció, különösen földtani kora tekintetében nincs egyértelműen definiálva. Litosztratigráfiai egységként 1983 óta ismert a hazai rétegtanban, a Rónai által összeállított — 1983-ban megjelent — kvarter formációtáblázatban [286] szerepelt először. Nevét a Tengelic T–2 fúrásban [126] harántolt alsó-pleisztocén képződmények alapján kapta. A Formáció névválasztásánál nem vették figyelembe a Tolnai Mezőföld területéről már korábban publikált dunaföldvári összlet elnevezést [272], melyet a tengelicihez hasonló kifejlődésű dunaföldvári fúrási szelvények alapján írtak le. A formáció felépítését, rétegtani helyzetét, térségi kifejlődését legutóbb [161] foglalta össze részletesen. Korát a térség sík- és dombvidéki fúrásai paleomágneses adatainak korrelációjára alapozva alsó-középső-pleisztocénnek tartja.

Lényeges, hogy a Villányi-hegység ősgérces adatai alapján a Formáció pliocén korára is vannak adatok [218] [161]. Meg kell jegyezni, hogy a képződmény egyik legteljesebb és jól dokumentált rétegsora, az Udvari U–2A fúrás 97,0 m és 150,3 m közötti szakasza a paleomágneses adatok alapján csak abban az esetben lehet teljes egészében pleisztocén, amennyiben az folytonos. Réteghiány esetén képződése megkezdődhetett a pliocén folyamán. Mivel reziduális málladék és lejtőüledék alkotja a négy szakaszra tagolható rétegsort, valószínű a diszkordancia (176. ábra). A képződmény területen megismert legvastagabb kifejlődéseit az (76. táblázat) tartalmazza.

A PAET-jelű fúrási rétegsorokban számos fúrásban harántolták a Formációt, ezek részletes tárgyalása, valamint a Formáció felépítésében szervesen részt vevő idősebb, plio-pleisztocén folyóvízi képződmények jellemzése a sekélyfúrási jelentésben történt meg (Lásd. Sekélyfúrási jelentés [373] 6.2.1.3. fejezet).



176. ábra Az Udvari-2A fúrás rétegsora, mágneses polaritás zónái és párhuzamosítása a polaritás-idő skálával

Polaritás-idő skála [35] [161] Jelmagyarázat: 1. a Fiatal lösz-sorozat paleotalaj horizontjai, 2. az Idős lösz-sorozat paleotalaj horizontjai, 3. a Tengelici Vörösagyag Formáció paleotalaj horizontja, 4. lösz, 5. agyag, 6. homokos agyag, 7. közetlisztes agyag, 8. homok, 9. normál polaritás, 10. fordított polaritás, 11. nem történt mintázás

76. táblázat A Tengelici Vörösagyag Formáció 40 m-nél vastagabb kifejlődései a tágabb térképezési területen

TELEPÜLÉS	JEL	EOVX	EOVY	Z(mBf)	VASTAGSÁG (m)	TETŐ (m)	TALP (m)
Dunaegyháza	B-2	642796	165720	106,45	50	7	57
Dunaegyháza	K-3	642817	165572	106,06	44,6	5,4	50
Felsőnána	K-3	610583	125478	149,95	61	69	130
Felsőnána	K-6	609344,5	125695,3	146,48	62	42	104
Gyönk	B-4	607176	133933	128	42,3	49,9	92,2
Gyönk	K-5	611062	134411	114,54	46,2	76	122,2
Harc	B-3	617083,4	117487,1	146,74	44	110	154
Harc	B-4	617577,2	117299,9	102,75	94	74	168
Harc	K-2	616857	120711	97,51	92	14	106
Mezőszilas	B-11	606880	163555	106,2	71,6	39	110,6
Mezőszilas	PAET 01	609813,8	164499,3	155,46	42	58	100
Németkér	B-6	628233	152260	149,23	43,3	52	95,3
Pusztahencse	PAET 12	626097	139012,5	184,73	46,5	1,5	48
Szedres	B-8	622067	125481	105,97	48	94,9	142,9
Szedres	K-10	621530,4	126561	105,41	82	48,4	130,4
Tengelic	T-2	134134,1	623331,1	106,5	41,6	19,9	61,5
Tevel	K-5	604837,6	120933,2	181,69	40	68,5	108,5
Tolnanémedi	Tol-2	605360,2	148331,4	204,96	73	84,9	157,9
Udvari	U-2a	610267,3	140053,3	178,08	53,3	97	150,3
Vajta	V-2	620421,3	153325,5	129,24	55	40	95
Zomba	K-4	613877	118073	149,26	64,7	75,3	140

3.1.1.2 A 3D földtani-tektonikai modell elemei

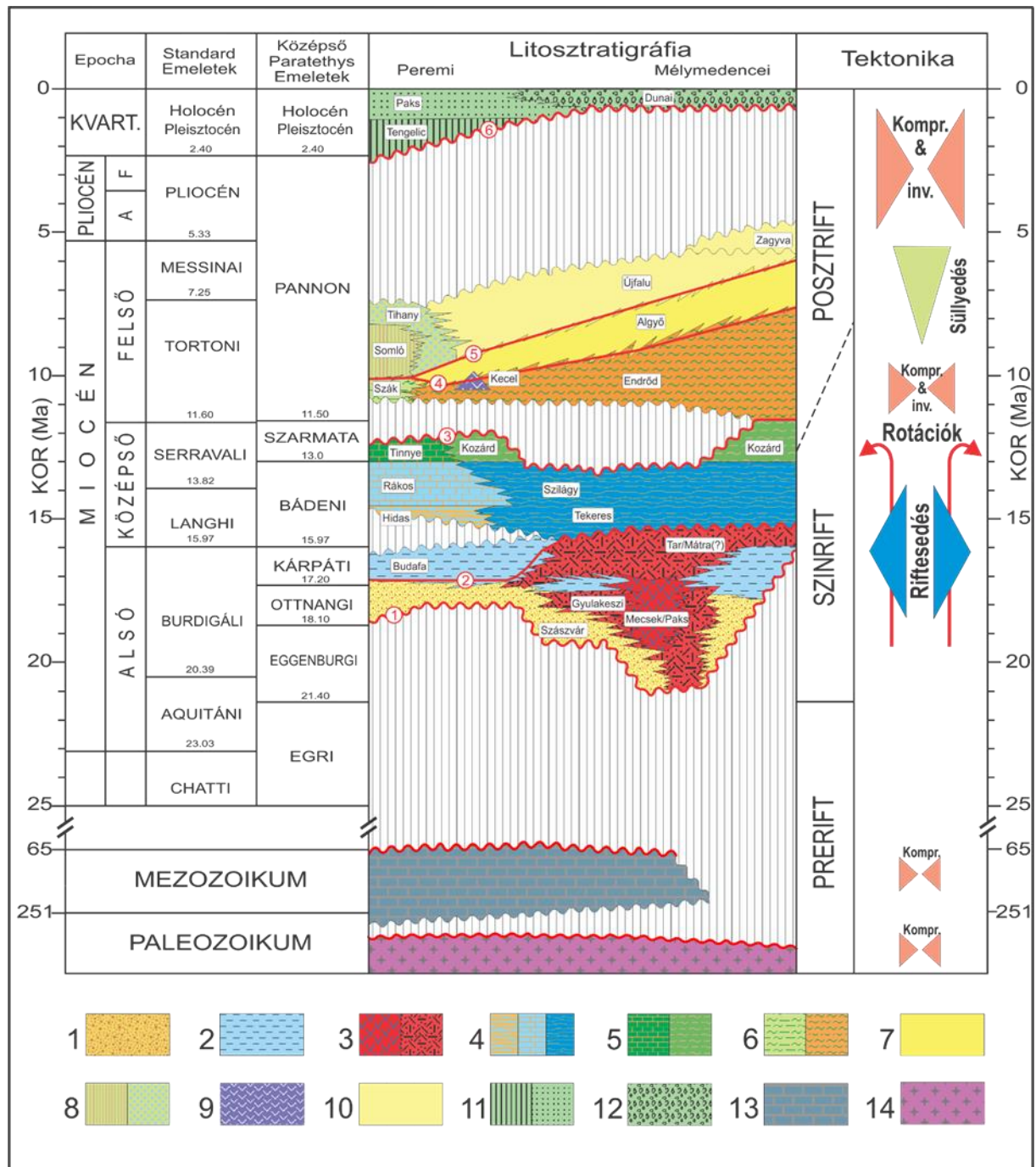
Az alábbiakban a létrehozott 3D földtani-tektonikai modell két legfontosabb adatrendszer kerül ismertetésre: a geológiai határfelületek és a kapcsolódó vetőrendszerek. Először a 3D modell részét képező, regionálisan térképezett geológiai horizontok áttekintése történik meg, melyeket részletesen a 3.1.1.4 fejezet mutat be. Ezt követi a kutatási területen azonosított, és 3D numerikus vetőfelülettel rendelkező vetőkről/vetőrendszerekről az áttekintés. Részletesen a 3.1.1.5.1. fejezet mutatja be a 3D vetőrendszereket a kutatási terület szerkezeti analizise során.

3.1.1.2.1 Főbb képződményhatárok és átnézetes földtani felépítés

A 3D földtani-tektonikai modellt felépítő, regionális jelentőségű geológiai horizontok két fő csoportba sorolhatók:

(1) A „szeizmikus” horizontok azon felületeket jelentik, amelyek regionális térképezéséhez fel lettek használva a rendelkezésre álló archív és az FKP keretében lemért 2D és 3D szeizmikus, valamint fúrési adatrendszerek. E csoportba tartoznak az 1–5 jelű geológiai horizontok (lásd 177. ábra és 178. ábra).

(2) A másik csoportba tartozik a 6 jelű, regionálisan térképezett kvarter fekü horizont, amelynek megszerkesztéséhez mélyfúrási adatok, valamint — lokális jelleggel — sekélygeofizikai eredmények kerültek felhasználásra.



177. ábra A kutatási terület képződményeinek időrétegtani diagramja

A számozott (1-5) piros vonalak a regionálisan térképezett horizontok időrétegtani helyzetét adják meg. Jelkulcs: 1 = alsó miocén tavi-folyóvízi képződmények; 2 = alsó miocén abrázios képződmények; 3 = alsó miocén szubvulkáni amfibolandezit, amely riolit- és riodácit ártufa képződményekkel fogazódik össze; 4 = középső miocén tengerparti szenes-márgás képződmények és biogén mészkövek, amelyek nyíltvízi aleurolitos-márgás és agyagmárga képződményekkel fogazódnak össze; 5 = középső miocén brakkvízi biogén mészkő és homokos agyagmárga, mészmárga; 6 = felső miocén ("alsó pannóniai") tavi medenceperemi márga és nyíltvízi agyagmárga-mészmárga; 7 = felső miocén ("alsó pannóniai") tavi progradáló és aggradáló selflejtő képződmények; 8 = felső miocén ("felső pannóniai") medenceperemi és mocsári agyagmárga, homok, lignit

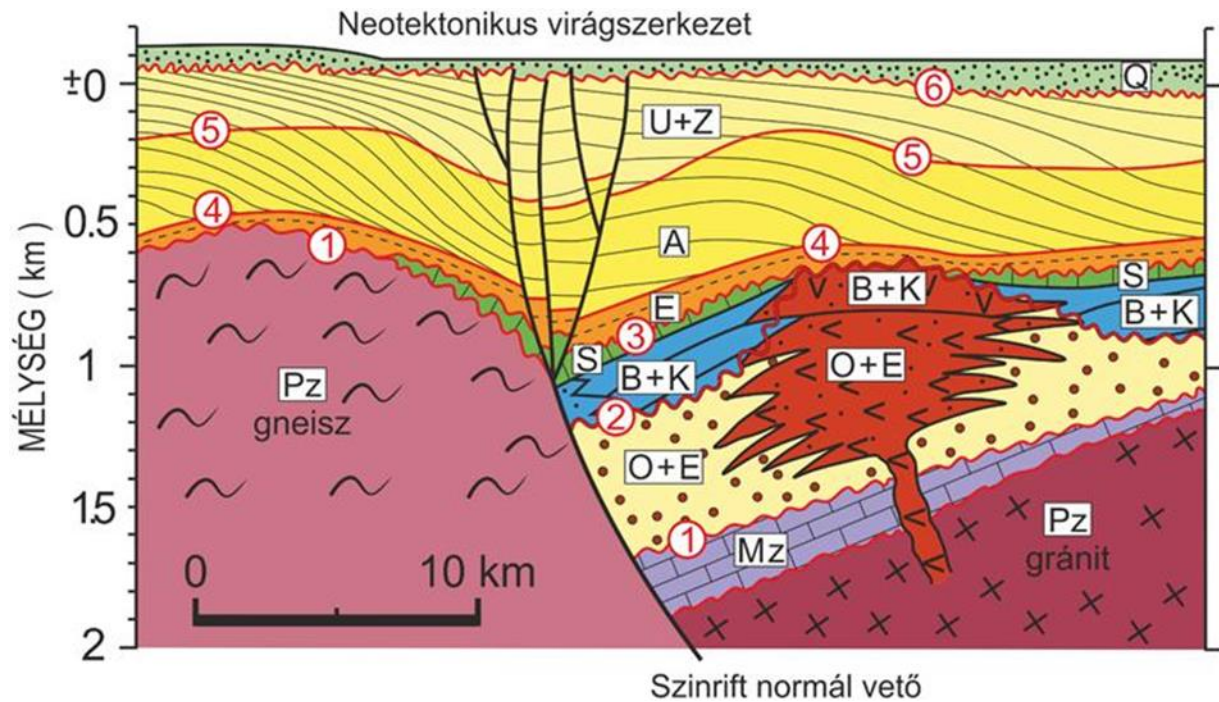
rétegek; 9= felső miocén Keceli Bazalt Formáció; 10 = felső miocén-pliocén ("felső pannóniai") delta és alluviális síkságon képződött agyagmárga, aleurolit és homokkő rétegek ciklikus váltakozásából álló összlet; 11 = Negyedidőszaki lösz-paleotalaj sorozat (Paksi Formáció) és alatta lévő vörös agyag (Tengelici Formáció); 12 = Felső pleisztocén- holocén folyóvízi homok és kavicsos homok, 13 = Permo-mezozoos képződmények; 14 = Paleozoos kristályos kőzetek

„Szeizmikus” horizontok

A 3D földtani modellt felépítő geológiai horizontok (a negyedidőszaki talp kivételével) megegyeznek a terület szeizmikus és fúrás adatokon alapuló, regionális mélyföldtani térképezése során kijelölt formáció határokkal. Az értelmezett geológiai horizontok szeizmikus tulajdonságait, valamint az értelmezés módszertani hátterét a 2.1.2.3.2. fejezet ismerteti, további részletek [378] munkájában találhatóak. Az alábbiakban ezért csak röviden kerül összefoglalásra a regionálisan térképezett geológiai horizontok legfontosabb jellemzői.

A 178. ábra bemutatott sematikus földtani szelvény szemlélteti egyrészt a kutatási terület földtani felépítésének alapvető jellemzőit, másrészt azokat a földtani határfelületeket (számozott felületek), amelyek a kialakított 3D numerikus modell geológiai horizontjait alkotják. Egyazon felületeket, valamint az áttekintő földtani felépítést időrétegtani diagramban a 177. ábra szemlélteti.

A 3D földtani modell rétegtanilag legmélyebb helyzetű geológiai horizontja a pre-kainozoos aljzat, amely a 3.1.1.1 fejezetben bemutatott variszkuszi kristályos kőzetekből (gneisz, csillámpala, illetve granitoidok) és az ezek felett jelentős diszkordanciával települő, új-paleozoos–mezozoos, túlnyomórészt üledékes képződményből épül fel. A pre-kainozoos aljzat teteje egy alapvető fontosságú unkonformitás (1. jelű piros diszkordancia-felület), amely felett igen nagy üledékhézaggal miocén képződmények települnek. Paleogén képződmények a kutatási területen nem ismeretesek. A pre-kainozoos aljzat tetejének értelmezése a szeizmikus szelvényeken nem könnyű feladat, és az értelmezés megbízhatósága erősen függött a felette települő képződmények jellegétől: vékony vagy hiányzó miocén összlet esetében többnyire megbízhatóan kijelölhető volt, míg a vastag törmelékes, illetve vulkáni miocén összletekkel jellemezhető részterületeken a szeizmikus értelmezést nagyobb bizonytalanság jellemezte.



178. ábra A kutatási terület sematikus tektonosztratigráfiai szelvénye és a 3D földtani modellt felépítő geológiai horizontok (1-6) rétegtani helyzete

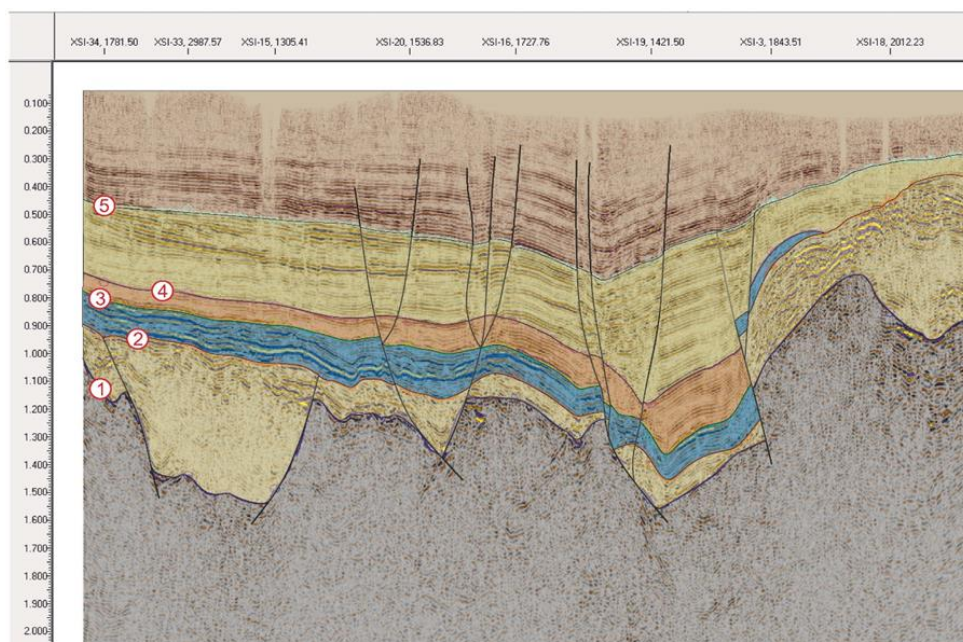
Q= negyedidőszaki képződmények; U+Z= Újfalu és Zagyvai F.; A= Algyői F.; E= mélymedencei pelitekből felépülő Endrődi F.; S= szarmata képződmények; B+K= tengeri partszegélyi és nyíltvízi bádeni és kárpáti rétegek; O+E= alsó-miocén otnangi és eggenburgi törmelékes összlet; B+K= bádeni Mátrai Andezit F. és kárpáti Tari Dácittufa; O+E= otnangi(?) és eggenburgi Gyulakeszi Riolituffa és Mecseki Andezit F.; Mz/Pz= mezozoos, illetve paleozoos aljzat

A paleozoos/mezozoos alaphegység felett nagy üledékhézaggal települő alsó-, és középső-miocén összlet mind litológiai kifejlődésében, mind vastagságában igen nagy változatosságot mutat. A miocén összleten belül az eltérő szeizmikus fáciesek alapján elkülöníthető volt egy többnyire jól követhető határfelület (2. jelű piros hullámos vonal), amely a felső, nyugodt településű, a szeizmikus anyagon rétegzett belső szerkezetet mutató, tengeri középső-miocén (főként szarmata-bádeni) összletet határolja el az alatta települő, gyakran zavart/kaotikus reflexiók képű, idősebb miocén képződményektől. Ezen határfelületnek a 3D földtani modellbe való integrálását az indokolja, hogy markánsan eltérő litológiai, mechanikai és hidrogeológiai paraméterekkel rendelkező összleteket választ el egymástól. A 2. jelű intra-miocén határfelület ritkábban határozott szögdiszkontinuitásaként is észlelhető a szeizmikus szelvényeken. Az alsó-miocén durva-törmelékes teresztrikus összletet (Szászvári Formáció) és a szorosan kapcsolódó vulkáni képződményeket (Gyulakeszi Riolit, ill. Mecseki Andezit F.), továbbá a középső-miocén üledékciklus változatos sekélytengeri- és nyíltvízi képződményeit részletesen a 3.1.1.1 fejezet tárgyalja.

Az alsó- és középső-miocén összletet egy, a Pannon-medence teljes területén kiemelkedő jelentőségű unkonformitás (3. jelű piros hullámos vonal) választja el a kiédesedő Pannon-tó képződményeitől. Ez a határfelület, amely egyben a középső-miocén tengeri üledékes képződmények felső határa is, általában markáns, jól követhető szintet alkot a szeizmikus szelvényeken, és a 3D földtani modell egyik legmegbízhatóbb geológiai határfelületét adja.

A Pannon-tó nyugodt szedimentációs viszonyok között leülepedett, márga-mészmárga képződménycsoportját az Endródi Formációba soroljuk (lásd még 3.1.1.1. fejezet). Ennek teteje (4. jelű piros vonal, 178. ábra és 177. ábra.) — a rendelkezésre álló karotázsgörbéket és furadék leírásokat is felhasználva — általában jól azonosítható a szeizmikus szelvényeken. Az Endródi márga képződésével egyidejű bázisos vulkanizmus terméke a Keceli Bazalt Formáció, amely a kutatási terület K-i szélén jól térképezhető, de összességében csak lokális jelentőségű intra-pannóniai határfelületet alkot. Az Endródi Márga integrálása a 3D földtani modellbe hidrogeológiai szempontból is indokolt.

Az Endródi Formáció felett a kutatási területen hiányoznak a deltalejtő előtti mélymedencében képződő turbidites eredetű képződmények (Szolnoki Formáció). Az Endródi Formációra ezért közvetlenül a Pannon-medencét feltöltő és fokozatosan előrehaladó selflejtő uralkodóan agyagos-közetlisztes, néhol finomhomokos képződményei települnek, amelyek az Algyői Formációba kerülnek (3.1.1.1. fejezet). A kutatási területen kb. DK-i irányba progradáló selflejtő jellegzetes szigmoidális alakú, hajlott reflexiókat (ún. kliniformokat) alkot a szeizmikus szelvényeken. Ezek felső letörési pontjainak (selfperem) követésével jelölhető ki az Algyői Formáció teteje (5. jelű piros vonal; l. 178. ábra és 179. ábra), amelynek meghatározásához a karotázskép is fel lett használva. Az Algyői Formáció tekintetében az archív fúrési rétegsorok teljes revidálására került sor, így a 3D földtani modellbe már egy konzisztens, a modern rétegtani felosztásnak megfelelő formációhatár került be ([168], és 2.1.1. fejezet.).

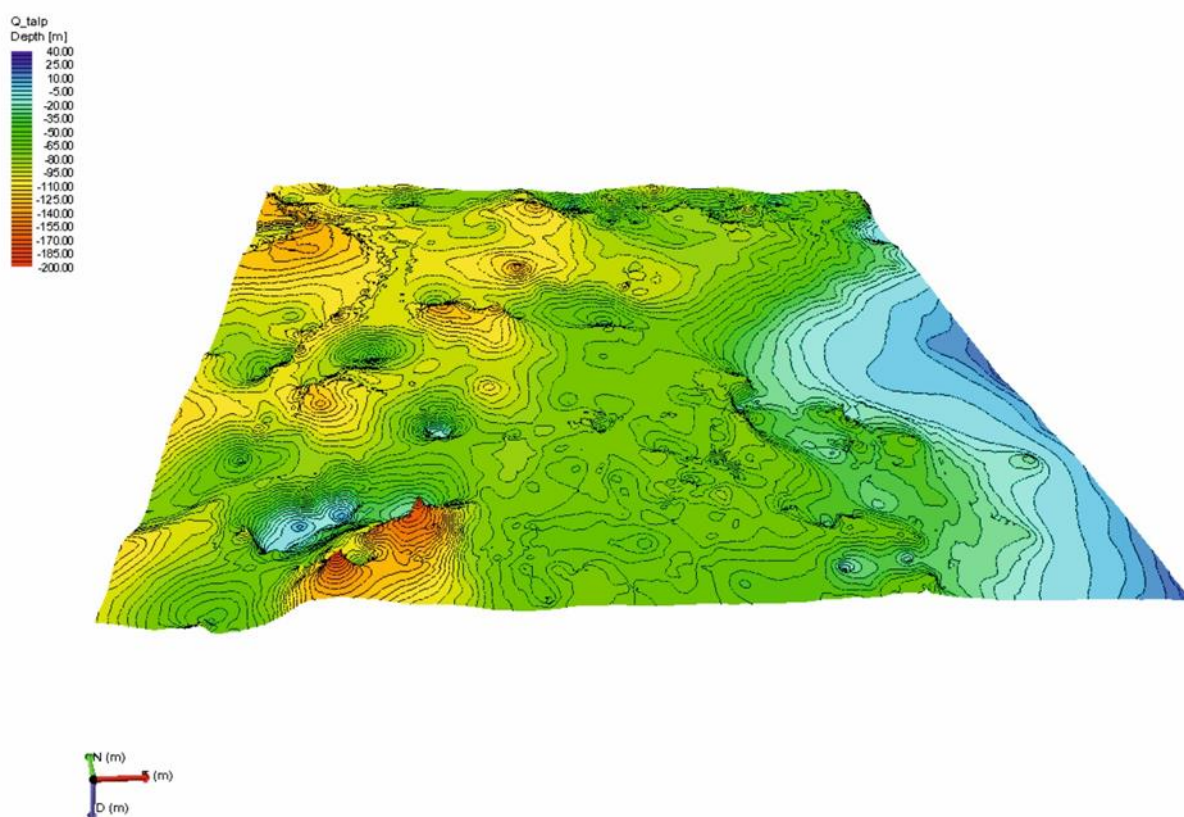


179. ábra Az XSI-13 jelű mintaszelvény értelmezett változata

Az Algyői Formációra delta- és alluviális síkság környezetben képződött, ritmikusan váltakozó homokos-agyagos üledékek települnek, amelyek az Újfalui és Zagyvai Formációk részét képezik. Ezek alkotják a pannon üledékciklus záróképződményeit, amelyek felett a kutatási területen nagy eróziós diszkordanciával változatos litológiai kifejlődésű negyedidőszaki képződmények következnek.

A negyedidőszaki összlethez kapcsolódó horizontok

A pannon és a negyedidőszaki képződményeket egy jelentős diszkordancia felület (l. 6. jelű piros hullámos vonal; lásd 178. ábra és 177. ábra.) választja el egymástól, amely a 3D földtani modell legmagasabb helyzetű, regionális jelentőségű geológiai horizontját (negyedidőszaki fekü) alkotja. E határfelület sekély, felszínközeli helyzete miatt értelemszerűen nem képezhetette az ipari szeizmikus mérések tárgyát. Geofizikai meghatározására célzott vizsgálatokkal és lokális jelleggel került sor (pl. S-hullám szeizmikus és MUEL mérések; l. [353]). A horizont megszerkesztésére alapvetően a kutatási területen korábban és az FKP (Földtani Kutatási Program) keretében lemélyült fúrásokban meghatározott negyedidőszaki képződmények, továbbá az említett geofizikai vizsgálatok eredményeinek figyelembevételével került sor. A kvarter fekü határfelületre a 180. ábra mutat be illusztrációt.



180. ábra A negyedidőszaki fekü horizont perspektivikus nézete dél felől. 5-szörös túlmagyarázás, a z-koordináta ábrázolása lefelé pozitív

A regionális jelentőségű kvarter fekü horizont mellett elkészült további két, a negyedidőszaki összlethez kapcsolódó, de területileg lényegesen kisebb elterjedésű geológiai horizont modellje is: a Tengelici Formáció talp és a felső futóhomok-szint talp, (l. 3.1.1.6 fejezet 224. ábra). E lokális jelentőségű negyedidőszaki felületek megszerkesztését a kutatási terület földtani felépítésének és legfiatalabb fejlődéstörténeti szakaszának (ún. neotektonikus szakasz; l. 3.4.1 fejezet) minél pontosabb megismerése tette indokolttá. A negyedidőszaki fekü horizonthoz hasonlóan ez utóbbi felületek is döntően fúrási adatok felhasználásával készültek (6. függelék).

Az említett horizontok szerkesztéséhez felhasznált fúrási adatok (1457 db) a jelen kutatást zömmel tíz évvel megelőző átértékelésekre alapultak ([206]), így az FKP során

mélyült fúrásokkal történő összehasonlításban több lokális ellentmondásba is ütköztek. Mivel ezen vizsgálatok időben és céljukban is eltértek, ezért egy adategyeztetés, valamint egy ugyan kisebb léptékű, de a problémás területekre koncentráló átértékelés előzte meg a negyedidőszaki szintek szerkesztését. Az átértékeléshez megközelítőleg 180 mélyfúrás-geofizikai mérésekkel rendelkező kút állt rendelkezésre. Az átértékelt fúrási adatokon felül a már említett geofizikai adatokkal kiegészítve hibrid (IDW és kriging, 1:2 súlyozott) interpolációval készültek el a szinttérképek.

A Tengelici Formáció, amely a kutatási terület legidősebb negyedidőszaki képződményét képviseli (sőt, képződése helyenként akár már a késő-pliocénben megkezdődhetett; [161]), nem regionális elterjedésű a vizsgált területen. E képződmény elkészült talpfelülete a felszíni térképezési eredményeken túl alapvetően fúrási eredményekre (ideértve a rendelkezésre álló lyukgeofizikai mérések adatrendszerét is) támaszkodik. Lehatárolására nem létezett elfogadott térkép, ezért a foltok előfordulásának meghatározása indikátor krigeléssel történt.

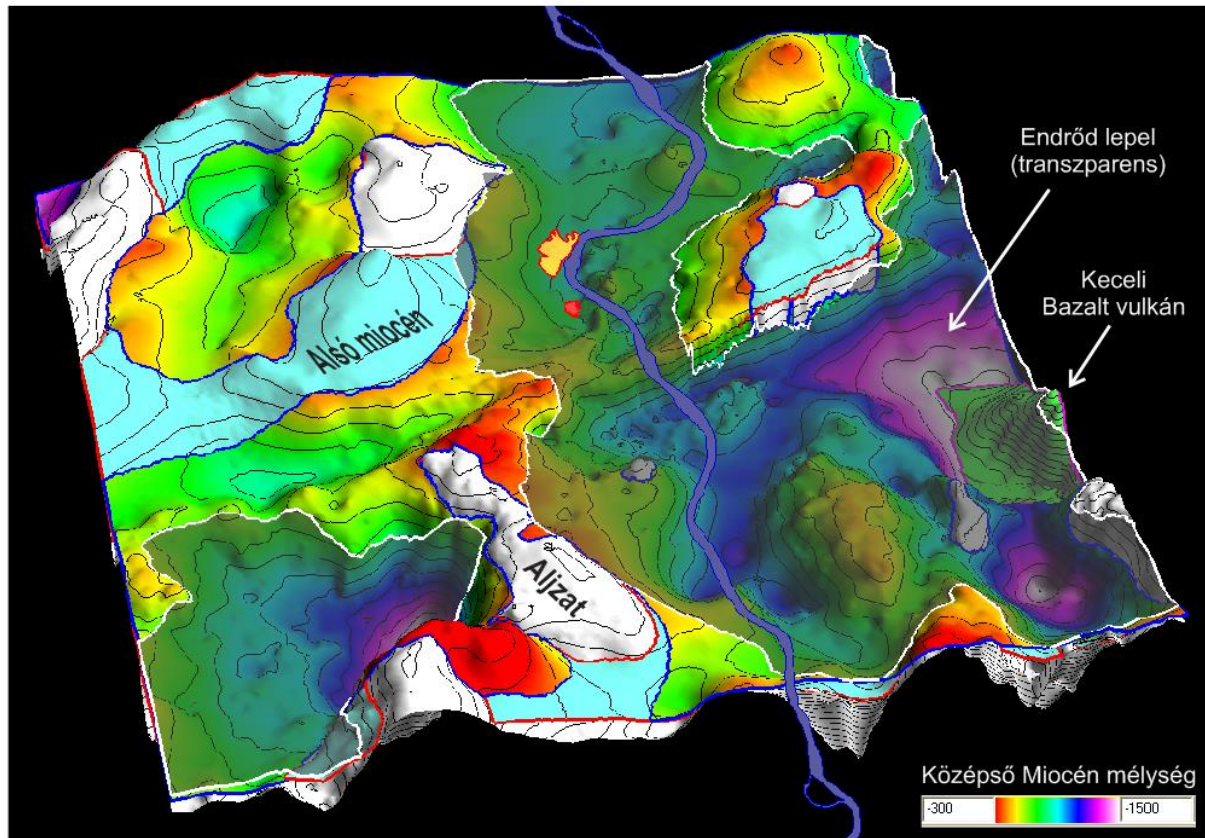
A negyedidőszaki összlet másik lokális jelentőségű horizontját a legfelső futóhomok szint talpa jelenti. E földtani felület jórészt a terület földtani térképezési eredményeire támaszkodik, de ezen felül közel 300 fúrás és 200 feltárásban végzett, a képződmény vastagságára vonatkozó megfigyelést is integrál. A felület pontos meghatározását több tényező is nehezítette, mint például az adathiányos területek, a képződmény kis vastagsága, valamint a modell felbontása.

3.1.1.2.2 A 3D geológiai modell egységes horizontrendszerének kialakítása

A 3D földtani modellhez felhasznált mélyföldtani horizontok kialakításának módszertani hátterét a 2.1.2.3. fejezet ismerteti részletesen. A geológiai határfelületek megszerkesztése az egységesen 60x60 km kiterjedésű, tervezett telephely középpontú területre történt meg. A mélység-gridek felbontása egységesen 200 m. A 3D földtani modellhez felhasznált, az MFGI által készített, eredetileg 300 m felbontású digitális kvarter fekü mélység-grid a modell többi felületével való összhang megteremtése céljából szintén 200 m felbontású rácshálóba lett átmintavételezve.

A kialakított 3D térmodell, nem geológiai jellegű legfelső határfelületként, a felszín digitális topográfiai modelljét is tartalmazza. A felszín modelljét szintén 200 m felbontású gridként készült el a projekt keretében rendelkezésre álló, nagy felbontású (5 m) DTM modell kisebb felbontására való egyszerűsítésével. Az átmintavételezéshez lineáris interpolációt használtak.

A 3D földtani modell 1:100 000 méretarányú horizonttérképei, valamint az ezekből szerkesztett vastagságtérképek a zárójelentés mellékleteiben található (14-30. melléklet). A 3D modellbe integrált földtani határfelületekre a 181. ábra mutat be illusztrációt. A 3D földtani modell határfelületeinek analizését a 3.1.1.4 fejezet tárgyalja.



181. ábra A 3D földtani modell aljzati, miocén és alsó-pannon horizontjainak (1–4) perspektivikus nézete DDNy felől

A perspektivikus nézet miatt az ábra méretaránya változó, a modell kiterjedése 60x60km. A piros és a sárga poligonok a tervezett telephelyet, illetve Paks városát jelölik.

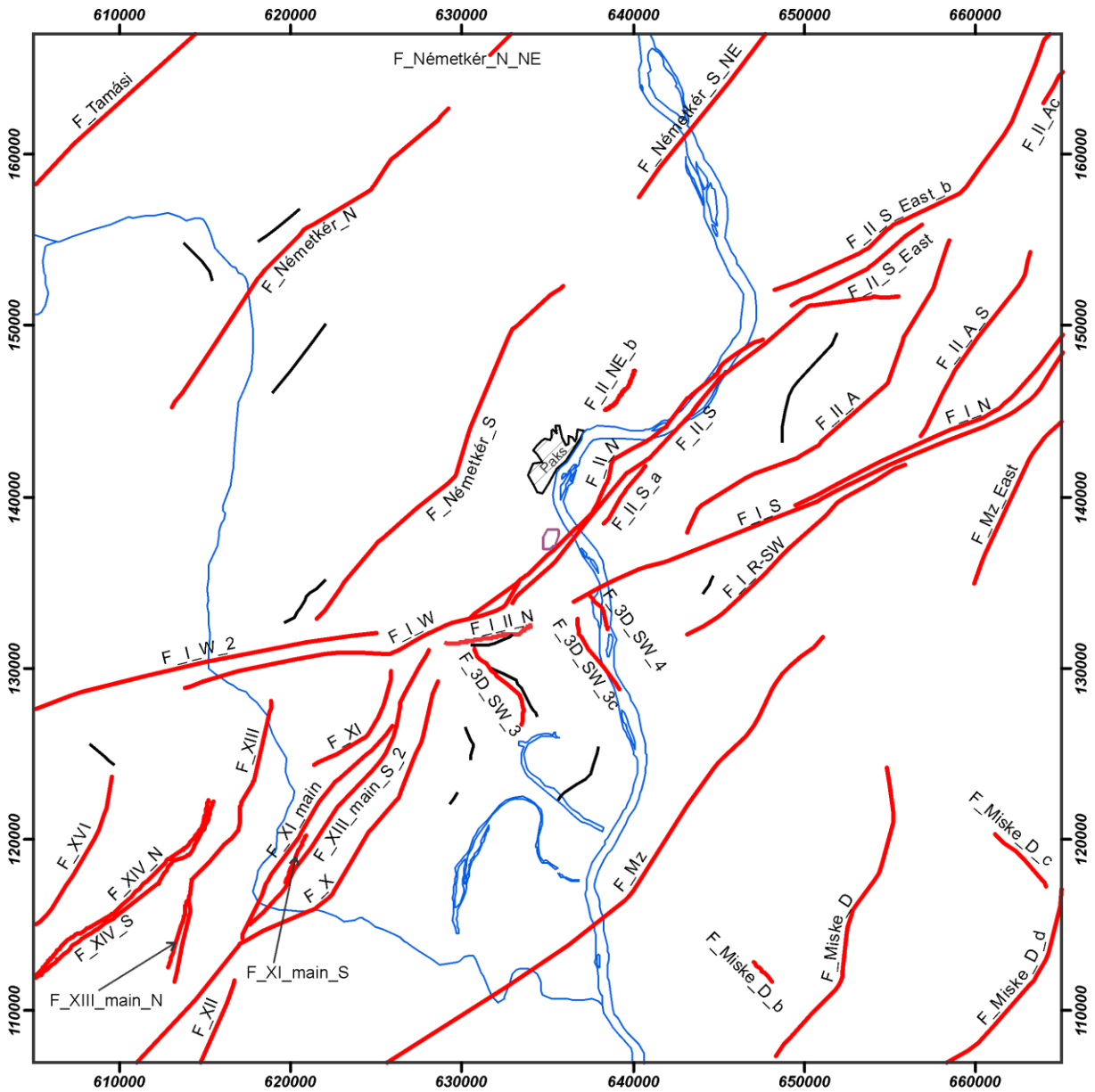
3.1.1.2.3 3D vetőrendszerek

A regionálisan térképezett geológiai horizontok mellett a kialakított 3D modell másik alapvető téradat-rendszerét a 3D numerikus vetőfelületek alkotják. A 2D és 3D szeizmikus adatrendszereken elvégzett vetőértelmezés alapelveit és gyakorlatát és a 3D numerikus vetőfelületek kialakításának menetét a 2.1.2.3.2 fejezet tárgyalja. A vetőértelmezés eredményeire épülő numerikus vetőmodellezés során összesen 41 vetőfelület megépítésére került sor, amelyek mindegyike egyedi azonosítóval rendelkezik (182. ábra). Az egyedi azonosító (vetőnév) bármikor lehetővé teszi az egyedi kereshetőséget és egyértelmű hivatkozást. Mint az az azonosított vetőrendszereket bemutató térképen (182. ábra) is jól látható, némelyik vetőzóna szerkezetileg rendkívül összetett felépítésű, azaz számos kisebb egyedi vetőt foglal magába. Szerkezeti jelentőségük miatt ezek közül már előzetesen is kiemelendők a Kapos-vonal (F_I_ azonosítójú vetők), a Dunaszentgyörgy-Harta vetőzóna (F_II_ azonosítójú vetők), valamint a Bonyhádi-medence déli peremének vetőrendszere (F_X_ és F_XI_ azonosítójú vetők). A 41 legfontosabb vetőn túlmenően természetesen számos kisebb jelentőségű vető is azonosításra került (182. ábra), azonban ezekre — alárendelt szerkezeti jelentőségük miatt — nem készültek numerikus vetőmodellek.

A területen azonosított és korrelált legfontosabb vetőrendszereket, vetőpoligonok formájában, a 3D földtani modell 1:100 000 méretarányú mélység- és vastagságtérképei (l. 14-30. melléklet) is ábrázolják. Ezekon a térképeken a vetőpoligonok azokat a

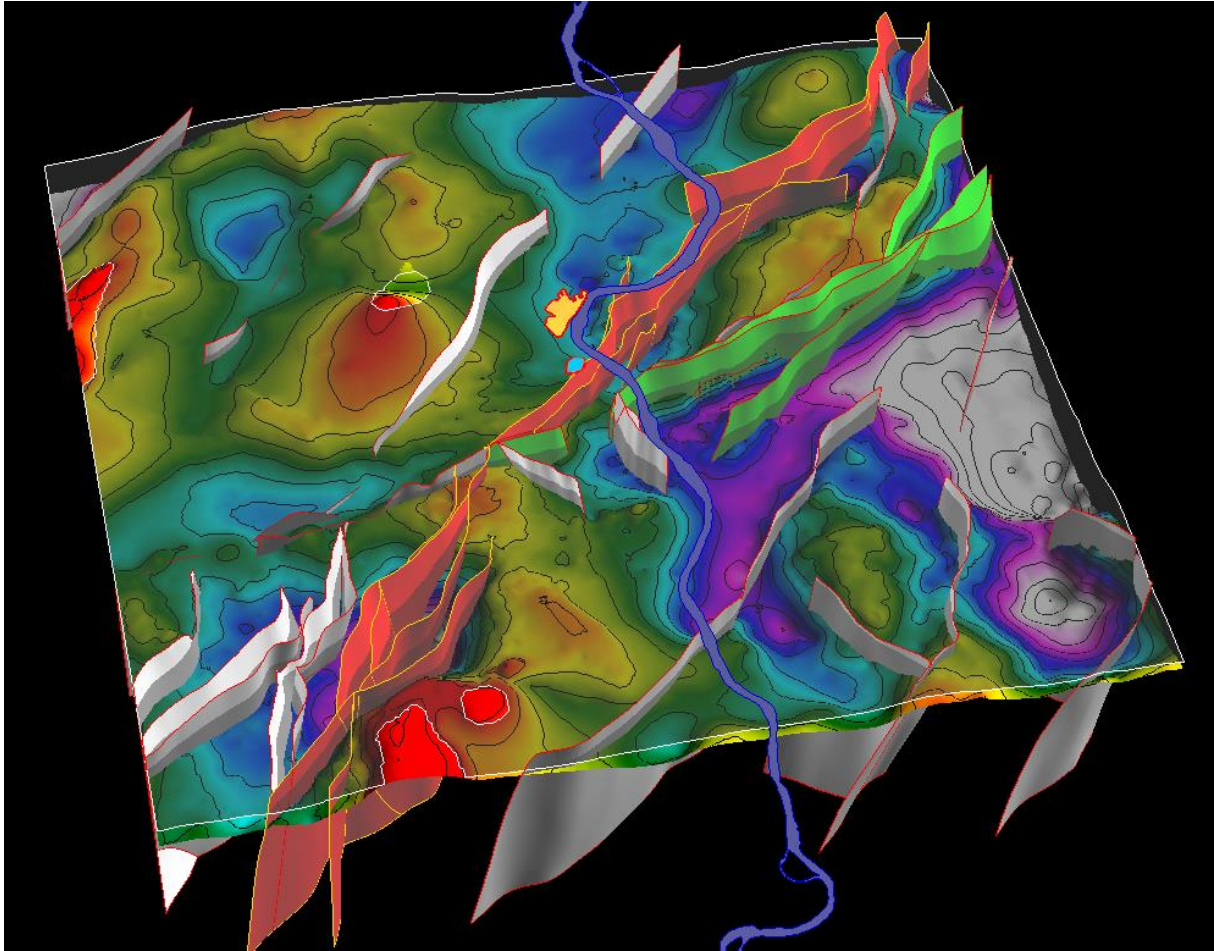
vetőrendszereket jelölik, amelyek az adott horizontot elmetszik, ezek tehát az adott horizontnál mindenképp fiatalabb szerkezeti aktivitást jeleznek. Ez alól csak a negyedidőszaki talp térkép képez kivételt, ahol a vetőpoligonok a negyedidőszaki képződmények talpát elérő vetőket jelölik.

A 3D numerikus vetőmodellekre a 183. ábra mutatja be illusztrációt. Az azonosított főbb vetőrendszereket és azok szerkezeti jellemzőit részletesen a kutatási terület szerkezeti analízise című fejezet (3.1.1.5.1) ismerteti.



182. ábra A kutatási területen azonosított vetők áttekintése

Piros vonalak: 3D numerikus vetőmodellel rendelkező vetők, fekete vonalak: egyéb, kisebb vetők. Halványlila poligon: tervezett telephely (középen).



183. ábra A 3D földtani modell vetőfelületeinek perspektivikus nézete DDNy felől a pannon fekü (színezett horizont szintvonalakkal) és az Algyői Formáció tetejének (transzparens) horizontjaival

Az Algyői F. kiemelkedése a pannon fekü horizontra élénkebb színű foltok („ablakok”) formájában látható. A pirossal jelölt vetők a Bonyhád-Dunaszentgyörgy-Harta, míg a zölddel jelölt vetők a Kapos-Kelet neotektonikus deformációs zónát jelölik. A vetők mélyebb helyzetű, szürke árnyékolású része a vetőfelületek Algyői F. horizontja alatti részét jelöli. A perspektivikus nézet miatt az ábra méretaránya változó, a modell kiterjedése 60x60km (fehér vonal). A ciánkék és a sárga poligonok a tervezett telephelyet, illetve Paks városát jelölik.

3.1.1.3 Felszíni földtani térképek

3.1.1.3.1 A részletes, 1:25.000-es méretarányú fedett földtani térkép (szűkebb terület)

A telephelyet körülölelő kutatások középpontját az MBFH pécsi bányakapitányságán az MVM Paks II. Atomerőmű Fejlesztő Zrt. részére készített Előzetes szakhatósági állásfoglalásában ([4] 82 p.) az $xy = 635110; 137264$ koordinátapárt adta meg.

Ez alapján lehetett kijelölni a telephelyi közvetlen környezet 10 km sugarú körzetét, mely köré szerkesztett É-D-i irányú, 400 km^2 -es nagyságú négyzet alakú területről készült el a részletes, 1:25.000-es méretarányú fedett földtani térkép.

A szűkebb terület (400 km^2) sarokpontjait az alábbi táblázat tartalmazza (77. táblázat).

77. táblázat A szűkebb terület sarokpontjai

Sarokpont	EOV Y	EOV X
1	625 110,0	147 264,0
2	645 110,0	147 264,0
3	645 110,0	127 264,0
4	625 110,0	127 264,0

A szűkebb terület a Mezőföld keleti és a Dunamenti-síkság nyugati részének találkozásánál fekszik, itt került sor az 1:10.000-es méretarányú földtani felvételezésre, melynek végterméke egy 1:25.000-es méretarányú földtani térkép és az ehhez kapcsolódó pontos dokumentáció. A térkép részletességét jól jelzi a 400 km²-es területen ábrázolt 76 db jelkulcsi elem, melyek genetika, képződési idő és közettani összetétel szempontjából jellemzik a különböző képződményeket. A részletes földtani felvételezés utáni összeszerkesztés eredményeképpen készült el az egységes jelkulcson alapuló digitális vonalmű, melynek a jelkulcs szerint színezett, kinyomtatott változata a vizsgált, szűkebb (400 km²-es) terület 1:25.000-es méretarányú fedett földtani térképe.

3.1.1.3.2 A reambulált, 1:50.000-es méretarányú fedett földtani térkép (tágabb terület)

A tágabb terület a kutatási középpont köré rajzolt 30 km sugarú kör köré érintőlegesen szerkesztett É-D-i irányú négyzet alakú terület (3 600 km²), melynek reambulálása volt a feladat.

A tágabb terület (3 600 km²) sarokpontjait az alábbi táblázat tartalmazza (78. táblázat).

78. táblázat A tágabb terület sarokpontjai

Sarokpont	EOV Y	EOV X
1	605 110,0	167 264,0
2	665 110,0	167 264,0
3	665 110,0	107 264,0
4	605 110,0	107 264,0

A tágabb terület több tájegységet is érintett. A Dunától nyugatra öt kistájat, úgy, mint: a Káloz–Igari-lőszhátat (ÉNy); a Tolnai–Hegyhátat (Ny); a Közép–Mezőföldet (ÉK); a Dél–Mezőföldet (DK) és a Szekszárdi-domvidéket (D). A Dunától keletre három kistájon történt a reambuláció: a Dunamenti-síkságon (Ny); a Duna-Tisza közti síkságon (ÉK) és a Bácskai-síkvidéken (DK).

Az elkészült 1:50.000-es méretarányú reambulált földtani térkép és a mögötte lévő térinformatikai adatbázis százat meghaladó jelkulcsi elemével és a feldolgozás technológiai folyamatának szabályozásával közelíti a telephely közvetlen környezetének műszaki tartalmát (táblázat).

A tágabb terület 1:50.000-es méretarányú földtani reambulációja és a térkép összeállításának folyamata követte a szűkebb terület részletes földtani térképezését.

A szűkebb terület előzetes légifénykép kiértékeléseiből, és a terepi bejárások alapján megszerkesztett 1:25.000-es méretarányú földtani térkép tapasztalataiból kiindulva készült el a tágabb terület fotogeológiai térképe. A kiértékelések georeferálása 25.000-es méretarányú ortofotókra támaszkodott így elérhetővé vált, hogy a végső reambulált térkép pontossága is kielégítette a huszonötézes követelményeket. A dombvidékeken és az alföldi futóhomokos

tájakon a fotókiértékelések mellett a georeferált tízezres topográfiai térképek domborzatrajza adta a szerkesztési alapot.

A telephely közvetlen környezetében a már elkészült 25.000-es méretarányú földtani térkép végleges változata lett a térképbe illesztve, azaz itt az újabb légifénykép kiértékelést a szerkesztés mellőzte.

Az előzetes térkép beltartalmának helyszíni bejárása és a jelentős feltárások dokumentálása, mintázása és téradatbázisba töltése a részletes térkép előállítási folyamatával azonos módon történt. A különbséget a feltárási pontsűrűség és a kézi fúrások redukált munkamennyiségei jelentették. A terepi bejárások megtervezésébe, és a végső térképváltozatba a hozzáférhető, vagy archív térképváltozatok adatai is beépültek.

A reambulálás során nyert, a negyedidőszaki képződmények elterjedésére és genetikai típusainak meghatározására vonatkozó információknak számos vonatkozása szoros kapcsolatot mutatott a geomorfológiai térképezés egyes elemeivel. Ugyanez vonatkozott a Duna alluviális síkján végzett célirányos geomorfológiai vizsgálatokra. Ezért a munkák során nyert információkat a párhuzamosan zajló földtani és geomorfológiai kutatás folyamatosan és kölcsönösen egyeztetette és kicserélte.

A földtani képződmények és területi elhelyezkedésük

A 10.000-es léptékű térkép 77, a 60x60 km reambuláció 110 jelkulcsi elemet ábrázol (melléklet). A részletes és a reambulált földtani térképek egyesített képződményeit az alábbi táblázat (79. táblázat) tartalmazza. A felszíni képződmények területi megjelenésének összefoglalását formációnként, ill. képződménycsoportonként vázoljuk.

79. táblázat A részletes és a reambulált földtani térkép képződményei

Térkép: 1=csak a részletes térképen szerepel, 2=részletes és reambulált területen is szerepel, 3=csak a reambulált területen szerepel

Képződménycsoport: Újfalvi Formáció = Pannon, Tengelici Vörösmartyag Formáció = Tengelici, Paksi Löss Formáció = lösz, Futóhomok kifejlődések = futóhomok, Lejtő- és gravitációs képződmények = lejtő, Folyóvízi üledékek = folyóvízi, Tavi-mocsári képződmények = tavi-mocsári, Antropogén képződmények = antropogén

Index	Kor-képződmény	Térkép	Képződmény-csoport
	Újholocén		
a_Qh2	Antropogén képződmény	2	antropogén
a_Qh2_im	Antropogén képződmény (iszaplerakó)	2	antropogén
a_Qh2_mh	Antropogén képződmény (meddőhányó)	3	antropogén
b	Antropogén képződmény (külszíni bánya)	3	antropogén
f_Qh2	Folyóvízi üledék	2	folyóvízi
f_Qh2_al	Folyóvízi aleurit	2	folyóvízi
f_Qh2_aal	Folyóvízi agyagos aleurit	3	folyóvízi
f_Qh2_hal	Folyóvízi homokos aleurit	2	folyóvízi
f_Qh2_h	Folyóvízi homok	2	folyóvízi
f_Qh2_alh	Folyóvízi aleuritós homok	1	folyóvízi
fp_Qh2	Folyóvízi-proluviális üledék	3	folyóvízi
fb_Qh2	Folyóvízi-mocsári üledék	3	folyóvízi
fb_Qh1_ala	Folyóvízi-mocsári aleuritós agyag	3	folyóvízi

Index	Kor-képződmény	Térkép	Képződmény-csoport
fb_Qh2_aal	Folyóvízi-mocsári agyagos aleurit	2	folyóvízi
fb_Qh2_hal	Folyóvízi-mocsári homokos aleurit	3	folyóvízi
fb_Qh2_alh	Folyóvízi-mocsári aleuritos homok	3	folyóvízi
fd_Qh2	Folyóvízi-deluviális üledék	3	folyóvízi
fd_Qh2_aal	Folyóvízi-deluviális agyagos aleurit	3	folyóvízi
fd_Qh2_al	Folyóvízi-deluviális aleurit	2	folyóvízi
d_Qh2_hal	Lejtőüledék, homokos aleurit	2	lejtő
l_Qh2	Tavi üledék	3	tavi-mocsári
lb_Qh2	Tavi-mocsári üledék	3	tavi-mocsári
lb_Qh_ala	Tavi-mocsári aleuritos agyag	3	tavi-mocsári
lb_Qh2_ala+tő	Tavi-mocsári aleuritos agyag, tőzeg	3	tavi-mocsári
lb_Qh2_aal	Tavi-mocsári agyagos aleurit	2	tavi-mocsári
b_Qh2	Mocsári üledék	2	tavi-mocsári
b_Qh2_ala	Mocsári agyagos aleurit	3	tavi-mocsári
p_Qh2	Proluviális üledék	3	lejtő
pd_Qh2	Proluviális-deluviális üledék	3	lejtő
e_Qh2_h	Futóhomok	2	futóhomok
	Holocén		
f_Qh	Folyóvízi üledék	1	folyóvízi
f_Qh_ala	Folyóvízi aleuritos agyag	3	folyóvízi
f_Qh_aal	Folyóvízi agyagos aleurit	2	folyóvízi
f_Qh_hal	Folyóvízi homokos aleurit	2	folyóvízi
f_Qh_alh	Folyóvízi aleuritos homok	3	folyóvízi
fb_Qh	Folyóvízi-mocsári üledék	2	folyóvízi
fb_Qh_aal	Folyóvízi-mocsári agyagos aleurit	2	folyóvízi
fb_Qh_alh	Folyóvízi-mocsári aleuritos homok	2	folyóvízi
fb_Qh_h,al	Folyóvízi-mocsári homok, aleurit	3	folyóvízi
fd_Qh	Folyóvízi-deluviális üledék	1	folyóvízi
fd_Qh_al	Folyóvízi-deluviális aleurit	2	folyóvízi
fd_Qh_aal	Folyóvízi-deluviális agyagos aleurit	2	folyóvízi
fd_Qh_hal	Folyóvízi-deluviális homokos aleurit	3	folyóvízi
l_Qh	Tavi üledék	1	tavi-mocsári
l_Qh_aal	Tavi agyagos aleurit	2	tavi-mocsári
lb_Qh_aal	Tavi-mocsári agyagos aleurit	2	tavi-mocsári
lb_Qh_ala	Tavi-mocsári aleuritos agyag	2	tavi-mocsári
b_Qh_ala	Mocsári agyag, aleuritos agyag	3	tavi-mocsári
b_Qh_aal	Mocsári agyagos aleurit	1	tavi-mocsári
b_Qh_ala+tő	Mocsári aleuritos agyag, tőzeg	3	tavi-mocsári
db_Qh_aal	Mocsári-deluviális agyagos aleurit	2	tavi-mocsári
p_Qh	Proluviális üledék	2	lejtő
p_Qh_h	Proluviális homok	1	lejtő
pd_Qh	Proluviális-deluviális üledék	2	lejtő
pd_Qh_h	Proluviális-deluviális homok	2	lejtő

Index	Kor-képződmény	Térkép	Képződmény-csoport
e_Qh_h	Futóhomok	2	futóhomok
s_Qh	Csuszamlásos képződmény	3	lejtő
d_Qh_al	Deluviális aleurit	2	lejtő
d_Qh_h	Deluviális homok	2	lejtő
	Óholocén		
f_Qh1	Folyóvízi üledék	3	folyóvízi
f_Qh1_al	Folyóvízi aleurit	2	folyóvízi
f_Qh1_aal	Folyóvízi agyagos aleurit	2	folyóvízi
f_Qh1_hal	Folyóvízi homokos aleurit	2	folyóvízi
f_Qh1_h	Folyóvízi homok	2	folyóvízi
f_Qh1_alh	Folyóvízi aleuritós homok	2	folyóvízi
fb_Qh1_aal	Folyóvízi-mocsári agyagos aleurit	2	folyóvízi
fb_Qh1_ala	Folyóvízi-mocsári aleuritós agyag	2	folyóvízi
fb_Qh2_hal	Folyóvízi-mocsári homokos aleurit	3	folyóvízi
b_Qh1_ala	Mocsári aleuritós agyag	3	tavi-mocsári
p_Qh1_al	Proluviális aleurit	3	lejtő
l_Qh1_aal	Tavi agyagos aleurit	1	tavi-mocsári
e_Qh1_h	Futóhomok	1	futóhomok
	Felső-Pleisztocén-Holocén		
f_Qp3-h	Folyóvízi üledék	3	folyóvízi
f_Qp3-h_hal	Folyóvízi homokos aleurit	3	folyóvízi
f_Qp3-h_h	Folyóvízi homok	3	folyóvízi
f_Qp3-h_kh	Folyóvízi kavicsos homok	3	folyóvízi
fd_Qp3-h	Folyóvízi-deluviális üledék	2	folyóvízi
fd_Qp3-h_h	Folyóvízi-deluviális homok	1	folyóvízi
p_Qp3-h	Proluviális üledék	2	lejtő
pd_Qp3-h	Proluviális-deluviális üledék	2	lejtő
pd_Qp3-h_al	Proluviális-deluviális aleurit	2	lejtő
pd_Qp3-h_alh	Proluviális-deluviális aleuritós homok	2	lejtő
e_Qp3-h_h	Futóhomok	2	futóhomok
e_Qp3-h_lh	Löszös homok	2	lösz
e_Qp3_lh+b_Qh_aal	Löszös homok, mocsári agyagos aleurit	3	lösz
e_Qp3_lh+e_Qp3-h_h	Löszös homok, futóhomok	3	futóhomok
el_Qp3-h_alh	Talajosodott aleuritós homok	3	futóhomok
g_Qp3-h	Lejtőüledék általában	2	lejtő
d_Qp3-h	Deluviális üledék	2	lejtő
d_Qp3-h_al	Deluviális, részben szoliflukciós aleurit	2	lejtő
d_Qp3-h_hal	Deluviális homokos aleurit	2	lejtő
d_Qp3-h_alh	Deluviális aleuritós homok	1	lejtő
	Felső-Pleisztocén-Óholocén		
f_Qp3-h1_aal	Folyóvízi agyagos aleurit	3	folyóvízi
f_Qp3-h1_alh	Folyóvízi aleuritós homok	3	folyóvízi
f_Qp3-h1_h	Folyóvízi homok	2	folyóvízi

Index	Kor-képződmény	Térkép	Képződmény-csoport
f_Qp3-h1_hal	Folyóvízi homokos aleurit	2	folyóvízi
e_Qp3-h1_h	Futóhomok	2	futóhomok
	Pleisztocén-Holocén		
fd_Qp-h	Folyóvízi-deluviális üledék	1	folyóvízi
	Középső-Pleisztocén-Újholocén		
e_Qp2-3_lh+e_Qh_h	Lössös homok, futóhomok	1	futóhomok
	Középső-Pleisztocén-Holocén		
e_Qp2-3_l+e_Qh_h	Lössz, futóhomok	1	futóhomok
e_Qp2-3_lh+e_Qh2_h	Lössös homok, futóhomok	1	futóhomok
	Felső-Pleisztocén		
f_Qp3_hal	Folyóvízi homokos aleurit	3	folyóvízi
f_Qp3_al,h	Folyóvízi aleurit, homok	3	folyóvízi
f_Qp3_h	Folyóvízi homok	3	folyóvízi
e_Qp3_h	Futóhomok	2	futóhomok
e_Qp3_l	Lössz	2	lössz
e_Qp3_l,h	Lössz, homokos lösz	3	lössz
e_Qp3_lh	Lössös homok	2	lössz
e_Qp3_hl	Homokos lösz	2	lössz
ed_Qp3_h,al	Eolikus-deluviális homok, aleurit	3	lejtő
ed_Qp3_l	Lejtőlössz	3	lössz
d_Qp3_ala	Deluviális aleuritos agyag	3	lejtő
d_Qp3_h	Deluviális homok	2	lejtő
	Középső-Felső-Pleisztocén		
fd_Qp2-3-h	Folyóvízi-deluviális üledék	1	folyóvízi
f_Qp2-3_h,al	Folyóvízi homok, aleurit	3	folyóvízi
p_Qp2-3-h	Proluviális üledék	2	lejtő
pd_Qp2-3-h	Proluviális-deluviális üledék	2	lejtő
e_Qp2-3_l	Lössz (Fiatal Lössorozat)	2	lössz
e_Qp2-3_h	Eolikus homok	2	
e_Qp2-3_lh	Lössös homok	2	lössz
	Középső-Pleisztocén		
e_Qp2_al	Agyagos lösz	3	lössz
	Pliocén-Középső-Pleisztocén		
eld_Pl-Qp2_a,al	Vörösgyag, tarkagyag	3	Tengelici
	Késő Miocén		
ú_M3	Újfalui Formáció	2	Pannon

Újfalui Formáció

A pannóniai képződmények felszíni kibúvásai az Újfalui Formációba tartoznak. A korábbi térképeken ezek a képződmények a Tihanyi-, és a Somlói Formációba sorolódtak. A legtöbb pannóniai felszíni feltárás a Szekszárdi dombság É-i tájperemén, és az onnan D-felé bevágódó meredek völgyek oldalain található.

A pannóniai képződmények másik fontos területe a Hegyhát. Itt a Kapos–Sió-völgy É-i peremén Simontornya, Tolnanémedi határában, továbbá a dombság aszimmetrikus patak völgyeiben Kölesd, Alsópélpusztá stb. környékén található.

Meg kell említeni Paks területét is, ahol a komp környékén az országút mentén két kis foltban, valamint alacsony vízállás esetén a Duna medrében is feltáródik a változatosan cementált pannon homok, homokkő.

Tengelici Vörösagyag Formáció

A Tengelici Formáció kifejlődései talán a pannon képződményeknél is kisebb területen kerültek a felszínre. Jellemzően a pannon felszín epigenetikus talajos átalakulása nyomán kifejlődött vastag cementációs mészkéreggel jellemzett mediterrán vörösagyagos mállási kéreg, vagy ennek áttelepüléséből származó zavart, vörösagyagos, tarkaagyagos rétegsor jellemzi. Fő feltárásai a Szekszárdi-dombság É-ÉNy-i peremén Kakasd környékén vannak (Belterület, Tehén-hegy, Sötét völgy, stb.).

Az eredeti mállási kérget képviselő szép tengelici feltárások találhatók Kölesden, ill. Kistormástól D-re.

A Hegyhát É-i peremén, Tolnanémedi környékén felszínmozgások, suvadások által erősen kevert anyagú tengelici feltárások vannak. Elszórt kis területű kibúvások találhatók a Hidas- és Donát-patakok völgyeiben.

Paksról is ismert a Tengelici Formáció. A Kriván Pál által babércecs agyagként dokumentált ún. Bence kocsmái feltárás eredeti rétegsora az épített támfal miatt alig látszik.

Paksi Löss Formáció

A térképezési területen a Paksi Löss Formáció felszíni kifejlődései közül alapvetően a Fialtal Lössorozatba tartozó lösz- és paleotalaj rétegek jelennek meg. Kisebb részben felszínre bukkannak az Idős Lössorozat lösz, agyagos lösz kifejlődései és barna erdőtalaj, valamint vörös, mediterrán paleotalaj horizontjai is.

Területi szempontból a reambulált térkép Ny-i harmadát, vagyis a Káloz–Igari-löszhátat (ÉNy); a Tolnai–Hegyhátat és a Szekszárdi-dombság plató és völgyoldali térszíneit a Lössformáció uralja.

Ezen belül a Káloz–Igari-löszhátat löszkarsztosodásra erősen hajlamos, a Fialtal Lössorozatba tartozó lösz, finomhomokos lösz jellemzi. A Hegyhát és Szekszárdi-dombság területén található a Magyarországon ismert legteljesebb löszkifejlődések. Ennek ellenére felszínen ezeken a tájakon is többnyire fiatal löszök települnek, csupán a tájperemek és nagyobb völgyoldalak alsó szakaszaiban sorakoznak idős löszfeltárások. A Tolnai–Hegyháton Uzd–Sárszentőrinc–Pálfa vonalában egy keskeny É-D-i irányú pásztában fiatal lösz települ. Kifejlődése, morfológiája alapján lehetséges, hogy eltemetett folyóvízi terasz a fekéje.

A Dél-Mezőföld területén Györkönytől D-re eső löszvidék rosszul feltárt, futóhomokkal körbevett, azzal részben összefogazódó terület. A felszínen Györkönyön igazolható, hogy az idős löszképződmények is megtalálhatók ezen a kifejlődési területen is.

A reambulált dél-mezőföldi terület egyik legkiterjedtebb löszvidéke Paks–Alsószentiván között, egy széles, ÉNy-DK-i pásztában terül el. A paksi téglagyári feltárás rétegsora igazolja,

hogy a 6-os út szintje körül az idős löszképződmények is felszínen vannak. Ezen a kifejlődési területen ÉNy-felé haladva inkább csak fiatal löszképződmények települnek, melyek nagy területi változékonyságban futóhomokkal is összefogazódhatnak.

Dunaföldvár térségében a lösz nemcsak futóhomokkal, hanem folyóvízi homokkal is összefogazódik, ezért igen változatos felépítésű a térszín. A Solti-magaslat területén felszíni kibúvásban nem volt tagolható a Löszformáció, míg attól DK-re a Tétel-halmon igazolhatóan fiatal lösz települ.

A Kiskunság területre eső részén is Császártöltés, Érsekhalma, Nemesnádudvar vidékén nagy területi változatosságban, futóhomok, löszös homok kifejlődésekkel változatosan összefogazódva tárulnak fel a löszképződmények.

Futóhomok kifejlődések

A futóhomok a löszhöz hasonló nagyságú területen települ. Fő kifejlődései (Lásd leíró fejezet!) terület szerint is elkülönülnek. A legidősebb, un. „óriás barkános” (valójában parabola buckák) kifejlődés Pusztahencse–Bikács–Németkér vidékén terül el, s mintegy körbe veszi a Györköny-környéki lösz területe. Ezzel a kifejlődéssel mutat rokon kifejlődést a terület DK-i részén Kecel, Jánoshalma, Császártöltés határába eső futóhomok és löszös homok változatok is.

A szélcsatornákkal, hosszanti dűnesorokkal jellemzett, változó nagyságú, kerekded szélgödrökkel tagolt felső-pleisztocén–óholocén futóhomok kifejlődések részben a Duna, részben a Sió pleisztocén teraszképződményeire települnek, másrészt a Pusztahencse-Bikács térségében települő „óriás barkános” futóhomok pásztától Ny-ra, valamint a Györkönyi löszvidék DK-i részén (Tengelic-Szőlőhegy vidéke).

A Kapos, Sió, Sárvíz holocén folyóvízi üledékeiből kifújtt, hosszanti dűnével, helyenként kis buckákkal tarkított megkötetlen futóhomok testek települnek az érintett folyók árterén, valamint az ártereket övező peremeken.

Lejtő- és gravitációs képződmények

A térképezési területen ebbe a képződménycsoportba a különböző időszakos vízfolyások, szárazvölgyek vonalas felhalmozódásai, az areális eróziós lejtőüledékek, a szoliflukciós, suvadásos, csuszamlásos, roskadásos és omlásos kőzettettek tartoznak. Ezek az üledékek a löszvidékekkel markáns átfedésben vannak. Döntően két rétegtani helyzetben települnek.

Az idősebb üledék-együttesek rétegtani helyzete az Idős- és Fiatal Löszsorozat határzónájában (középső-pleisztocén) van. Ezek felszíni megjelenése alárendelt és bizonytalan. Nagy valószínűséggel megjelennek a Szekszárdi-dombság É-i peremének, ill. a Hegyhát fő patak völgyeinek csuszamlásos feltárásaiban. Területük minden bizonnyal a Szekszárdi-dombság és Hegyhát un. kétlépcsős morfológiával jellemzett vidékeire is kiterjed.

A fiatal lejtőképződmények, csuszamlásos, suvadásos folyamatok az egész löszvidék meredek lejtős területeire kiterjednek.

Folyóvízi üledékek

A terület legnagyobb kiterjedésű felszíni képződményeit a negyedkori folyóvízi üledékváltozatok adják. A legnagyobb ilyen terület a Solti-síkság, ami a Duna döntően holocén, kisebb részben legfelső pleisztocén fonatos alluviális feltöltési területe. Ez a térszín Paks-Dunaegyháza, Fadd, Tolna térségében ill. a Sárközben a Duna jobb partját is övezi. A Paks-Tolna közötti holocén dunai üledékektől Ny-ra, a Györköny–tengelici vonulat lábáig legtöbb helyen futóhomokkal borított felső pleisztocén Duna terasz nyomozható. Néhány természetes feltárásban és bányagödörben azonban ezek a folyóvízi képződmények a felszínen is láthatóak.

A Duna ártéri- és terasz-szintjeivel korreláló folyóvízi üledékek ismerhetők fel a Sió vízrendszerében. A Sió, Kapor és Sárvíz-völgyeiben jól elkülönülnek az alacsony és magas ártér folyóvízi szintjei. Simontornya, Pálfa vidékén települő futóhomok alatt helyenként felső-pleisztocén folyóvízi mederhomok, Bikács mellett pedig iszapos, finomhomokos ártéri képződmény tárul fel.

Döntően mesterséges feltárásokban tárulnak fel a terület legidősebb folyóvízi képződményei. Ezek nagy valószínűséggel középső pleisztocén és annál idősebb összletek. Ilyenek láthatók Földespuszta, Paks, Vajta működő homokbányáiban. Dunaföldváron folyóvízi rétegsorainak több feltárásában is barna erdőtalaj települ. A Hegyháton, Murgán két csernozjom barna erdőtalajjal tagolt lösz települ a folyóvízi összlet fedőjében. A Hegyhát É-i szegélyén pedig finomszemű ártéri iszapos rétegek települnek valószínűleg Tengelici fekére.

Tavi-mocsári képződmények

A folyók árterein, jelentősebb mellékvölgyekben változatos genetikájú tavi-mocsári üledékek nyomozhatók. A Solti-síkság K-i peremén, ill. a Sárvíz völgyében bepárlódásos, szikes, ill. mésziszapos kitöltésű süllyedékek is sorakoznak.

A vízi környezetben keletkezett üledékek másik alcsoportja a futóhomok területek mélyedéseiben rakódott le. A kiskunsági futóhomok vidék helyi mélyedéseiben keletkezett limnikus, mocsári és mocsári–deluviális lerakódások többségére is jellemző a szikesedés.

Antropogén képződmények

A részletes térképhez hasonlóan a reambulált térképen is elkülönülnek az antropogén tevékenység nagyobb kiterjedésű foltjai. Közöttük az iszaplerakók, a külfejtések és a meddőhányók önálló csoportot alkotnak.

Földtani reambuláció térkép a jelentéshez csatolt mellékletként kerül közlésre (38. melléklet).

3.1.1.3.3 Felszíni földtani térképek – Paks környékének felszínborítottsági térképe

A FKP a tervezett telephely szűkebb környezetének 20*20 km-es területére légi fényképek kiértékelésén alapuló, a földtan tárgyához kapcsolódóan többféle tematikus térkép készítését irányozza elő [78], közöttük nagyfelbontású légi felvételek értelmezését a felszínhasználatra több időpontban.

Ennek a monitoring jellegű vizsgálatnak keretében készült el a felszínfedettség térképe, aminek célja az erőmű bővítése előtti területhasznosítás rögzítése volt, amit mint kiinduló

állapotot lehet kezelni az erőmű felépítése, üzemeltetése és felszámolása során. A kiinduló területhasználati kategóriák felszíni rögzítése az EU számára kialakított egységes jelkulcsra támaszkodva, az igényeknek megfelelő időközökben, de legalábbis a fenti három stáció lezárulása után számszerűen, a változások területi arányainak, trendjeik vizsgálatával jellemezheti a soktényezős hatásokat. E hatások komplex, társadalmi, természeti, illetve az erőmű üzemeltetésével kapcsolatos okokra vezethetők vissza, ugyanakkor a jelkulcsi kategóriák megválasztásával a folyamatok szétválaszthatók és folyamatukban nyomon követhetők.

A felmérés eszközszerét az FKP számára elkészített nagyfelbontású ortofotó sorozat, a részletes topográfiai alapok, a 2012-ben országosan elkészült 1:50.000-es felszínborítottsági adatbázis, és az ArcGIS környezet képezte. A felszínborítottsági kategóriák és jelkulcs összeállításakor elfogadtuk az EU-ra kialakított, gyakorlatba bevezetett általános érvényű interpretációs jelkulcsot (CORINE).

A CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover (CLC) az Európai Unió projektje. Ezt az EU tagországok azzal a céllal indították, hogy egységes és összehasonlítható információkkal rendelkezzenek a felszínborításról. (Felszínborításnak értelmzik a földfelszín megfigyelhető, 1 évnél hosszabb periódussal változó biofizikai jellemzőit. Az évszakos vagy annál rövidebb változásokat ebben a programban nem térképezik.)

A kiinduló állapot rögzítése és a változások kimutatása a szándékok szerint tíz éves periódusokban megismételt állapotfelvétellel, valamint az időközben történt változások kimutatásával történik. A térinformatikai módszerekkel elkészített térképek szinoptikus következtetések és döntések meghozatalát teszik lehetővé a résztvevő országok összehangolt együttműködésének irányába a környezettel való jobb gazdálkodás és a fenntartható fejlődés elősegítésére.

A felmérés kiinduló méretaránya az 1:100.000 volt, amit hazánk a kétezres évek elején a hazai viszonyok jobb visszatükrözése és a finomabb felbontás érdekében 1:50.000-es, részletesebb felbontású és tematikájú programmá fejlesztett CLC50 megjelöléssel [44]. Ennek utolsó változata CLC2012 megjelöléssel készült.

A jelkulcs öt fő kategóriát tartalmaz, ahol a kategóriákat további hierarchia szintekre osztották. Általában három szint elegendő, de pl. a szőlőművelés vagy a tavak esetében már ötszintű a felosztás. Ezzel a kategorizálással elérhető volt, hogy a felszínborítottságban bekövetkező kismértékű változások is nyomon követhetők legyenek, másfelől megvan a lehetősége annak, hogy általánosabb következtetések is levezethetők legyenek az elemi kategóriák összevonása segítségével. Az eredeti CLC50 projekt elemi raszter felbontása 4 ha, a szabad vízfelületeken 1 ha (100 m * 100 m). Az FKP a telephely közvetlen környezetére ezzel szemben 1:25.000-es méretarányt követel meg. A hivatalos felszínborítottság térképi jelkulcsa 1:50.000-es méretarányra készült, ezért lehetőség lett volna a jelkulcsi elemek tovább-bontására, de ez szakmai egyeztetések nélkül a későbbiekben összehasonlíthatatlan kategóriák megjelenéséhez vezethetne. Ehelyett a minimális raszter értékét az interpretálás mindenhol az 1 ha-ban vontta meg. Figyelembe véve ugyanakkor az ortofotók nagyíthatóságát, lehetővé vált a nagyobb felbontás; a foltok minimális mérete nem lett megszabva ennél a területnagyságnál, hanem jól és egyértelműen lehatárolható objektumok esetén megengedett volt a kisebb területi lehatárolás. Az elkészült térkép a vonatkozó 400 km²-en valamivel több, mint 3000 önálló foltot ábrázol, amiből mintegy 580 db területe alatta marad az 1 ha-nak (18,7 %). A legnagyobb, egybefüggő terület a Duna felülete, ami meghaladja a 14 km²-t, de a

legnagyobb részt a mezőgazdasági művelés, azon belül a nagytáblás szántóföldek 212 km²-es összterülete foglalja el.

A megkülönböztetett 51 jelkulcsi kategória (80. táblázat) alkalmas a természeti környezet változásainak, a társadalmi folyamatoknak és ezzel párhuzamosan a lakókörnyezetben végbemenő változásoknak a követésére, az ipari övezetek növekedésének, de akár a természet-és tájvédelmi területeken bekövetkező pozitív vagy káros jelenségeknek a detektálására.

80. táblázat A térkép adatainak áttekintése

Kategóriák	Jelkulcsi elemek száma	Összterület [ha]	Terület [%]
1. Mesterséges felszínek	19	2796	6,99
2. Mezőgazdasági területek	15	27029	67,57
3. Erdők és természetközeli területek	11	8470	21,18
4. Vizenyős területek	2	127	0,32
5. Vízfelületek	5	1578	3,94

Összefoglalva megállapítható, hogy a téradatbázisban tárolt, az erőmű bővítése előtti viszonyokat tükröző felszínborítottsági térkép a megfelelő részletességével és felbontásával alkalmas, mint „0” állapot a természeti és ember által átalakított környezet bekövetkező változásainak jövőbeni összehasonlító vizsgálatához.

3.1.1.3.4 Geomorfológia

A Paks tágabb környékén vizsgált 60x60 km-es terület geomorfológiai és ettől elválaszthatatlan, a fiatal felszíni, felszínközeli képződményeket vizsgáló földtani kutatások legfontosabb eredményei két időszak munkálataihoz kapcsolódnak elsősorban. Az 1950-es években Ádám [1], Marosi [212], Pécsi [255] és Szilárd [320] geomorfológiai vizsgálatait valamint Erdélyi [73] és Urbancsek [364] földtani munkái alapozták meg a területről kialakított képet. Ezt a kutatási szakaszt és Ádám et al. [5], Pécsi [256] és Ádám [2] összefoglaló munkái összegezték a dunántúli területre vonatkozóan.

Az 1990-es évektől a paksi erőmű környezetének vizsgálata, valamint a kis és közepes radioaktív hulladékok elhelyezését előkészítő kutatások növelték tovább a kutatási terület földtani–geomorfológiai ismeretességének szintjét. Az első részeredmények között jelentek meg a Duna felső-pleisztocén üledékeinek abszolút korára vonatkozó adatok is [136], sajnos anélkül, hogy a jelenleg rendelkezésre álló adatbázisokból a fúrások koordinátái azonosíthatóak lennének. A geomorfológiai eredményeket Balla et al. [18], Balogh et al. [21], Balogh et al. [22], Hertelendi et al. [135] foglalták össze. A kvarter képződmények földtani, rétegtani eredményeit összefoglaló munkák közül Koloszár, Marsi [162] cikkét kell kiemelni.

Az elkészült geomorfológiai térkép és magyarázója [52] a terepi észlelések, anyagvizsgálatok, a fúrásos kutatás dokumentációi alapján nyújt átfogó képet a paksi tágabb kutatási terület geomorfológiájáról, a korábbi eredményeket is összefoglalva. Jelen fejezet a geomorfológiai térkép jelkulcsának tagolását követve ismerteti a vizsgált terület geomorfológiai felépítését: folyóvízi alluviális térszínek, völgyek, lejtős formák, eolikus formák és egyéb geomorfológiai formák.

Alluviális formák

Ártér; magas ártér; alacsony ártér

A Duna-, a Sió–Sárvíz- és a Kapos-völgy területét alkotó formák. A kutatási terület jelentős hányadán ezek alkotják a felszínt.

Az alacsony ártér elkülönítése a Duna mai medrének környezetében volt lehetséges, első sorban a földtani térkép ([301]) fiatal holocén (Qh2) képződményeinek elterjedését figyelembe véve. A magas ártér elkülönítésére az alacsony ártér környezetében ugyancsak a Síkhegyi [301] által szerkesztett földtani térkép idős holocén képződményei (Qh1) adtak alapvetően lehetőséget. Az alluviális térszínnek legnagyobb része ártérként jelölve került ábrázolásra.

A folyóvízi üledékképződés jellegzetes formaelemei ezeken az ártéri felszíneken fordulnak elő.

Az alacsony ártér kora újholocén, a magas ártér kora óholocén, az ártérként jelölt terület kora holocén általában.

Elhagyott meder; medermaradvány

A Duna és a Sió–Sárvíz völgyére egyaránt jellemző geomorfológiai forma az elhagyott meder, különböző mértékben átfarmálódott medermaradvány. A Sió–Sárvíz esetében nincs jelentős eltérés a medermaradványok méretében. A Duna-völgyben azonban alapvetően két fajta medermaradvány, elhagyott meder fordul elő. Gábris [86] is leírta a Duna fő medrének méretük alapján azonosítható maradványait, valamint az ártereket bejáró, az árvizeket levezető jelentősen kisebb méretű medreket. Ezek a térképen egyértelműen elkülöníthetőek.

Parti hát; fok, Árvízi levezető csatorna torkolata; Árvízi homoklebeny, árvízi kilépési pont; Mögöttes mocsár

A geomorfológiai térképen ábrázolt parti háta Gábris [86] alapján kerültek ábrázolásra a geomorfológiai térképen. A medrekből kilépő áradások során lerakódott üledékanyag uralkodóan homok. Előfordulásuk a Duna mai medrének környezetében a leggyakoribb. Kimutatható jelenlétük az idősebb, elhagyott Duna-medrek környezetében, valamint a Duna főágánál jelentősen kisebb medrek mentén is.

A parti háaktól elválaszthatatlanok a fokok, árvízi levezető csatornák (184. ábra). Ezek a formák részben természetes folyamatokkal, részben emberi beavatkozással alakultak ki. Az árvizek során a folyómederből kilépő vizet részben az ártér legmélyebb részeire, részben az ár levonulását követően a főmederbe vezették le a természetes csatornák. A fok gazdálkodás az ártér, elhagyott medrek és a főág közötti vízáramlás szabályozott formáján alapult [4].



184. ábra Ártéri homoklebeny Tolna mellett

A parti hátak között vagy a parti hátak alacsonyabb részein is kiléptek az árvizek a mederből. Helyenként máig felismerhetők ezek az árvízi kilépési pontok. Sok esetben máig megtalálhatóak a kiömlő árvízből lerakódott üledékekből kialakult árvízi homoklebenyek is.

Az ártér legalacsonyabb részein található mocsaras, gyakran lefolyástalan, de környezetükhöz képest alacsonyan fekvő területek a mögöttes mocsarak (Gábris térképén mélymocsár). Ezeknek két típusa alakult ki a Duna árterén. Az egyik kisebb, lokális forma, ritkán került ábrázolásra, a másik ellenben jelentős területet foglal el közvetlenül a Duna–Tisza közti hátság peremén. Gábris [86] térképén az 5 számú medergeneráció határolja nyugat, nagyjából a 20 számú dél felől.

Övzátonyok

Az ártér területének legjellemzőbb geomorfológiai formái az övzátonyok. A környezetükből kissé kiemelkedő övzátonyok közötti mélyebb, gyakran mocsaras, vizenyős területek a sarlólaposok. Természetes körülmények között az árvizek által az ártérre szállított finomszemű üledékek ezeket a területeket fokozatosan feltöltik. Így az övzátonyok és a sarlólaposok az idő múltával egyre kiegyenlítettebb térszint alkotnak.

2a terasz; 2b terasz eolikus képződményekkel, formákkal

A teljes kutatási területen elkülönített két, a mai ártérnél magasabban fekvő teraszszint elkülönítése a felszín jellege és topográfiai helyzetük alapján történt. A hagyományos hazai teraszszámosítások a római számokat alkalmazzák. A geomorfológiai térképen arab számok jelölik a teraszokat. Ennek oka, hogy ezek nem párhuzamosíthatók jelenleg a Pécsi [256] munkája óta általánosan elfogadott teraszszintek egyikével sem, így csak relatív helyzetüket jelölik a szám és betű kombinációk.

A 2a terasz a Sárvíz és a Sió völgyében volt felismerhető. A 2b terasz Alap környékén volt elkülöníthető az alacsonyabban fekvő 2a terasztól. Felszínének az Alap környékihez hasonló, eolikus jellege alapján kapta ezt a jelölést a Duna Pakstól délre található pleisztocén terasza is.

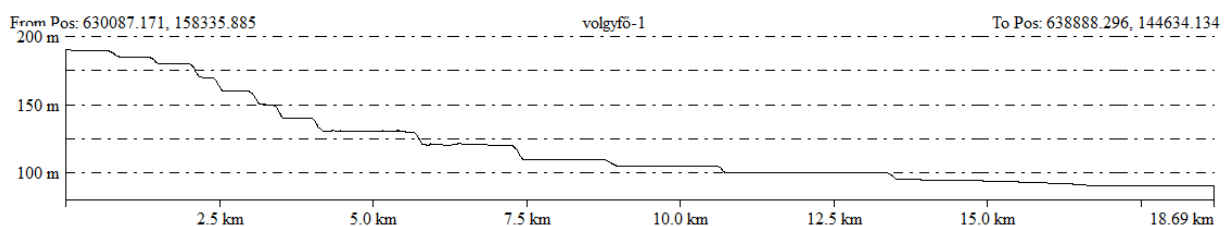
A 2b terasz kora Hertelendi et al. [136] szerint több mint 40 ezer év. A III-6D fúrásban az ebbe az összletbe sorolható, 18,7-19,2 m-ből származó minta kora 30,4 ezer év.

Völgyekhez kapcsolódó formák

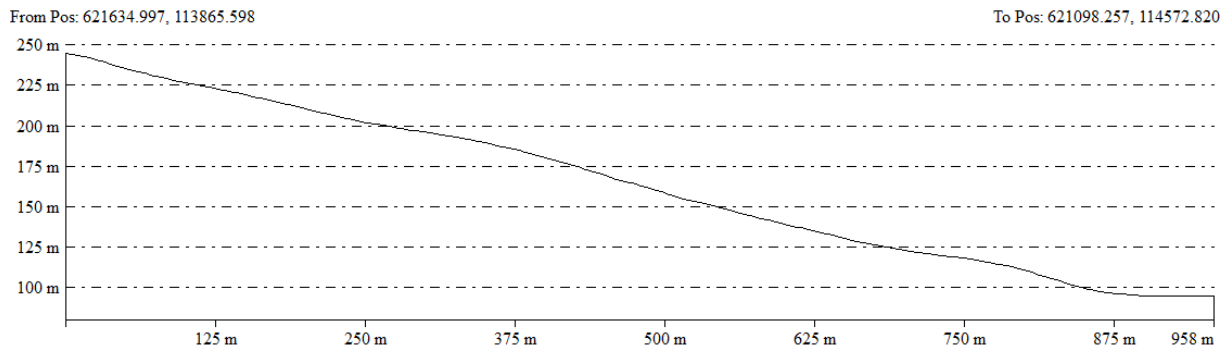
Eróziós völgy

Az eróziós völgyek a legerősebben tagolt domborzatot alakították ki. A völgylejtők meredek, gyakoriak az 5–15°-os vagy annál is meredekebb lejtők. Két típusuk különböztethető meg.

A leggyakoribbak a nagy méretű, viszonylag jelentős vízgyűjtőterülettel bíró völgyek. A völgytalpak széles, feltöltött, sík felszínek. Aktívan bevágódó vízfolyások ritkák, jellemző, hogy csak mesterséges medrek találhatók. A völgytalpak kis esésűek, a völgyfő környéki részek kivételével. Példaként említhető a Kanacsi-árok völgye a Mezőföldön (185. ábra). A völgyfő környezetében kb. 1,2° a völgy lejtése, a kb. 10 km hosszú ez alatti szakaszán mindössze 0,2° körüli az érték. A györkönyi, ma is élő mederrel, vízfolyással bíró viszonylag rövid, kb. 3,5 km hosszú oldalvölgy lejtése a völgyfőtől a torkolatáig kb. 0,9°.



185. ábra A Kanacsi-árok völgyének hosszszelvénye a Mezőföldön



186. ábra A Delibök-völgy hosszszelvénye a Szekszárdi-dombságban

Az eróziós völgyek másik típusa a lejtőkön vízmosásokból kialakuló, általában ma is aktívan bevágódó eróziós völgy. Ezek rövidek, a völgytalpakon bevágódó medrek találhatók. Ennek az eróziós völgy típusnak jó példája a Delibök-völgy a Szekszárdi-dombságban, aminek esése a teljes hosszon kb. 9° (186. ábra).

Részletes vizsgálatok a völgyek korára vonatkozóan nem történtek. A Mezőföldet, Tolnai-dombságot tagoló mai völgyhálózat kialakulása feltehetően a késő-pleisztocénban kezdődött.

Eróziós–deráziós völgy

A mezőföldi és dombsági területekre egyaránt jellemzőek az eróziós–deráziós völgyek. A nagy eróziós oldalvölgyei között, felső szakaszain egyaránt gyakran előfordul ez a forma. A dombsági területen Balogh et al. [22] is részletesen ismertette ezt a formát.

Gyakori, hogy a felső szakaszán a domborzat alapján tisztán deráziós völgyszakasz fokozatosan bevágódó, néha V alakú völgygé alakul. Ezek általában rövid, lejtőkön lefutó oldalvölgyek.

Másik típusába az eróziós völgyek nagyobb méretű mellékvölgyei tartoznak. Formálódásukat a lineáris erózió és a lejtők felületi lemosása egyaránt alakította, alakítja.

Deráziós völgy

Lapos, tál alakú völgyek, amelyekben alluviális völgytalp, lineáris eróziós meder a völgytalpon nem alakult ki. Üledékanyaga a lejtőn areális erózióval lehordott üledék, általában talaj. A völgyből az anyag kihordódása epizodikus csapadék maximumokhoz kötődő lineáris erózióval történik. Részletesebb leírását Ádám [4] a Tolnai-dombságon történt terepi megfigyelések alapján adta meg.

A völgytalpakon sok esetben nincs felhalmozott üledék, az „anyakőzetbe”, általában löszbe bevágódott völgyek ezek. Azonban olyan esetekben, amikor a felületi erózió előrehaladottabb állapotban van és a talajborítás már a deráziós völgyekből is kihordódott, feltárás, észlelés hiányában nem állapítható meg, hogy a völgytalpon az „anyakőzet” löszanyaga bukkan a felszínre, vagy a lejtőn lemosott lösz, mint lejtőüledék halmozódott fel. A felvétel során a térképezett területen ritkán volt észlelhető ilyen deráziós völgy.

Vízmosás

A kutatási terület Dunától nyugatra eső részén fordul elő a vízmosások döntő hányada. Az 5 métert meghaladó méretű lineáris eróziós formákat ezen a területen Madarász, Jakab [196] vizsgálták. Ezzel a jelöléssel foglaltuk össze a lösztérszíneken kialakuló rendkívül változatos elnevezésű, különböző típusú lineáris eróziós formákat [4].

A vízmosások aktív eróziója az erdőirtás, szőlőművelés, szántóföldi gazdálkodás nagy területre történt kiterjedésével magyarázható. Szabó Géza régész (szóbeli közlés) szerint ezek a folyamatok a 18. században indultak el.

Hordalékkúp

A különböző típusú völgyek előtt egyaránt kialakultak helyenként hordalékkúpok. A Duna és a Sió–Sárvíz ártereinek peremén, a nagy eróziós völgyekben a betorkolló völgyek előterében egyaránt előfordulnak viszonylag kisméretű, általában lapos, környezetükből kevésbé kiemelkedő hordalékkúpok. Koruk pontosan nem ismert. Jelentős részben holocén, újholocén formák, mivel a völgytalpak fiatal feltöltéseire települnek.

Lejtők

Lejtő; Tömegmozgás-veszélyes lejtő; Épülő lejtő; 5 – 15 fokos lejtő; 15 < fokos lejtő

A lejtők ábrázolása nagymértékben függ a megjelenítés méretarányától. A teljes kutatási terület geomorfológiai térképén a völgyek, magaspártok, löszfelszínek, futóhomokkal fedett löszfelszín oldalainak lejtői kerültek ábrázolásra. Kiemelten, külön jellel szerepelnek az 5 – 15° és a 15° < lejtésű felszínek. Ezeket a kategória határokat az FKP elvárásaiban megadott értékek határozták meg. A lejtők jelentős része nem éri el az 5°-os határt. A dombsági területekre az 5 fokot meghaladó meredekség a jellemző, míg a mezőföldi felszíneken ezek mellett jelentős arányban vannak jelen az 5 fok alatti esésű lejtők is. Keskeny, a 15 fokot ritkán meghaladó lejtők alkotják a Duna és a Sió–Sárvíz alluviális térszínének peremét is, ahol löszablakkal, vagy az azok fekvését képező összlettel érintkeznek.

A tömegmozgás-veszélyes lejtők a dombsági területen illetve magaspártokon fordulnak elő. Lejtőszögük általában 5–15°, de ezeken a területeken fordulnak elő az ezt meghaladó meredekségű lejtők is. Az 5 foknál kisebb értékek is előfordulnak, de ezek nem jellemzőek ezekre a felszínre. A különböző tömegmozgások ezeken a lejtőkön zajlottak le.

A meredek lejtők tövében gyakran kis, 5 fok alatti lejtésű felszínek alakultak ki. Ezeken a lejtőkön a meredekebb felszínekről lehordott lejtőüledék halmozódik fel általában. Ilyen, épülő lejtők Sáregres környékén kerültek ábrázolásra.

Lejtős tömegmozgás; Feltételezett lejtős tömegmozgás; Feltételezett sárfolyás

Az észlelt lejtős tömegmozgások mellett elkülönítve került ábrázolásra a feltételezett lejtős tömegmozgás. Ezeknek légi fotón, topográfiai térképen kirajzolódó formája valószínűsíti kialakulásuk módját. A jelkulcs nem különbözteti meg a csuszamlásokat, omlásokat, stb. A gyenge feltártság, a formák erősen lepusztult állapota miatt a részletes minősítés az esetek többségében megvalósíthatatlan lett volna. Ezek a formák a lejtőn, a lejtő tövében fordulnak elő. Sok esetben csak az erősen átalakult, ívelt formák utalnak az egykori szakadási falakra. Idős csuszamlások esetében előfordult, hogy a forma a mai domborzatban már eltűnt, de feltárásban észlelhető volt a csúszási sík, helyzetéből kimozdult közettömeg.

Balla et al. [18] igazolták a völgyoldalokban észlelt litoklázisok atektonikus jellegét, lejtős tömegmozgásokhoz kapcsolódó eredetüket. A lejtős tömegmozgások mindenütt az 5 foknál meredekebb lejtőkön fordultak elő.

A mozgások korára vonatkozó pontos adat általában nincs, kivéve az elmúlt évtizedekben a dunai magasparton történt mozgásokat. A völgylejtőkön kialakult mozgások fiatalabbak a völgyek koránál, a késő-pleisztocéntól napjainkig történhetnek a jelenleg észlelhető formákat kialakító mozgások.

A feltételezett sárfolyások a többi lejtős tömegmozgástól elkülönítve kerültek ábrázolásra. A néhány, idesorolt forma jellegében erősen eltér az észlelt többi lejtős tömegmozgástól. Az akkumulációs formák nem a lejtő tövében alakultak ki, hanem enyhén kiemelkedő, hosszú, keskeny hátat alkotva mélyen benyúlva települnek az alluvális térszínre. A feltételezett formák igazolásához további vizsgálat lenne szükséges.

Lösz felszínek

Lösztábla; Eróziósan erősen feldarabolt lösztábla

A pleisztocén során a Mezőföldön, a Tolnai-dombságban és a Duna–Tisza-közi hátságon nagy kiterjedésű, összefüggő felszínek alakultak ki. Felszínformálódásuk szerint három típusok különböztethető meg:

- a lösztáblák viszonylag kevésbé felszabdaltak eróziós völgyekkel. Alig tagolt, sík, hullámos felszínük összefüggő nagy térszíneket alkot. Jellemzőek a felszínekre a deráziós völgyek. A szélerózióknak kitett területeken kis méretű lefolyástalan mélyedések, széllyukak, deráziósan átformálódott szélcatornák kisebb yardangok is jellemzőek
- az eróziósan erősen feldarabolt lösztáblák jellemzően a Tolnai-dombságban fordulnak elő. A sűrű völgyhálózat meredek lejtőkkel tagolt, lapos, hosszan elnyúló, keskeny darabolta a löszplatókat. A Mezőföld területén néhány a szélerózióval kialakított, elkülönült helyzetű yardang felszíne sorolható ehhez a felszínformához
- a harmadik típus futóhomokkal fedett deflációs felszín löszön (lásd ott)

Löszkarszt

A löszkarszt vitatott fogalom, azonban általánosan használt a löszfelszínek oldásos–szuffóziós formáinak elnevezésére. Ádám [4] a Tolnai-hegyhát keleti peremén írta le a legjellegzetesebb karsztos lepusztulási formákat. Borsy [38] a karsztos folyamatoknak kisebb jelentőséget tulajdonított, mint a szuffózióknak, azonban nem zárta az oldódásos folyamatok hatását a formák kialakulására.

A geomorfológiai térkép a korábbi felfogástól eltérő módon értelmezi a löszfelszínen kialakult formákat. Ádám [4] 3–8 m hosszú, maximum 0,5 m mély löszdolinákat írt le. Ezek a mai felszínen általában felismerhetetlenek, a 1:10.000-es topográfiai térkép sem tünteti ezeket fel, ugyanakkor méretük miatt az 1:50.000-es méretarányú térképen akkor is ábrázolhatatlanok lennének, ha azonosítható formákról lenne szó. A löszvölgyek néven leírt formák jelentős része azonban eolikus mélyedés, nem löszkarszt. Erre utal irányítottáguk is, amit Ádám [4] a szerinte uralkodó ÉÉNy–DDK irányú szerkezetek mentén történt kialakulással magyarázott.

A korábbi kutatások során löszkarsztként értelmezett forma egy része valóban az a Hegyhát keleti peremén. Azonban ezek elterjedése nagyobb, számos, korábban semmilyen módon nem értelmezett forma került a geomorfológiai térképen ábrázolásra löszkarsztként definiálva. A löszfelszín pereméhez közel, a Sió–Sárvíz és a Duna árterének szomszédságában található nagy méretű, lefolyástalan mélyedések kialakulása köthető oldásos, szuffóziós folyamatokhoz (ábra a Jelenkori folyamatok fejezetben). Ezek részletes vizsgálata még nem történt meg, a pontos folyamat megismerése csak ezek alapján történhet meg.

Széleróziós és futóhomok-felszínek

Futóhomokfelszín; Futóhomokfelszín ártéren

Futóhomokfelszínként kerültek ábrázolásra a különböző korú – első sorban mezőföldi – folyóvízi eredetű homokterületeken létrejött eolikus térszínek. A változatos formakincs mellett jellemző futóhomok anyagának változatossága. Gyakori a jól osztályozott, jól kerekített, koptatott, gyakran darakavicsot is tartalmazó anyag és a gyengén osztályozott, sokszor viszonylag sok csillámot tartalmazó homok is. A folyóvízi homok változó mértékben halmozódott át eolikusan, ez magyarázza ezeket a különbségeket.

Futóhomokfelszín ártéren jelöléssel a Duna nagy kiterjedésű holocén árterén fordulnak elő változó kiterjedésű futóhomok felszínek. Az esetenként több méter magas dűnék között parabola buckák, hosszanti buckák nem azonosíthatóak.

Parabola bucka; Hosszanti bucka

Parabola buckák a Dél-Mezőföld futóhomokfelszínén fordulnak elő. Formájuk jellemzően aszimmetrikus. Az ÉÉNy–DDK irányú szelek kialakította formák nyugati szárnya az esetek nagy többségében sokkal hosszabb a keleti szárnyánál. Méretük, fejlettségük változó. A legnagyobbak hossza az 1 km-et meghaladja, magasságuk a 20-25 métert is elérheti.

A félig kötött futóhomok formái között a hosszanti buckák mezőföldi előfordulását hosszanti garmada bucka néven Ádám et al. [6] is megemlíti. Pécsi [258] a bácskai futóhomok területen ugyancsak leírta a hosszanti buckákat, kiemelve annak jelentőségét, hogy a félig kötött futóhomok formái között ezek egy, a magyar szakirodalomban nem tanulmányozott formát alkotnak. A keskenygerinceket alkotó formák hossza km-es nagyságrendű is lehet. Hossztengelyüknek két iránya élesen elkülönül. Az egyik irány 330° körüli, a másik ÉÉNy–É.

Deflációs felszín futóhomok-takaróval löszön; Deflációs felszín; Eolikus mélyedés futóhomok környezetében; Széllyuk

A nagy kiterjedésű homokterületektől, alluviális térszínektől DK-re alakult ki jellegzetes deflációs felszín futóhomok-takaróval löszön. A lösz helyenként teljesen fedett futóhomokkal, helyenként kis foltokban a felszínre bukkan. Deflációs felszín jelölést a löszplató és a futóhomok térszín átmeneti területe kapott.

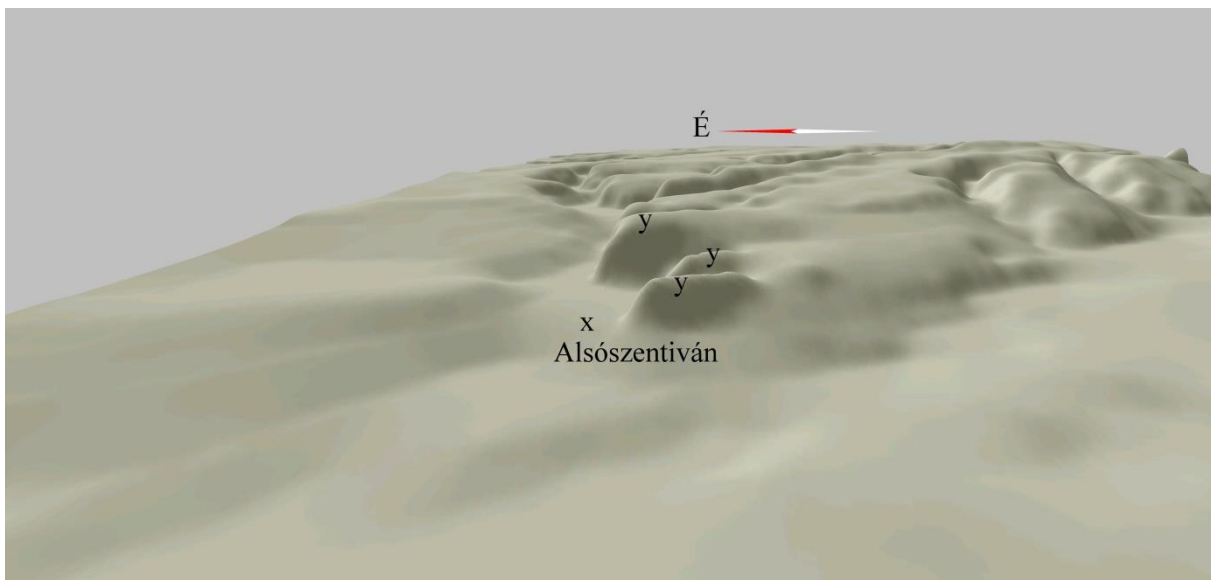
A térképen az egyik legnagyobb számban előforduló forma az eolikus mélyedés futóhomok környezetében. A szélerózióval kialakult mélyedések valamint a futóhomok buckák közötti, akkumulációs térszínen kialakult lefolyástalan területek kerültek így ábrázolásra. Jellemző az ÉNy–DK-i hossz tengely mentén elnyúlt forma. Viszonylag kis mélységű formák. A térkép csak az ábrázolható méretű, néhány száz métert meghaladó

nagyságú lefolyástalan területeket mutatja. Előfordulnak a futóhomokfelszíneken, futóhomokkal fedett löszterszíneken és a folyóvízi teraszok felszínén is.

A mezőföldi löszplatók felszínén gyakori lefolyástalan mélyedések eolikus eredetű széllyukak. Ezeket korábbi munkák általában löszkarsztnak tartották. A széllyukak mérete igen változatos. A térképen az egyéb hasonló formákkal azonos módon csak a néhány száz métert meghaladó formák lettek feltüntetve. Rendkívül sekélyek, a néhány méteres mélységet is ritkán érik el.

Deflációs mélyedés; Dűne deflációs mélyedés szélalatti peremén

Az egymástól elválaszthatatlan két forma a dél-mezőföldi futóhomok terület jellegzetessége a kutatási területen. Nagy területű, viszonylag szabálytalan alakú, sekély deflációs mélyedések alakultak ki. A kihordott homok alig mozgott, a mélyedések szél alatti oldalán rögtön felhalmozódott.



187. ábra Eróziósan, deráziósan átalakult yardangok, szélbarázdák a Mezőföldön

Yardang; Eróziósan, deráziósan átformált szélbarázda

Az elmúlt évtizedekben a területről megjelent geomorfológiai feldolgozásoktól a szélerózió jelentőségének megítélésében tér el jelentős mértékben a geomorfológiai térkép és magyarázójának felfogása. Az elmúlt években számos publikáció igazolta a szélerózió domborzatformáló hatását a Dunántúli-középhegységben [290] és a somogyi, zalai ún. meridionális völgyek környezetében [50], [299]). A Mezőföld és a Tolnai-dombság geomorfológiai vizsgálata során a jellegzetes ÉNy–DK-i irányítottságot a szerzők szerkezeti okokkal magyarázták [212], [4].

A domborzatot meghatározó ÉNy–DK irányú háta, mint például a Györkönyi-hát a kutatási program keretében készült geomorfológiai feldolgozás szerint nagyméretű yardang. Kisebb yardangok alakultak ki a deflációs területeken, a mezőföldi löszplatók felszínén is. A löszplató alsószentiváni meredek, ÉNy-i kitettséű pereme az egyik igen jellegzetes, napjainkban már eróziósan, deráziósan átformált szélbarázda és yardang váltakozásából álló terület (187. ábra). Ezen a területen az erózió erősen átformálta a kisméretű eredeti szélbarázdákat, ezek itt nem voltak ábrázolhatóak 1:50.000-es méretarányban.

A Tolnai-hegyhát keleti részén két, 4-5 km hosszú rendkívül egyenes lefutású, vízgyűjtővel alig rendelkező völgy található. Ezek egyikében völgyi vízvásztó is kialakult. Ezek kapták a geomorfológiai térképen az eróziósan, deráziósan átformált szélbarázda minősítést. Ezek a formák a szélerózió nyugati határát jelentik a kutatási területen.

Egyéb formák

Szelektív denudáció, szelektív denudációs kiemelt felszín kalkréten

Futóhomokfelszín környezetében előforduló felszínforma. Mindössze néhány foltban bukkan a felszínre a futóhomok feküjének eróziós–deflációs térszíne. A Tengelici Formáció kalkkrétje helyenként nagyobb vastagságban, erősebben cementálódva alakult ki. A lepusztulási folyamatoknak ezek a rétegek jobban ellenállva környezetükből enyhén kiemelkedő térszint formáknak.

Lefolyástalan terület

A lefolyástalan felszínek több típusa volt elkülöníthető a kutatási területen. Néhány esetben nem volt megállapítható genetikájuk. Ezek kapták az általános, lefolyástalan terület térképi jelet.

Gerinc; Nyereg; Völgyi vízvásztó

A gerinc, nyereg jelek a térszín tagoltságát jelzik csupán, megkönnyítve a térkép olvashatóságát néhány esetben.

Völgyi vízvásztó ritkán fordul elő a kutatási területen. Egy esetben szélbarázdából kialakult völgyet oszt ketté. Másutt feltehetően az erős eróziós bevágódás, völgyek hátrálásának eredményeként alakult ki. Részletes vizsgálata ezeknek a területeknek további információkkal szolgálhat a geomorfológiai fejlődéstörténet számára.

Szik

A szikes terület elterjedése jelentős mértékben egybe esik a Duna holocén árterének legmélyebb, a mai főmedertől legtávolabbi részének, a Gábris [86] által leírt mögöttes mocsaraknak a területével.

Halupka [127] összefoglalója szerint a Solti-síkságon több száz km²-es területen fordulnak elő a különböző típusú sós talajok. Kialakulásukban jelentős szerepet játszik, hogy a medence méretű áramlási rendszerek mellett Kuti [185] szerint a Duna–Tisza-közi hátság felől a Solti-síkság felé áramló felszín alatti vizeket a Duna visszatartja, megrekeszti ezeken a területeken.

3.1.1.3.5 Kiegészítő földtani-geomorfológiai vizsgálatok

A FKP (FKP, SOM(R)475/3 Rev.4) [311] végrehajtása keretében végzett földtani-geomorfológiai reambulációs, ill. részletes földtani térképezési munkák kiegészítéseként további vizsgálatokra került sor. Ezek a vizsgálatok az FKP által előírt (FKP 5.2.9 fejezet) kívánalmakat szem előtt tartva készültek el és segítik a térképezési, ill. reambulációs munkák értelmezését.

A munkák módszereit és módját a zárójelentés 2.1.2.4 Paleogeomorfológia részfejezet foglalja össze.

A Duna folyam mederváltozásainak és környezetének rekonstrukciója

A vizsgált terület a Dunaegyháza és Sükösd közötti Duna szakaszt (1 566-1 493 fkm) és környezetét foglalja magába. Területe egy olyan 60×60 km oldalú négyzet, melynek középpontja a Paksi Atomerőmű telephelye (Y0= 635110; X0= 137264). E területen belül részletesebben vizsgáltuk a Duna mentén fekvő, a folyótól jobb és bal irányba mintegy 10-10 km-re eső sávot.

A vizsgált terület áttekintése

A vizsgált terület két eltérő morfológiai tulajdonságú területre osztható. A Paks feletti szakaszon a folyó jellemzően a – helyenként akár 50 m magas – magaspart lábánál folyik, kavicsos, alapvetően stabil medrében. Pakstól délre pedig a süllyedő fiókmedencék területén, laza üledékekbe ágyazva egy medrét folyamatosan változtató, kanyargó folyót és változatos felszínformáit találjuk. A történelmi mederváltozásokat jól mutatják a magaspart szakaszok és kikötőfalvak ma észlelhető folyótól mért – akár 15 km – távolsága, ill. a Pakstól délre eső folyószakasz kanyargó, kusza mederhálózata, lefűződött medrek maradványai, morotvatavak, mocsaras területek és szigetek.

A természetes változásokon kívül több mederváltozást okozó emberi beavatkozás is történt. A vízrendezési munkálatok és a folyókanyarulatok átvágása következtében a Duna mederviszonyai és mintázata érdemben megváltozott, különösen a Pakstól délre eső szakaszon lett rövidebb a meder. Futása egyszerűsödött, egyenesebbé és szigetekkel kevésbé tagolttá vált.

A Duna mederváltozásait meghatározó főbb hidrológia és folyószabályozási tényezők

A folyó múltbeli medrének és árterének legnagyobb változásai az árvízi eseményekhez köthető, azonban a folyó egyes szakaszainak jellemzőit nagyban meghatározzák a földtani, tektonikai adottságok, az éghajlat és időjárás változása is [88].

Az egész folyóra kiterjedő országos tervezés és szabályozás a 19. század derekától kezdődik. Ez az időszak az, amikor a jeges árvizek elkerülése érdekében a folyó medrét alapvetően egyszerűsítették, kiegyenesítették, a kanyarulatokat levágták, ugrásszerűen megnőtt a mezőgazdasági területek igénye és elindult a Duna folyami hajózása. A Duna vízjárását gyökeresen megváltoztató szabályozási munkák eredményeként nem csak a magyarországi Duna-meder lett lényegesen rövidebb, keskenyebb és stabilabb, de a folyó tág környezetének képe is alapvetően megváltozott, szárazabbá, egyveretűbbé, egyben biztonságosabbá vált.

A folyó elszélesedésre hajlamos, sekély, zátonyokkal tarkított mederszakaszai a jégtorlaszok képződésének potenciális helyszínei és akadályozzák a folyami hajózást is. A szabályozási munkálatok az ilyen szakaszok szűkítését, a folyó munkavégző képességének növelését célozták meg. A medret szűkítették, a zátonyokat, szigeteket elkotorták vagy a parti területekhez csatolták. Az akadály nélkül levonuló víz mélyebb, hajózható medret alakított ki. A folyókat kísérő árvízvédelmi töltések, a korábban vizes árterek lecsapolása, csatornázása, folyók és patakok elterelése mélyreható változásokat okoztak az ártéri területeken.

Antropogén hatásra tehát a meder és környezete jelentős változásokon ment át, mellette viszont – ugyan mérsékeltebb hatással – de továbbra is hatnak mindazok a természeti erők, melyek a meder természetes fejlődését a múltban is irányították.

A mederváltozások rekonstrukciója során feldolgozott térképek

A kutatás során olyan, egész országra kiterjedő, egységes térképi felvételezéseket választottunk melyek hasonló méretarányuk és térképi tartalmuk miatt alkalmasak az összehasonlító vizsgálatokra. A 18. és 19. századi történeti állapotokra vonatkozóan a Habsburg Birodalom, majd az Osztrák Magyar Monarchia katonai felméréseinek térképállományait használtuk fel. A 20. század végi állapotokra a katonai felmérésnél részletesebb, az 1970-es években felvett egységes országos térképrendszer (EOTR) 1:10.000 méretarányú topográfiai térképeit dolgoztuk fel. Az elmúlt évtizedek változásainak, ill. a mai állapotok ellenőrzésére a Google Map műholdfelvételeit használtuk.

Az **első katonai felmérés** vagy más néven jozefiniánus térképek (1780-1784; kutatási területen 1783) a felvételezés során sem rendelkeznek egységes geodéziai-vetületi alappal [147], ezért a szelvények georeferálása országosan egységes rendszerben csak mintegy 2 kilométer hibával készült el és került kiadásra DVD-n (Az Első Katonai Felmérés (1763-1785): Magyar Királyság - Georeferált változat. ISBN:963 9374 95 4. 2004. október, Arcanum Kft.). Ez a pontosság nem megfelelő jelen összehasonlító kutatásainkhoz, ezért a vizsgált területre eső szelvényeket újra kellett georeferálni. A felmérésen szereplő jellegzetes fix pontokat az újabb topográfiai térképekről (EOTR 1:10.000) származó ismert koordinátájú illesztőpontok segítségével azonosítottuk. Az első katonai felmérés eredeti térképlapjainak méretaránya 1:28.800, jól ábrázolják a domborzatot, utakat, építményeket, vízhálózatot, települések és földrajzi egységek nevét. A domborzatot nem szintvonalak, hanem lendületcsíkozás jelöli.

A **Második katonai felmérés** vagy más néven franciskánus térkép (1806-1869, kutatási területen 1858-1859-ben). Méretaránya az első katonai felméréshez hasonlóan 1:28.800. A térképek készítésekor ún. derékszögű szelvényezést alkalmaztak, a térképeket a Cassini-féle (a térinformatikai gyakorlatban Cassini–Soldner) vetülethez alakították ki, amely egy szögtartó vetület, szelvényei pedig mindig merőleges és párhuzamos határuak a lappal [147]. A felmérés szelvényei DVD-n is megjelentek (A Második Katonai Felmérés (1806-1869): Magyar Királyság és a Temesi Bánság - Georeferált változat. ISBN: 963 7374 21 3, 2005. December, Arcanum Kft.), a rajta szereplő program engedi a georeferált állományok exportálását. A DVD-n lévő georeferált, összefűzött szelvényeket EOVR rendszerben exportáltuk ki és ezt használtuk a további vizsgálatok során. A felmérés lapjain a domborzatábrázolásnál a Lehmann-féle geometriai csíkozást alkalmazták.

A **Harmadik katonai felmérés** vagy más néven ferencjózsefi térkép (1869-1887, kutatási területen 1880-1881). Méretaránya az előző felmérésektől eltérő 1:25.000. A felszíninformációt domborzatárnyalással ábrázolja, helyenként magassági adatokat is feltüntet. Eltérően az első két felméréstől, a domborzatra és vízhálózatra vonatkozó grafikus adatok kisebb jelentőségűek, ugyanakkor megjelennek rajta a fontosabb dűlőnevek, és a jelkulcsokkal ábrázolt műtárgyak alappal [147]. A felmérés szelvényei DVD-n is megjelentek (A Harmadik Katonai Felmérés (1869-1887), a Magyar Szent Korona Országai, 1:25.000. ISBN: 978-963-7374-54-8. 2007. március, Arcanum Kft.) és hasonlóan a második felmérés térképeihez itt is az összefűzött szelvények EOVR rendszerben kiexportált, georeferált, raszteres állományát használtuk a vizsgálataink során.

Az egységes országos térképrendszer (EOTR) 1:10.000 méretarányú topográfiai térképe először 1957 és 1980 között készült el az egész ország területére, ennek felújítása 1975 és 1999 között történt meg, ebben az időszakban készültek a vizsgálatok során felhasznált térképek is. Vetülete az EOVS ferdetengelyű szögtartó hengervetület, alapfelülete az IUGG 67 ellipszoid, a magassági adatokat Balti rendszerben adja meg. A domborzati viszonyokat szintvonalas ábrázolással ábrázolja. A raszteres szelvényeket a térképen szereplő koordináta adatok alapján Global Mapper 13 programmal georeferáltuk EOVS rendszerben.

Paks környezetének geomorfológia térképe Paks 30 kilométeres körzetében ábrázolja a terület domborzati formáit 1:50.000 méretarányú tematikus térképen. A geomorfológiai térképezés alapját az 1:25.000 méretarányú topográfiai térképek adták, a felszínformák ábrázolásának részletessége is ehhez a méretarányhoz igazodik. A geomorfológia szintek, térszínek és a felszínüket tarkító formák önálló vektoros állományként jelennek meg (shape file) a hozzájuk tartozó geomorfológiai nevezéktannal együtt.

A folyó geomorfológiai adottságai, mederváltozások és vízrendezési munkálatok

A mederváltozások kutatása során öt vízrajzi-morfológiai szakaszra osztottuk a vizsgált területet. Az egyes szakaszok geomorfológia viszonyait, a Duna mederének természetes és emberi hatások eredményeként kialakult változásait az alábbiakban mutatjuk be. A szakaszok a következők (*fkm = folyóam kilométer*)

- Dunaegyháza – Bölcske szakasz (1566-1552 fkm)
- Bölcske – Paks szakasz (1552-1532 fkm)
- Paks – Gerjen szakasz (1532-1515 fkm)
- Gerjen – Sió torkolat szakasz (1515-1497 fkm)
- Sió torkolat – Sükösd szakasz (1497–1493 fkm)

Dunaegyháza – Bölcske szakasz (1566-1552 fkm)

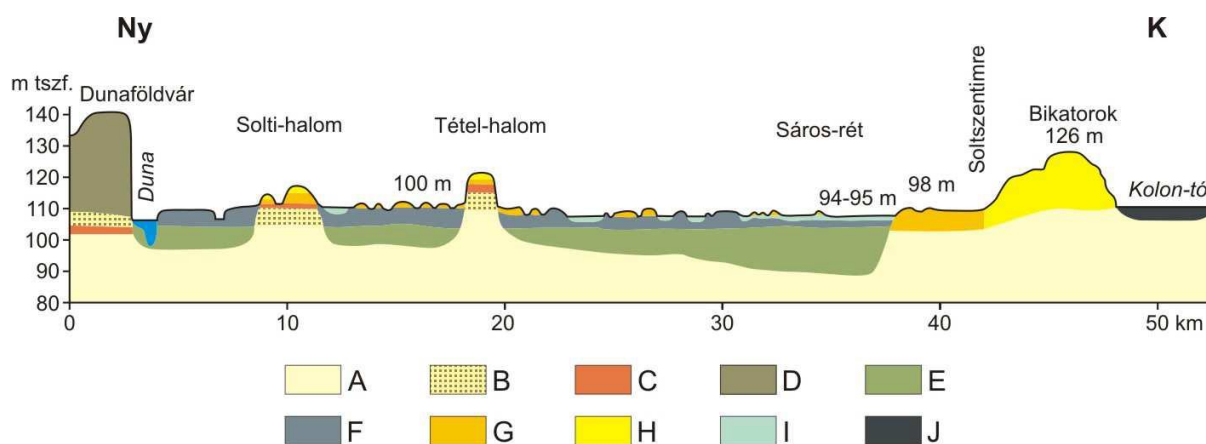


188. ábra Dunaegyháza – Bölcske szakasz (1566-1552 fkm) a Google Earth, az első (1783), a második (1858) és a harmadik katonai (1881) felmérés térképein

A tárgyalt folyószakasz bal partján a Solti-sík, jobb partján a Közép-Mezőföld fekszik (188. ábra). A Közép-Mezőföld peremét jelentő meredek magaspart relatív magassága Dunaujvárosnál 40-60 méter, Kisapostag és Dunaföldvár között csökken, csak 20–30 méter, területünk déli felén Dunaföldvár és Bölcske között ismét 40-50 méter. Kivételes módon a Duna balparti területein is találhatók a mezőföldihez hasonló löszből épült formák: a Solti-halom (125 m) és a Tétel-halom (114 m) eróziós tanúhegyei, melyek jelzik, hogy a mai Mezőföld löszös vidéke egykor keleti irányba messze kiterjedt.

A jobbparti magaspartok lábánál igen keskeny sávot képez a folyó ártere. A balparti területeken a Duna természetes ártere az ártér jóval kiterjedtebb. Az első katonai felmérés térképén, e területeken kiterjedt mocsarakat és az azokat behálózó ereket látunk. A Solti-sík morfológiai viszonyai alföldi viszonylatban változatosnak mondható. Az alacsonyártéri szintből a magasártéri szintek szigetszerűen emelkednek ki. Dunaegyháza és Solt is ilyen

árvizektől jobban védett felszíneken épült meg. A magasárterek területén, egyes helyeken futóhomok felszíne alakultak ki. Az alacsonyártérbe elhagyott medrek, feltöltődés különböző stádiumában lévő egykori Duna-meanderek, szikes, belvizes laposok visznek változatosságot (189. ábra).



189. ábra A Solti síkság domborzati keresztmetszelve (Pécsi 2002 alapján Mezősi G. 2011)

A-pannon agyag, B-pannon homok, C-vörösayag (pliocén-pleisztocén), D-lész 3-4 eltemetett talajjal, E-dunai homokos kavics, F-apró kavicsos homok és folyóvízi homok, G-homokos lösz és löszös homok, H-eolitikus homok, I-öntéshomok, homokos lösz, ártéri lösz, szikesedett lösz, a mélyedésekben és elhagyott meanderekben réti, lápi agyag, J-Kolon-tó tözeges üledékkel

A katonai felmérések térképei egy nagyobb szigetet jelölnek Dunaföldvár és Dunaegyháza között ez a *Dunaföldvári-sziget* (régén: Nagy-sziget, Felső-sziget). A felmérések idejében a jobb oldali meder volt a főmeder, de a baloldali mellékág – a *Solti-Duna* – is jelentős volt. A Solti-Dunát a harmadik katonai felmérés még erőteljes mellékágnak jelöli, nem sokkal később, 1855-ben a solti ágat a felső végénél párhuzammúvel elzárták. Az elzárás nem bizonyult kielégítőnek, az ág mélyülni kezdett és attól tartottak, hogy a hajózás szempontjából sokkal kedvezőbb főmeder el fog csenevésznedni. Meder ezen a szakasán továbbra is maradtak középzátonyok és ezek nem csak a hajózást akadályozták, hanem a zajló jég levonulását is gátolták, ezért 1903-ban a solti ágat beljebb, egy magasabb keresztgáttal +3 m magasságig lezárták, a főmedret kikotorták és párhuzammúvekkkel összeszorították ([155], [359]).

Jelenleg a Solti-mellékágon csak a Duna nagyvizei esetén van átfolyás a benne épült vezetómű és keresztgát miatt. A vízrendezési munkálatok következtében a solti mellékág területe zsugorodott, nagy részben feltöltődött.

A Dunaföldvári-sziget jobb oldalán a Duna főágában a második katonai felmérés zátonyszigetet jelöl Dunaföldvártól északra a Felső-Öreg-hegy előterében. A harmadik katonai felmérésen a zátonyszigetek már lejjebb vándoroltak, Dunaföldvártól délre az Alsó-Öreg-hegy előterében vannak. A zátonyok kialakulásában nem csak a folyó által szállított hordalék, hanem a magaspart Dunába csúszó anyaga is megjelenhet. A katonai felmérések térképeinek összehasonlítása alapján a kanyar domború oldalának pusztulása állapítható meg. A dunaföldvári folyószakaszon a korábbi állapotoktól eltérően ma már nem a zátonyok képződése, hanem épp ellenkezőleg a meder erőteljes mélyülése figyelhető meg [100].

A Dunaföldvár és Bölske közötti folyószakaszon nagyvízi meder kiszélesedik. Ez a szakasz is hajlamos volt zátonyok képződésére. A Dunaföldvári magasparttól délre, a folyó

bal partja mentén egyetlen zátonysziget látható az első katonai felmérésen (1783). Az a második 1858-as felmérésen zátonysziget területének növekedése és déli folytatásaként további szigetek épülése figyelhető meg. A harmadik katonai felmérésen (1881) a sodorvonal keletebbre tolódását figyelhetjük meg, a folyó a kanyar külső ívén a bal partot erodálta. A szigetecsoport alsó szigetei, átrendeződtek, keletebbre tolódtak, ez nem csak a kanyarulatfejlődésnek köszönhető, hanem annak is, hogy az ettől a szakasztól délre lévő Bölcskei-sziget jobb oldali mellékágát elzárták. A Bölcskétől északra fekvő egykori szigetek sorozata ma jobbára a Duna bal partjához kapcsolódik. A Dunaföldvár és Bölcske között a folyóba benyúló sarkantyúk sorozata és az Kéményesi-ágba épített kőművek hatására a bal parti szigetek területe növekszik, a köztük lévő medrek feltöltődnek és a szigetek parthoz kapcsolódásának folyamata folytatódik. A folyószakaszt párhuzamművek kísérik.

Bölcske – Paks szakasz (1552-1532 fkm)



190. ábra A Bölcske – Paks szakasz (1552-1532 fkm) a Google Earth, az első (1783), a második (1858) és a harmadik katonai (1881) felmérés térképein

A Bölske és Paks közötti szakaszon a Duna mindkét oldalán a Kalocsai-Sárköz alföldi jellegű tája található (190. ábra). A jobb parton – a Madocsai-öblözet területén – a folyó keleti irányban messze elkanyarodik a Közép-Mezőföld peremét képező Sárbogárdi-löszplatót jelentő magasparttól.

A Mezőföld löszplatójának peremét eróziós és deráziós völgyek tagolják. A völgyekből érkező vízfolyások, illetve az itt fakadó források vizét a magaspart lábánál húzódó alacsony fekvésű sávban kialakított Dunakömlődi-csatorna vezeti a Dunába. Ez a mélyebb sáv a magaspartot egykor alámosó óholocén Duna-ág feltöltődött medre, mely még sokáig vizenyős, mocsaras, nádas terület maradt, így ábrázolják az első és második katonai felmérés térképei is. Szintén mocsaras területek voltak a Madocsának helyet adó magasabb térszíntől délre és keletre fekvő egykori medrek, övzátony sorozatok is.

A vizsgált szakasz északi részén található Bölskei-sziget jobb oldalán lévő mellékágakat három kőgáttal választották el a főmedertől. Az első katonai felmérés térképén még széles, zátonyszigetekkel tarkított mellékág a második felmérés idejében már keskenyebbé vált, az egykori zátonyok a jobb partba épültek be. A harmadik felmérésen már csak keskeny medermaradványok emlékeztetnek az egykori folyómederre. Az elmúlt években a mellékág rehabilitációjakor az egyik kőgátat elbontották biztosították a víz szabad áramlását a mellékágban. A Duna 1551 és 1551,5 fkm közötti szakaszán lévő Bölskei-szigetek közül a zátonysor északi végében alacsony vízállás esetén egy 80×80 méteres római kori kikötőerőd romjait tárták fel, mely egykor a Duna jobb partján, részben a mederbe lógva épülhetett. Az erőd jól mutatja a Duna medrének történelmi változásait [314].

Az első katonai felmérés térképén Bölskétől délkeletre a folyó több ágra szakad és medrei egy nagy és több kisebb zátonyszigetet fognak közre. A főmeder ekkor is megközelítőleg a mai főmeder vonalában volt. A Madocsai-öblözet délnyugati részén a Duna éles kanyart írt le, ez a Dunakömlőd előtti egykori imsósi ág. A hirtelen kanyarodó imsósi Duna-ág elsősorban nem a középszakasz jellegű folyókanyarulat fejlődés eredménye, kanyarja inkább tektonikai meghatározottságra utal [42], [321]. A kanyart 1839-ben vágta át, mert korábban több alkalommal elakadt a zajló jég a kanyarban [155]. Az imsósi kanyar azonban még hosszú ideig élő meder maradt. A második és a harmadik katonai felmérés térképén az egykori imsósi főmedernek már csak feltöltődött, keskeny roncsait találjuk meg. Az imsósi-ág átvágása után a főmederben ellenkanyar állt elő, amit ma a Duna kiegyenesíteni törekszik [359]. Az átvágásban kifejlődött folyómederben a bal part pusztulását és a jobb part épülését lehet megfigyelni az egymást követő katonai felméréseken. A meder ezen a szakaszon kiszélesedésre és zátonyképződésre hajlamos, de képződésüket megakadályozzák.

A Bölske és Harta szakasz elszélesedésre hajlamos hely, mely akadályozza a hajóközlekedést, és jégtorlaszok kialakulásához vezethet. 1903-ban ezt a szakaszt párhuzamművekkel és keresztgátakkal úgy szabályozták, hogy a sodor a bal part mellé kerüljön. A folyamszabályozás következményeként a bal part mellett a meder erősen kimélyült. A nagy mélységeket négy nagy fenékgáttal mérsékeltek. A beépített szabályozó művek nem hozták teljesen rendbe a szakaszt, az elszélesedés megmaradt, itt keletkezett az 1956-os jeges árvíz dunaföldvári jégtorlasza [359].

A folyó elterelése után a partfalmozgások jelentkezése érdemben mérséklődött a Dunakömlőd–Paks szakaszon. Az állékonyság növekedéséhez vezetett az is, hogy az egykori medrek, mélyedések folyamatosan feltöltődtek, és az itt felmalmozódott hordalékanyag megtámasztja, stabilizálja a magaspartot.

A szabályozás előtti zátonyokkal tagolt meder összességében ma egyszerűbb lett, a szigeteket a partokhoz csatolták vagy elkotorták, a medret keresztirányú kőművekkel szűkítették, az erózióval veszélyeztetett partszakaszokat Madocsa, Harta, Ordas és Paks előtt (1542-1532 fkm) egy-egy hosszirányú partvédezet építésével védték meg.

Paks – Gerjen szakasz (1532-1515 fkm)



191. ábra A Paks – Gerjen szakasz (1532-1515 fkm) a Google Earth, az első (1783), a második (1858) és a harmadik katonai (1881) felmérés térképein

A Paks–Gerjen szakasz (7. és 13. ábrák) északi részén – Pakson és Dunakömlőd környezetében – a Dél-Mezőföld löszplatója 50 m magas magasparttal találkozik.

Ettől délre a folyó jobb parti területei a Tolnai-Sárköz a bal parti területei a Kalocsai-Sárköz részei. A Duna mindkét partján alacsony ártéri térszínnek, feltöltődő medrekkel, mocsarakkal, kisebb-nagyobb vízfolyásokkal tarkított síkság található. Ez a kép az folyószabályozások és ármentesítési munkálatok előtt még inkább igaz volt a Sárközre.

A Duna Paks környékén – ugyanúgy, mint Budapesttől a déli államhatárig tartó egész szakaszán – ma kanyarogva bevágó szakaszjelleggel folyik. Míg Pakstól északra a meder fenekén fekvő kavicsstakaró akadályozza a folyó bevágódását és szabad kanyarulat fejlesztését, addig Pakstól délre már nincs ilyen akadály, mert a kavicsréteg 10-15 méterrel a mai meder alá süllyedt [313]. A Paks–Mohácsi medence fiatal pleisztocén-holocén süllyedése geológiai, geodéziai, és geomorfológiai adatokkal bizonyított [256] 345 p.[294]; [342] [149], [136] [149].

Paks és Uszód közötti szakaszon, a jobb parton a Paks környéki löszös üledékeket felváltja az egykori, északnyugat–délkelet irányú Ős-Sárvíz pleisztocén hordalékkúpjának anyaga és az abból áttelepített futóhomok felszínek. A Mezőföld pereme itt még a Duna közelében emelkedik ki a keskeny ártérből, melyet homokos öntésiszap és átmosott lösz borít. A fiatal süllyedék-területeken a vízrendezési munkálatok előtt kiterjedt mocsaras területek alakultak ki, a középszakasz jellegű folyó nagy meandereket, mellékágakat fejlesztett (különösen a jobb oldali területein). Ezt az állapotot mutatja még az első katonai felmérés térképe is (191. ábra).

A folyó bal parti területein is a Duna holocén ártéri formakincsét találjuk. Az elhagyott, a feltöltődés különböző stádiumában lévő meanderek kusza hálózata, szikések, mocsarak, patakmedrek, csatornák jellemzik azt a területet, amit a vízrendezések előtt a Duna nagyobb árvizei idején rendszeresen el tudott önteni. Az ártérből Dunapataj, Kalocsa, Miske, Hajós között típusos ártéri, sárga öntésiszappal, lösziszappal befedett magasabb ártéri szint (ún. kalocsai terasz) emelkedik ki, ez hordozza a településeket is [259][267].

Hartától és Dunapatajtól keletre a Nagyéri-csatorna mentén két hatalmas meander-maradvány nádasos, mocsaras területe található. Tőlük délre a Szelidi-tó morotvatava jelzi a lefűződés fiatal korát. Egykor Foktőnél ágazott ki a Dunából a Vajas, amely kanyargós folyásával délnek tartva és számos régi medret összekötve helyenként a Dunához kapcsolódott.

A Duna Paks és Gerjen közötti szakasza észak-északnyugat–dél-délkelet irányú medre viszonylag egyenes csak enyhe, fejletlen kanyarok teszik futását hullámossá. A tárgyalt folyószakaszt övező párhuzamművek, partbiztosítások csak fokozatosan épültek ki.

A vízszabályozási munkálatok előtti állapotokat mutató első katonai felmérés térképén számos zátonysziget található ezen a szakaszon: Paks és Dunaszentbenedek között, a bal part közelében egy hat kilométer hosszú sziget látható, Uszódnál két kisebb, Foktőnél pedig megint egy nagyobb mederközepi zátonysziget látható. A Paks és Dunaszentbenedek közötti szigetet a második felmérésen már csak egy nagyon keskeny ág választja el a folyótól, a területe a kanyar homorú oldalán lényegesen megnőtt, ezzel együtt a túlpárt pedig nyugatabbra tolódott. A folyó dinamikájának változást a közeli imsósi kanyar 1839-ben történt átvágása okozta.

Az első felmérésen szereplő két uszódi zátonysziget a második felmérés térképén már összenőttek, a harmadikon a jobb partba épültek csak egy keskeny csatorna maradt az egykori mellékágból. Ma a zátony északi része több kisebb zátonyra szakadt. A jobb part épülésével

párhuzamosan a bal parton a kanyarulat fejlődése, növekedése figyelhető meg a különböző térképek sorozatán.

Amíg Uszódnál a bal part rovására fejlődik a kanyar addig a tőle délre – Foktő határában – a jobb part kárára és a bal parti területek épülésével zajlott le ez a folyamat. Az első katonai felmérés térképén egy mederközepe zátonyszigetet látunk, a tőle balra lévő medret jelöli főmedernek. A második katonai felmérésen a bal oldali meder elcsenevészsedik, a sziget a bal parthoz kapcsolódik, a jobb oldali meder válik főmederré. A későbbiekben a Foktői-sziget bal partba olvadásának folyamata figyelhető meg. Erre a folyamatra a délebbre fekvő nagy Duna-kanyarok levágása is alapvető hatással volt.

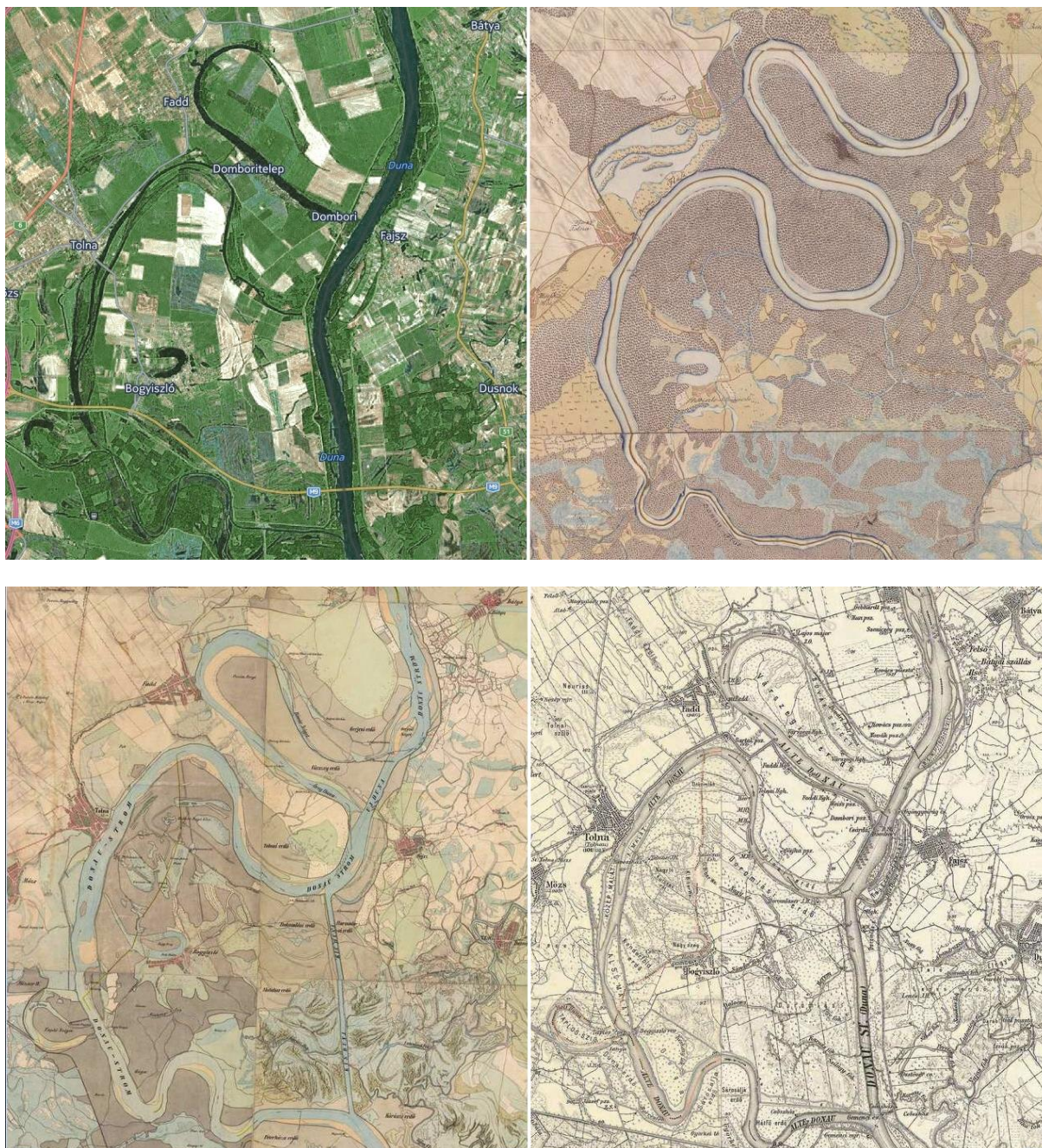
Gerjen – Sió torkolat szakasz (1515-1497 fkm)

A Duna Gerjen és a Sió torkolata közé eső szakaszán (192. ábra) a jobb parti területek a Tolnai–Sárköz a bal partiak a Kalocsai–Sárköz kistáj részei. Az eddig tárgyalt folyószakaszok közül itt történtek a legjelentősebb mederváltozások a vizsgált időszakban. A 19. század közepe óta a folyószabályozási munkálatok okozták a legmarkánsabb változásokat, de az emberi hatásoktól függetlenül korábban is ez volt a legváltozékonyabb szakasz. Itt már finom, homokos üledékekbe mélyül a Duna medre, így az gyorsan tud fejlődni, alakulni a különböző emberi és természeti hatásokra.

Természetes viszonyok esetén a Sárköz területén a Duna kisvíznél alsószakasz jellegűvé válik, a csökkent hordalékszállító képesség változatos formájú lerakódásokat hoz létre, közben a folyó ágakra szakad. Közepes víznél középszakasz jellegű, meanderei a szabályozások előtt bejárták a széles völgyet. Nagyobb árvizeknél a hullámtér csaknem „tengerré” változik és annak minden részén hordalékot rak le [245].

Az első katonai felmérés térképének készítése idején Gerjen és a Gemenci erdő között a Duna három nagy, zátonyokkal tarkított kanyart írt le (192. ábra). E kanyarok a jég képződése és feltorlódása szempontjából különösen veszélyesnek számítottak. Természetes állapotban (azaz a gátak és mederrögzítő szabályozó műtárgyak nélkül) egy-egy ilyen nagy meander a kialakulásától a természetes lefűződéséig kb. 150-180 év volt szükséges. A levágódó meder inentől lassan feltöltődik, a felszín átlagos szintjébe simul, így a nagy vízrajzi változások formakincse sem marad hosszú életű [313].

Az első, nagyobb mederátvágásokat a Dunán Vásárhelyi Pál vezetésével végezték el, amikor a Duna négy túlfejlődött kanyarulatát – az általunk vizsgált területtől délre a Baja és Bába közötti szakaszon – átvágták 1820 és 1821 között. Ennek során kereken 40 km-rel rövidült meg a folyam [10].

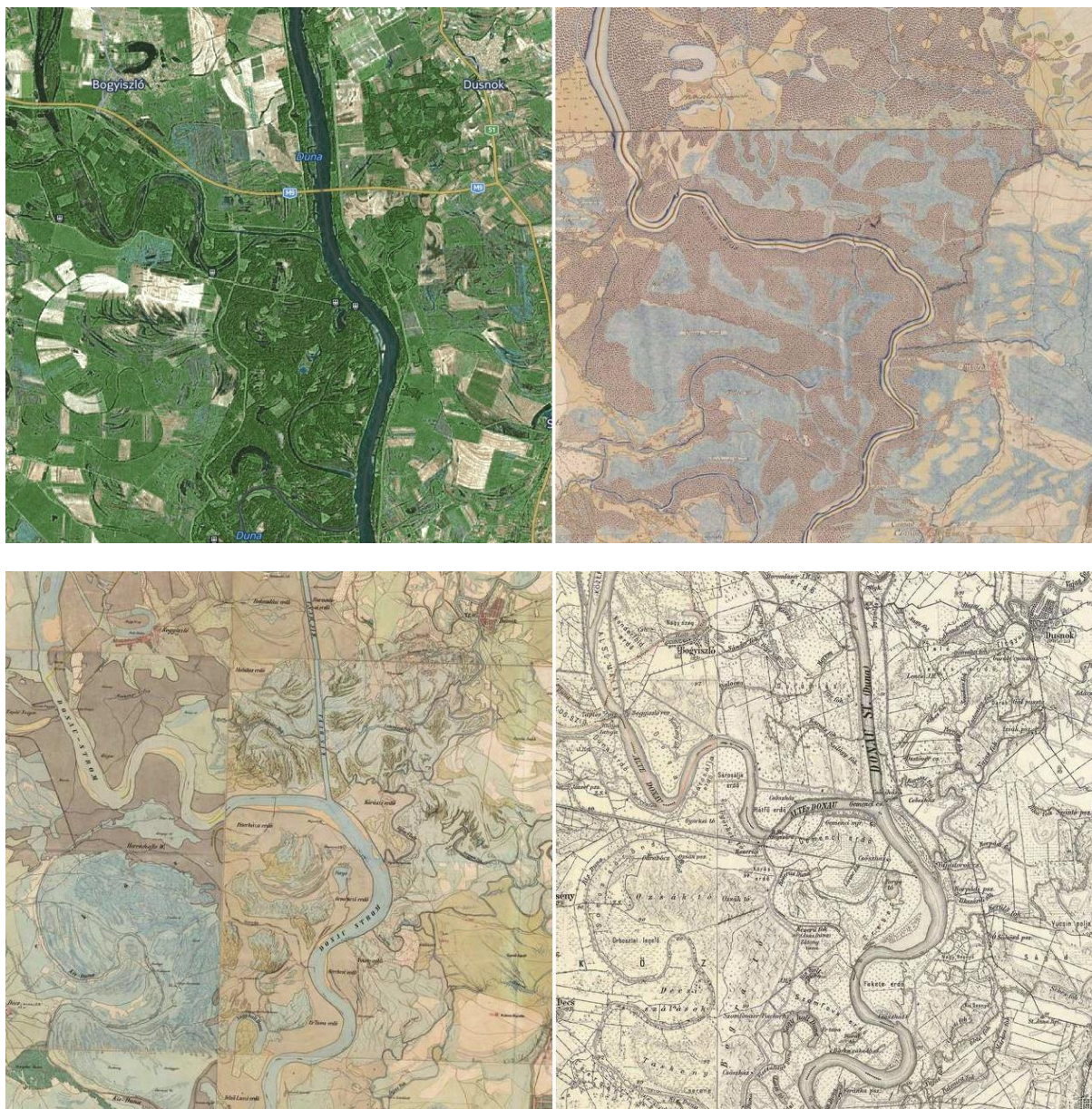


192. ábra A Gerjen – Sió torkolat szakasz (1515-1497 fkm) a Google Earth, az első (1783), a második (1858) és a harmadik katonai (1881) felmérés térképein

A tárgyalt szakasz északi részén lévő Várszegi-kanyart (Faddnál) az 1830-as években Beszédes József tervei szerint vágták át Gerjen és Fajsz között. A második katonai térképen nem csak az átvágás látszik, hanem az is, hogy a kanyar felső része jórészt fel is töltődött már. A Várszegi-átvágás mentén a szabályozási vonalakban nem helyeztek el depóniákat, hogy azokkal a kialakuló partokat biztosítsák. azért a meder túlfelődött, kiszélesedett. A Dunának ezt a szakaszát a Közép-Duna szabályozása keretében kétoldali párhuzamművekkel középvízre szabályozták [359]. A nagy kanyart Fajsz alatt 1843 és 1852 között vágták át. Az áttevődő meder miatt Bogyiszló a Duna bal partjáról a folyó jobb parti területeire került át, a folyó pedig 30 kilométerrel lett rövidebb. Az új 8 km-es átvágásban a meder gyorsan fejlődött és 1856-ig anyamederré fejlődött. 1910-re néhol a 600 méter szélességet is elérte és zátonyok képződése indult meg rajta. Az átvágásból kimosott homok pedig lejjebb lerakódva, a

csatlakozó mederszakaszt feliszapolta. Ezért a Sió-torok (1497,5 fkm) alatt mindkét oldalon párhuzamműveket kellett építeni. A Bogyiszlói-átvágásban később még kiegészítő munkálatokat kellett végezni. Gerjen–Siótorok szakaszon árvízvédelmi töltések szegélyezett, egyenes medret alakítottak ki. A katonai felmérések térképeinek összehasonlítása során látható, hogy az átvágások után az egykori nagy kanyarokon belül is folytatódott a kisebb kanyarulatok fejlődése. A nagy kanyarulatoknál az átvágásoknál később a víz útját töltésekkel végképp lezárták: a faddi ág felső bejáratát 1890 előtt, alsó részét Domborinál 1894-ben, a tolnai ágat pedig 1893-ban zárták le [155], [359].

Sió torkolat – Sükösd szakasz (1497–1493 fkm)



193. ábra Sió torkolat – Sükösd szakasz (1497–1493 fkm) a Google Earth, az első (1783), a második (1858) és a harmadik katonai (1881) felmérés térképein

Sió torkolat – Sükösd szakaszon (193. ábra) hasonlóan az előbb tárgyalt szakaszhoz a bal part a Kalocsai-Sárköz, a jobb parton a Tolsai-Sárköz területéhez tartozik. Területét átszövik a Duna mederei és behálózzák a „fokok”, melyek részben természetes, részben

mesterséges keskeny csatornák. Ezeken keresztül biztosították hajdan a belső területek elárasztását, mely területeke a fokok híján az árvíz óriási rombolással öntene el.

A tárgyalt folyó menti terület a gemenci erdő északi felét foglalja magába, mely híres ártéri erdeiről és gazdag élővilágáról, amely megmaradását annak köszönheti, hogy kimaradt a folyóvízi szabályozásból. Vízügyi munkálatok előtt a Sárköz területét akár évente többször is elöntötte az árvíz. Később a töltések építésével, kanyarulatok átvágásával, az ártéri vizek elvezetésével, csatornák kialakításával és alkalmas helyeken szivattyútelepek felállításával sokkal biztonságosabb és egészségesebb lett a terület.

A Sió-torkolat alatt a folyó hullámterere két-háromszor is szélesebb, mint a felette lévő szakaszok átlagos szélessége. Ilyen helyeken a meder nagyon szétterül, de a felsőbb szakaszokon a folyóhoz közel épült „egyenesebb” árvízvédelmi töltések miatt bevágódik a folyó. Bevágódás miatt csökken a közepes vízszintjük, így a gemenci erdő védett Duna-mellékágai is gyorsabban töltődnek fel, mert a főmeder csak nagyvíz esetén tud biztosítani vizet a viszonylagosan magasabbra kerülő mellékmedrekbe. A meder mélyüléséhez vezethetnek például a Duna felsőbb szakaszán épült vízlépcsők, a folyószabályozási és ipari célú kavics kitermelés, a meder szűkítése és kanyarulatainak átvágása.

A Szekszárdi-dombság és a mai Duna meder közötti teret a Duna elhagyott medreinek sokasága tölti ki. A Duna mielőtt elfoglalta mai futását a süllyedékterület nyugati peremén a Szekszárdi-dombság lábánál folyt. Azután, hogy a Duna medre keletebbre tevődött át a Sió–Sárvíz birtokba vette a Szekszárd és Bata között húzódó sávot. A Sárvíz a Duna medrei által feltöltött területen keleti irányba nem talált utat a Dunába. Árvizek esetén viszont szinte az egész területet elöntötte a víz, sőt a Sió-Kapos, Sárköz völgyébe is messze fölhatolt.

A Duna szabályozásának tervét Halász Gábor készítette el 1852-ben, e munka keretében rendezték, a Sió–Sárvíz medrét is. A folyó vizét egy nyugat-kelet irányú, négy kilométer hosszú, új mederben a bogyiszlói átmetszés holtágának alsó ívén keresztül a Dunába vezették 1854-1855-ben. A Szekszárdi-dombság felől érkező vizeket továbbra is a régi Sió–Sárvíz medre, illetve az abban kialakított Szekszárd–Bátai-főcsatorna vezeti le Dunába Bataig. Az egykori vizes árteret kiszárították.

A tárgyalt folyószakasz és az alatta lévő sárközi szakaszok nagyobb kanyarulatait átvágták, keskenyebb, zátonyképződésre kevésbé hajlamos medret hoztak létre. Az pusztító árvizek gyakorisága számottevően csökkent, de későbbiekben, ha ritkán is, de előfordultak töltésszakadások, jeges árvizek.

Összefoglalás

A geomorfológia kutatások és a folyó mederváltozásait vizsgáló összehasonlító térképészeti vizsgálatok eredményei alapján képet kaphattunk a Duna menti területek késő-pleisztocén és holocén fejlődéstörténetéről. Láthattuk, hogy e viszonylag rövid időszak alatt milyen lényeges változások történtek a Duna medre és tágabb környezetének viszonyaiban. Számos példát láttunk, ahogy a tektonikai jelenségek, a szerkezeti vonalak, a süllyedő és emelkedő területek alapvetően meghatározták a meder és környezetének alakulását és jellemző viszonyait. A geomorfológia formák és a lerakódott üledékek sok információt őriznek meg a képződésük környezeti viszonyaira és az őket ért hatásokra nézve.

A katonai felmérésének összehasonlító vizsgálata alkalmas módszernek bizonyult a recens változások követésére mert az első térképek kielégítő pontossággal ábrázolják a

vízszabályozási munkák előtti állapotokat. A későbbi felvételezéseken pedig az emberi beavatkozásokat és azok folyóvízi hatásait ismerhettük meg. Az elmúlt évszázadokban főként a mérnöki beavatkozások határozták meg a meder és tájfejlődés irányát. Néhány példa mutatja hogy egy rosszul megválasztott műtárgy – emberi léptékkal mérve is rövid idő alatt – nem kívánt következményekkel (partfalmozgás, parterózióhoz, meder bevágódás vagy feltöltődés) járhat. Helyes alkalmazásuknál körültekintően és különböző érdekeket szem előtt tartva kell megválasztani.

Vannak azonban olyan természetes mederformáló folyamatok, amik az erőteljes emberi hatások árnyékában nehezen ismerhetők fel, vizsgálatukhoz egy hosszabb és emberi hatásoktól kevésbé meghatározott időszakot érdemes vizsgálni. Erre lehet jó módszer a folyó menti régészeti leletek geomorfológia elemzése, a feltárások környezeti rekonstrukciója. Az ilyen irányú előzetes kutatások meglepő eredményekkel szolgálnak, hogy a jelenlegi vizsgálatok idejét pár száz – pár ezer évvel „kitolja”. Az így kapott eredmények hasznosak lehetnek a folyó menti települések, infrastrukturális elemek és a kis és nagyberuházások biztonságára nézve is.

Paleogeomorfológiai értékelés

A fúrási rétegsorok korábban elkészült dokumentációjának, a nem telephelyi (elsődlegesen a PAET09 és PAET12) fúrómagokon végzett újabb vizsgálatoknak, a fúrólukokban végzett karotázs vizsgálatok eredményeinek (kiemelten a mágneses szuszceptibilitás) felhasználásával a fúrások közötti terület mélységi horizontjainak korrelációja volt a cél, azokban az esetekben, ahol az adatok megbízhatósága és sűrűség ezt lehetővé teszi. A munka során a már ismert paleotalaj szinteknek, mint ebben az esetben egyedül alkalmazható pleisztocén vezetősínteknek a szelvényekben történő azonosítására törekedtünk.

Az elvégzett munkák során alkalmazott módszereket a zárójelentés 2.1.2.4 Paleogeomorfológia fejezet foglalja össze. A következőkben az eredmények bemutatása következik.

A lumineszcens kormeghatározás eredményei a PAET-09, -12 és -03 fúrásokból

A mért ekvivalens dózisekből és a becsült dózisiráta értékekből megkapjuk a minták közelítő korát (81. táblázat). A kifakulás korrigálására nincs szükség. A kor a tényleges dózisiráta meghatározásakor természetesen kis mértékben változhat, de ezek a közelítő korok arra tökéletesen megfelelnek, hogy a mintákat a helyes mélytengeri oxigénizotóp stádiumba (MIS = Marine Isotope Stage) soroljuk, ezáltal a löszszelvényekben található paleotalajokat beazonosíthatjuk (pl.: MF 1-2, BD, BA, vagy ennél idősebb)

81. táblázat Becsült dózisiráták, Post-IR IRSL-290 ekvivalens dóziszok és a becsült korok.

Első oszlopban a fúrás jele és a fúrási mélység szerepel

Minta	Ekvivalens dózis (Gy)	Dózisiráta (Gy/ka)	Post-IR IRSL age (ka)
Paet-3 3.5	66	3.00	22
Paet-3 11.5	62	3.00	21
Paet-3 24.1	206	3.00	69
Paet-3 27.5	232	3.00	77
Paet-9 9.2	117	3.50	33
Paet-9 14.7	276	3.50	79
Paet-9 17.2	478	3.50	136
Paet-9 30.4	714	3.50	204
Paet-9 39.6	> 1000	3.50	>290
Paet-9 43.8	> 1000	3.50	>290
Paet-12 1.7	63	3.35	19
Paet-12 11.4	99	3.35	29
Paet-12 17.3	519	3.35	155
Paet-12 20.7	594	3.35	177
Paet-12 25.6	> 1000	3.35	>300

Paleotalaj vékonycsiszolatok mikromorfológiai vizsgálata

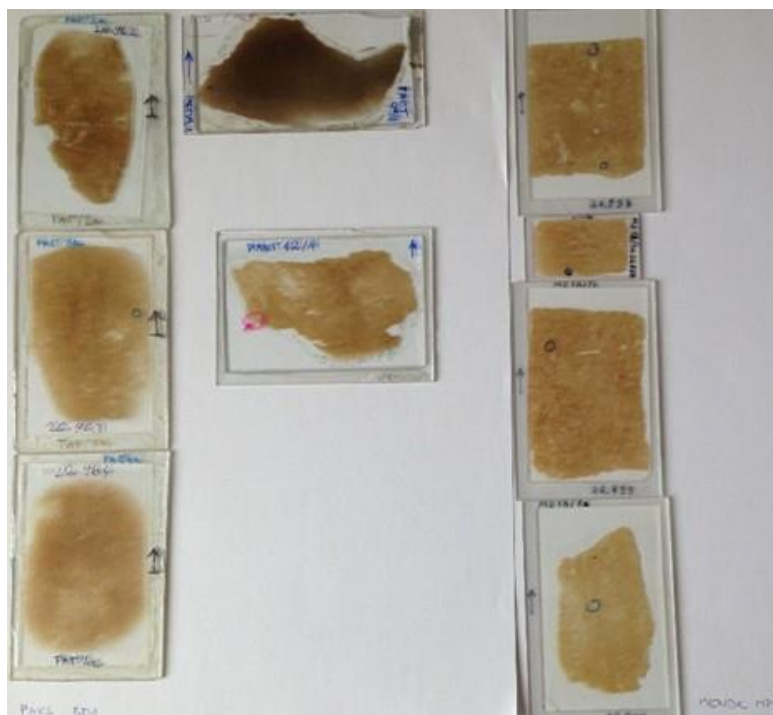
A fúrasi rétegsorok talajainak pontosabb azonosítása és a paksi téglagyári feltárásból származó paleotalaj-vékonycsiszolatokkal való összevetés céljából a PAET-09 és a PAET-12 fúrómagokból összesen 20 (14 + 6) orientált mintát vettünk. Makroszkópos leírás után a mikroszkópos csiszolatleírások történtek meg.

A PAET-09 fúrásból a PAET-09/1 (11,75 - 11,80 m), a PAET-09/2-1 és PAET-09/2-2 (mindkettő azonos mélységből: 14,00 - 14,10 cm) vékonycsiszolatokat a feltételezhető párhuzamosság miatt a PAET-12/1-ből (22,75 - 22,80 m) készült csiszolattal, továbbá a paksi téglagyári feltárást BD1 (PA52a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7, 8) és BD2 (PA4/0, 1a, 2, 3 4a) és a mendei MF1 (MD1A/3a, 4a, 5b, 8a) és MF2 (MD1B/2a, 4a, 6a, 7a, 8) paleotalajaiból származó mintákkal hasonlítottuk össze (82. táblázat és 194. ábra).

82. táblázat Paleotalaj-vékonycsiszolatok összehasonlítása a paksi és mendei téglagyári minták, valamint a PAET-09 és PAET-12 fúrómagok között

Paks téglagyári feltárást		Mende téglagyári feltárást		PAET-09	PAET-12
paleotalajok besorolása	vékonycsiszolatok azonosítója	paleotalajok besorolása	vékonycsiszolatok azonosítója		
BD1 paleotalaj	PA5/2a	MF1 paleotalaj	MD1A/3a	PAET-09/1	PAET-12/1
	PA5/3a		MD1A/4a		
	PA5/4a		MD1A/5a		
	PA5/5a		MD1A/8a		
	PA5/6a		PAET-09/2-1 PAET-09/2-2		
	PA5/7				
	PA5/8				
BD2 paleotalaj	PA4/0	MF2 paleotalaj	MD1B/2a		
	PA4/1a		MD1B/4a		
	PA4/2		MD1B/6a		

Paks téglagyári feltárás		Mende téglagyári feltárás		PAET-09	PAET-12
paleotalajok besorolása	vékonycsiszolatok azonosítója	paleotalajok besorolása	vékonycsiszolatok azonosítója		
	PA4/3		MD1B/7a		
	PA4/4a		MD1B/8		
BA paleotalaj				PAET-09/3	PAET-12/2-1 PAET-12/2-2



194. ábra Paleotalaj-vékonycsiszolatok összehasonlítása a paksi és a mendei téglagyári minták, valamint a PAET-09 és PAET-12 fúrómagok között – fotódokumentáció részlet

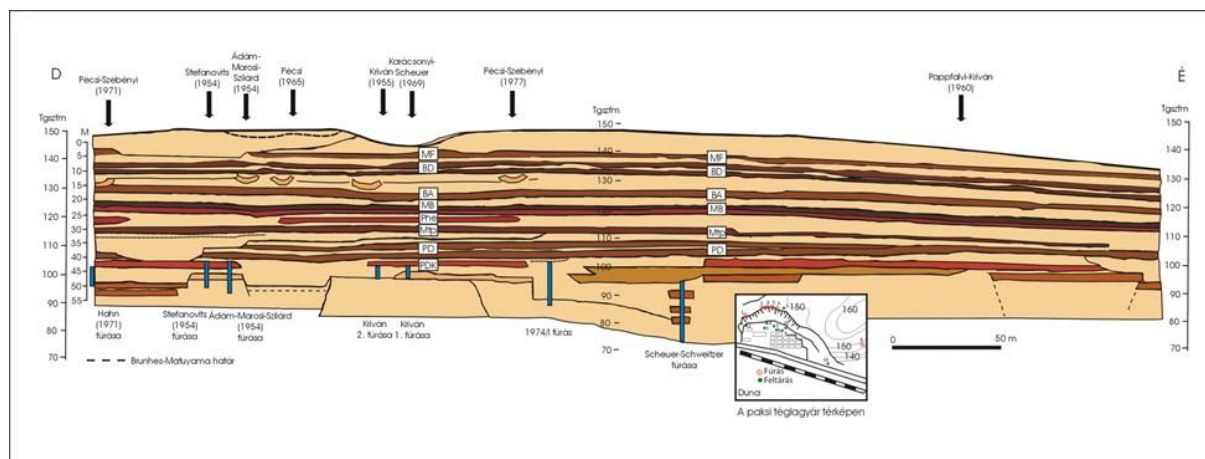
Az előzetes feltételezéseink szerint azonos rétegtani helyzetű két paleotalajt, a PAET-09/3 (41,90 - 42,00 m) és a PAET-12/2-1 és PAET-12/2-2 (azonos mélységből: 29,50 - 29,60 m) más vékonycsiszolatok hiányában egymással hasonlítottuk össze (82. táblázat). A csiszolatok kiválasztásánál a korábban a leírások alapján még egymásnak megfeleltethetőnek feltételezett szintek összehasonlíthatósága volt a cél, azonban a lumineszcens koradatok egy más interpretáció felállítását tették szükségessé, így az elkészült vékonycsiszolatok már nem tudták betölteni az eredeti céljukat. A makroszkópos hasonlóságokat azonban a mikroszkópos vizsgálatok nem igazolták, egyértelmű párhuzamosítást a talajok alapján nem lehet adni, de kiegészítő információkkal szolgáltak.

A paksi téglagyári alapszelvény (2009) összehasonlítása a PAET-09 és a PAET-12 fúrások rétegsorával

A paksi téglagyár szelvény ismertetése

A Paks északi határában található téglagyári fejtés a mai napig a legteljesebb feltárását adja a magyarországi lösz-paleotalaj sorozatoknak. Ezért és a területen belül, a fúrásokhoz való közelsége miatt is kézenfekvő, hogy a fúrási rétegsorokat ezzel a feltárással vessük össze. Számos korábbi munka és interpretációt figyelembe véve az összehasonlítás céljára a munkacsoportunk által 2009-ben, több szelvényben felvett, de egymáshoz pontosan illesztett

szelvények leírását használjuk. Ezt indokolja továbbá, hogy így ezen leírások során vett lumineszcens minták koradatait fel tudjuk használni a párhuzamosításokban [339].



195. ábra A paksi téglagyári alapszelvény litosztratigráfiai bemutatása a korábbi feltárások és fúrési helyek feltüntetésével [269]

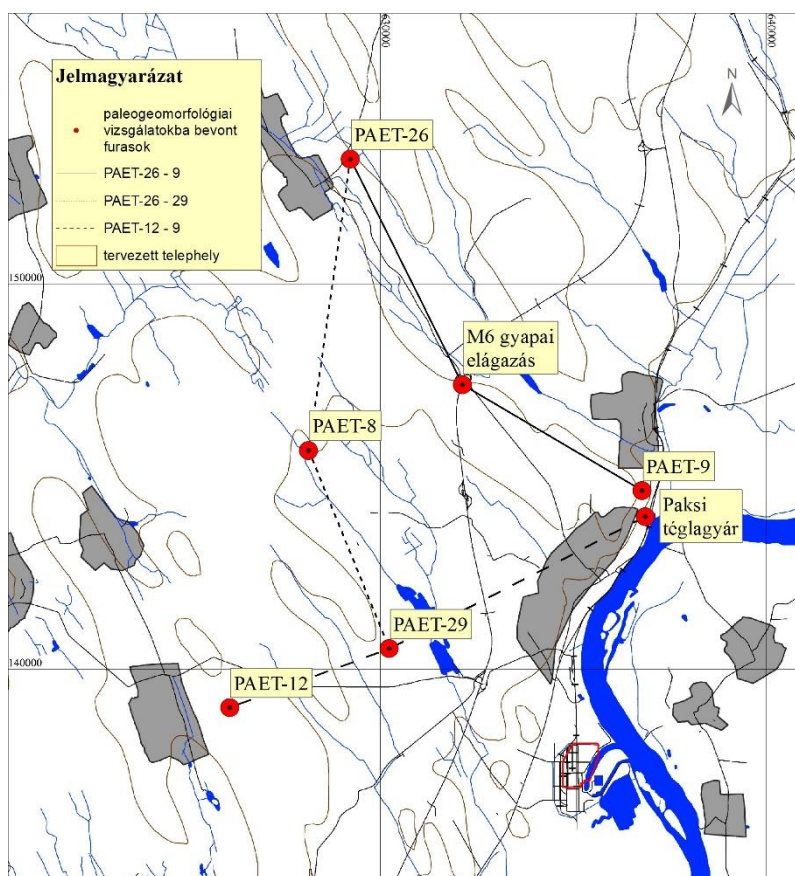
A paksi téglagyárban az összes magyarországi feltárásban leírt paleotalaj megtalálható (195. ábra és 198. ábra). A leírásoknál Pécsi [270] által kifejlesztett és a hazai löszkutatásban általánosan használt nevezéktant használjuk a könnyebb követhetőség és a korábbi publikációkkal való összevethetőség érdekében. Ezeket a fosszilis talajokat több szerző többféleképpen osztályozta [140], bár a klasszikus értelemben vett talajosztályozás ezeknél a talajoknál az utólagos elváltozások miatt nehézségekbe ütközik. Jelen munkánkban a Paks környéki paleotalajok esetében, azok jellegzetességei alapján az alábbi leírást tartjuk alkalmazhatónak:

- a Mende Felső paleotalajkomplexum (MF1-2) felső tagja (MF1) gyengébben fejlett, általában sok faszenet tartalmazó erdőssztyep típusú talaj, az alsó része (MF2) fejlettebb barna erdőtalaj jellegű talaj. Képződésük az újabb koradatok szerint egyértelműen a MIS6 után történt
- a szintén kettős osztatú Basaharc Dupla (BD1-2) paleotalajkomplexum mindkét tagja erdőssztyep típusú, az alsó (BD1) itt is gyengébben, a felső (BD2) erősebben fejlett, helyenként kettős osztatú, egy vékony löszös szint közbetelepülése következtében. Kifejlődési jellegzetességeik az MS görbéken is jól tükröződnek, párhuzamosításuk a mélytengeri oxigénizotópos görbe 7. stádiumával (MIS7) egyértelmű
- a Basaharc Alsó paleotalajt általában erdőssztyep típusúnak sorolják be, de Pakson és Basaharcon erősen fejlett, barna erdőtalaj bélyegeit mutató talaj
- a BA és MB talajok közötti löszben települ a Bagi Tefra, ami egy, a löszképződéssel egyidejű vulkáni működés terméke, a Kárpát-medencei löszök jellegzetes marker szintje, aminek a kora 350 ezer év körülire tehető
- az összlet alsó talajkomplexuma a **Mende Bázis** (MB1-2), aminek a felső tagja (MB1) kis vastagságú, mezőségi típusú talaj, alsó része (MB2) vörösbarna színű, egyértelműen barna erdőtalaj típusú talaj. A fekjét alkotó homokos löszben jellemzően megjelenik a fagylemezes szerkezet
- **Phe** paleotalaj, barna erdőtalaj jellegű, általában gyengébben fejlett
- a következő paleotalaj az **Mtp** jelölést kapta, hidromorf hatású, erősen agyagos, feltételezhetően alluviális eredetű talaj. A feké és a fedő képződményekre jellemzőek a hidromorf jelenségek, Fe- és Mn-kiválások

- a **Paks Dupla** paleotalajkomplexum (PD1-2) jól fejlett, vörösbarna, vörös színű, mediterrán típusú talajokból áll, amelyeket jelentős mészfelhalmozódásokat, főként nagy méretű (5-10 cm átmérőjű) löszbabákat tartalmazó lösz választ el egymástól. A komplexum felső tagja (PD1) kisebb vastagságú, az alsó (PD2) vastagabb. A löszösszlet bázisán található a **Paks-dunakömlői** talaj (PDK) szintén vörösbarna színű, az előzőekhez hasonlóan mediterrán típusú talaj

A PAET-09 és PAET-12 fúrások ismertetése

A fúrások közül a PAET-09 a téglagyártól mindössze 670 m-re É-ÉNy-ra mélyült egy nagyjából sík, jelenleg kiemelt helyzetben lévő felszínen. Morfológiailag védettebb helyzetű, mint a téglagyár, amely közelebb található a löszfal jelenlegi pereméhez (196. ábra). A PAET-12 fúrás közelítőleg 6 km-re DNy-ra található a téglagyári feltárástól, egy löszplató belső részén. Az összehasonlítás céljára azért választották ki, mert a viszonylagos közelsége és a rétegsor esélyt adott arra, hogy érdemi összehasonlítást lehessen elvégezni.



196. ábra A paleogeomorfológiai vizsgálatba bevont fúrások és feltárások elhelyezkedése, valamint a felvett szelvények lefutása

Az összehasonlításhoz a fúrásoknak és a paksi szelvénynek az alkalmazott protokoll szerinti leírását, a lumineszcens kormeghatározási eredményeket (OSL), valamint a Geo-Log Környezetvédelmi és Geofizikai Kft. által készített mélyfúrás-geofizika adatai közül a mágneses szuszceptibilitás görbéket és az ellenállás adatokat vették figyelembe.

Az OSL módszer alapján mindhárom szelvény felső részében, változó vastagságban 30 ezer évnél fiatalabb korok adódtak. A téglagyári feltárásszelvényében (a továbbiakban: TFSZ) ez a felszín alatt 5 m mélységben, a PAET-09-ben 9,1 méteren, a PAET-12-ben

10 méteren húzódott (198. ábra). Mindhárom helyen jellemző a homokos lösz, löszös homok összetétel, melyet magas karbonát-tartalom és sok másodlagos karbonát kísér (felület alatti bevonatok, felületi bevonatok és különböző méretű konkréciók), valamint több szintből is jelentős mennyiségű csigahéjtöredék kerül elő.

A fúrásokban a 30 ezer (ka) éves szint alatt a Mende Felső1 paleotalaj (MF1) található, ami hiányzik a téglagyári feltárás általunk vizsgált rétegsorából az OSL korok egyértelmű jelzése alapján (198. ábra). A PAET-09-ben a 11,7-12,2 m között települő MF1 sötétbarna, erősebben fejlett talaj, szemben a PAET-12 13,1-14,0 m közötti világosabb barna, gyengébben fejlett talajával. Azonban az alattuk megtalálható MF2 paleotalaj alatti lösz kora (~140 ka) egyértelműen jelzi, hogy a dupla talajok alsó tagja a 6. mélytengeri oxigénizotóp stádiumban (MIS6) képződött löszön alakult ki. A TFSZ-ben ezzel szemben már 7 méterre a felszín alatt 199 ka kort mértek, és a közvetlenül a paleotalaj fölött települő löszből pedig már 259 ka-t, ami egyértelműen jelzi, hogy a PAET-09 legfelső talajához színben ugyan hasonló talaj (15,7-16,9 m) lényegesen korábban, a MIS7 során képződött. A két fúrás között az alsó, az MF2-nek definiált talaj esetében kifejlődésben nagy különbség van, a PAET-12-ben (14,0-14,7 m) mindössze 70 cm-t definiáltunk talajnak, az MS- és az ellenállás görbéken is kisebb kilengés figyelhető meg. A talajok alatti átmeneti, bioturbált szintben az állatjáratok mérete is eltérő, a PAET-09-ben akár 10 cm átmérőjük is megfigyelhetők, a PAET-12-re egyébként jellemző mm-es átmérőjük mellett. A különbség magyarázata lehet az egykori eltérő geomorfológiai pozíció. A PAET-12 a lejtőn kifejlődött talajok jegyeit mutatja.

A lefelé következő paleotalaj-komplexumot, a Basaharc Duplát (BD1-2) az OSL korok alapján egyértelműen lehet párhuzamosítani mindhárom szelvényben, ugyanakkor kifejlődésük különböző. A PAET-12 (22,5-24,4 m) MS-görbéje mutatja a MIS7 jellegzetes lefutását, valamint nagymértékű hasonlóságot a TFSZ-ben mért értékekkel (196. ábra).

A Basaharc Alsó paleotalaj (BA) mindhárom szelvényben kiugró MS csúccsal és csökkent ellenállás értékkel rendelkezik, bár a vastagságuk kissé eltérő. A legvékonyabb (1,5 m) kifejlődés a PAET09-ben adódik (41,9-42,85 m), ugyanakkor itt is karakteresen jelenik meg (lefelé világosodó vörösbarna szín, erőteljes karbonát felhalmozódással alatta). A PAET-12-ben (28,8-31,1 m) a TFSZ-hez hasonlóan kettős osztatúnak mutatkozik a leírások és az MS görbe alapján is, a vörösbarna, majd világosabb vörösbarna szint alatt egy vörösbarna szint mutatkozik.

A PAET-09-ben a helyes sztratigráfiai besorolást igazolhatja a 44,45-44,5 m között leírt narancssárga színű, foltokban megjelenő anyag, ami egyértelműen nem Fe-kiválás. A paksi téglagyári feltárásban a déli falból több szerző is [140] leírt egy vulkáni közbetelepülést, amelyet a 350ka Bagi Tefra szinttel azonosítottak. A begyűjtött anyag vizsgálata folyamatban van, de korábbi tapasztalataink alapján feltételezzük, hogy a Bagi Tefrát sikerült azonosítanunk a fúrásban.

A Mende Bázis (MB) paleotalajok (a PAET-09-ben 49,0-50,0 m között, a PAET-12-ben 33,0-34,0 m között) jól felismerhetők vörösbarna színükkel, erőteljes kifejlődésükkel, és az alattuk települő, sárgásbarna, Fe- és Mn-kiválásokat tartalmazó finomhomokos lösz, löszös homokban megjelenő és a másodlagos karbonát-kiválásokkal kihangsúlyozott fagylemezesség alapján.

A Paksi-összlet felső részének [270] fentről számított első fosszilis talaja, a Phe, a PAET-12-ben (35,4-36,6 m) és a TFSZ-ben azonos módon jelenik meg: homokon kifejlődött barna, vörösbarna színben, számottevő CaCO_3 kiválással, a PAET-09-ben (53,0-54,0 m)

azonban sokkal kevésbé karakteres MS csúcs jellemzi, és a színe is világosabb és barnás árnyalatú.

Az Mtp elnevezésű paleotalajok a TFSZ-ben és a PAET-09-ben (60,4-61,5 m) hasonló kifejlődésűek, szürkésbarna színűek, nem rendelkeznek kiemelkedő MS csúccsal, ugyanakkor az alattuk települő üledékben megtalálható jelentős karbonát-felhalmozódások egyértelművé teszik az azonosítást. Ezek közül a mélyebben található karbonát akkumulációs szint a paksi téglagyári feltárásban több mint 30 cm vastagságú és szinte mészkőpadszerű megjelentésű a nagyméretű impregnációk (löszbabák) összenövésének köszönhetően. Ez valószínűleg megfeleltethető a PAET-09 63,9-64,2 m közötti, sok nagyméretű konkréciót tartalmazó szintjének. További jellegzetesség, hogy a szelvényeknek ebben a részében jelentősek a hidromorf jelenségek, a redukcióra utaló jelek, az üledék agyagos volta, szürke, szürkés sárga színe, valamint a Fe- és Mn-felhalmozódások. A PAET-12-ben az Mtp talaj valószínűleg hiányzik, és a redox jelenségek közül is csak a Mn jelenik meg, amelynek a kiválása nem igényel hosszantartó vízhatást.

A jól fejlett, jellegzetes vörös színű paleotalajok a paksi téglagyár jelenlegi talpszintjében tanulmányozhatóak. A felső, Paks Dupla1 (PD1) fosszilis talaj a PAET-09-ben (73,0-75,6 m) négyszer, a PAET-12-ben (40,5-42,0 m) háromszor olyan vastag, mint a TFSZ-ben (0,5 m). A PD1 és a PD2 talajok közti átmeneti, erősen meszes szint (másodlagos karbonátok, konkréciók) vastagsága is eltérő, a feltárásban a legkisebb (1,1 m), aminek körülbelül a duplája mindkét fúrásban.

A PD2 paleotalajok a PAET-09-ben (77,25-78,6 m) és a PAET-12-ben (44,4-45,7 m) színűek és az MS görbék alapján is kettős osztatúak, a vörösbarna szinteket egy hozzávetőlegesen 0,4 m szürkés árnyalatú, meszes szint választja el. Az erősebben fejlett felső szint vastagsága 1,4 m (PAET-09) és 1,3 m (PAET-12), az alsó az előbbinél világosabb vörösbarna szint gyengébben fejlett, vastagsága 0,6 m (PAET-09), illetve 0,4 m (PAET-12). A feltárásban csak a PD2 felső 1 métere volt hozzáférhető, így a kettős osztatúság nem volt felismerhető.

A PAET-09-ben 80,6-83,0 m között, a PAET12-ben pedig 46,9-47,4 m között egy durvább szemcseméretű (finomhomok) alapanyagon kialakult, vörösbarna talaj volt felismerhető, ami megfeleltethető a paksi szelvényből Pécsi [268] által leírt Paks-Dunakömlőd (PDK) paleotalajnak.

További lehetséges feltárások vizsgálata

A terület jobb megismerése és a PAET-09 és PAET-12 eredményeinek kiterjesztése, a paleodomborzat felismerése céljából további szelvényeket, fúrásokat és felszíni feltárásokat kellett bevonni a vizsgálatba (196. ábra).

Helyzete alapján a PAET-29P fúrás került szóba. A vizsgálatok alapján itt a felső talajnak sem lehetett analógiáit találni és a további rétegsor alapján, továbbá mivel a fúrásból abszolút kor nem állt rendelkezésre, így itt nem követhető a PAET-12-ben és a TFSZ-ben megismert rétegsor.

A PAET-26 fúrás a PAET-09-től 11 km-re ÉNy-i irányban, egy völgyközi hát lealacsonyodó részén mélyült. A felső szakaszon jelentkező maghiány megnehezítette az interpretációt, amit a karotázis mérésekből származó MS görbe értékelése sem tudott tisztázni.

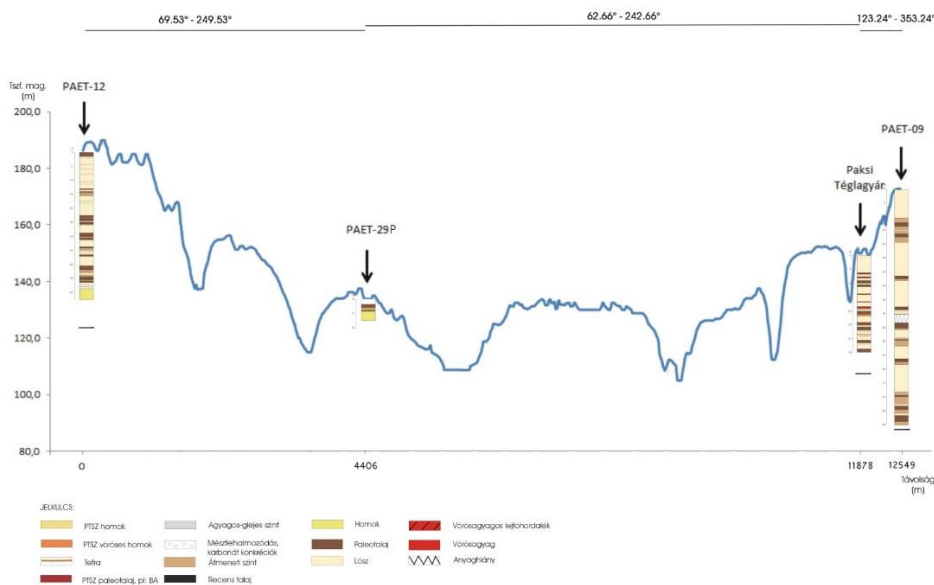
A PAET-08 fúrás rétegsora sem lösz, sem paleotalajt nem tartalmazott, így a korrelálásra egyértelműen alkalmatlan volt.

A PAET-09 fúrástól 5,5 km távolságra ÉNY-ra található az M6 Gyapa-Cecei úti elágazásának építése során feltárt fal, melyet Magyarai Á. [203] dolgozott fel. A szelvény felső 7 métere tartalmaz csak pleisztocén képződményeket. A felszín közelében lévő homok az OSL kormeghatározások alapján egészen fiatal, a mélyebben fekvő képződményeket pedig az Idős Löszsorozat, Felső Összletébe sorolták, de ezek abszolút kora nem ismert, így a korreláció során ezeket nem lehetett alkalmazni.

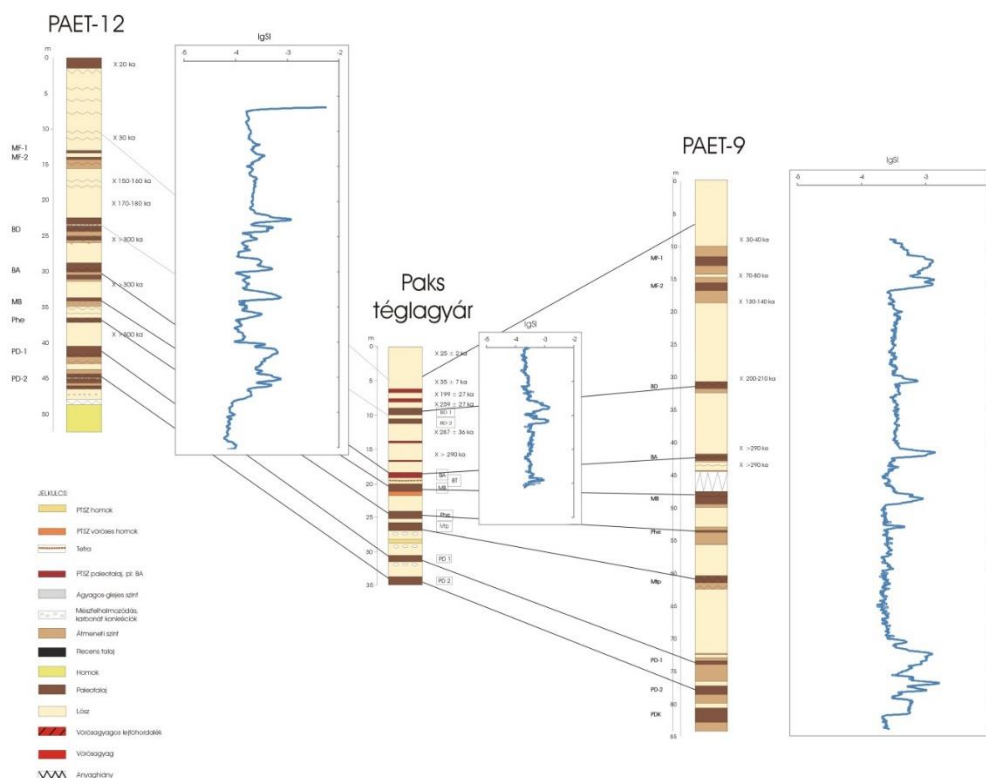
A PAET-3 fúrás vizsgálatára került még sor, amely a talajok tulajdonságai alapján eltér PAET-09, PAET-12 és TFSZ rétegsoroktól. Az OSL adatok alapján (81. táblázat) azonban a felső 20 méter a pleisztocén legvégén képződött, a szelvénybeli talajok pedig – a Paks környékiektől eltérő kifejlődésben, de a Mende Felső paleotalajokkal korrelálhatók. A paksi területtől való nagy távolság miatt azonban a paleodomborzati értelmezésbe ezt a fúrásszelvényt nem lehetett bevonni.

Az eredmények paleogeomorfológiai értelmezése

A paleogeomorfológiai rekonstrukció céljából készített fúrásleírások és a hozzáférhető dokumentációk alapján az egykori domborzatra vonatkozó információkat csupán 2 fúrásszelvény (PAET-09 és PAET-12) és a paksi téglagyári feltárás szelvénye alapján lehetséges kinyerni (198. ábra).



197. ábra Paleogeomorfológiai helyzet a PAET-12 és PAET-09 fúrások közti keresztshelvényen, a vizsgált rétegsorok elhelyezkedésével.



198. ábra A vizsgált szelvények párhuzamosítása a tengerszintfeletti magasságok és a litosztratigráfiai egységek alapján, a geokronológiai adatok tükrében

Az összehasonlítást a DTM alapján készített keresztshelvényre (197. ábra) és a leegyszerűsített, csak a használható szelvényeket a tengerszintfeletti magasságokhoz igazított ábra (198. ábra) alapján végezték el.

A 197. ábra mutatja, hogy mindhárom vizsgált szelvény jelenleg plató helyzetben található, a PAET-09 a plató belsőbb, geomorfológiai értelemben védettebb részén, a PAET-12 és a téglagyári feltárás a plató peremén.

A legbiztosabb és a leginkább egyértelmű a kapcsolata a téglagyári szelvénnel a kis távolság miatt is a PAET-09 fúrásnak van. A fúrás általunk vizsgált 85 m vastag rétegsora a TFSZ 35 méteres szelvényének minden paleotalaját és vélhetően a Bagi Tefra réteget is tartalmazza, és megtalálható benne a TFSZ-ből hiányzó MF1-2 paleotalaj is. A két szelvényben a BA paleotalaj van hasonló tengerszintfeletti magasságban. A PAET-09 Phe fosszilis talaj alatti képződmények mélyebb morfológiai helyzetben képződtek, mint az azonos korú TFSZ-beliek. Ezt igazolja a képződmények – beleértve a paleotalajok - nagyobb vastagsága és kifejlődése is, valamint jelenlegi tengerszint feletti magasságuk. Feltűnő ugyanakkor az, hogy a MB fölötti szelvény részben, azaz az ún. fiatal löszökben is megfigyelhető ugyanez a tendencia. A BD talaj gyengébben fejlett, mint a TFSZ-ben, de ugyanakkor megtalálhatók az MF1 és MF2 talajok. A legfelső, többnyire homokos lösz vastagsága is a duplája a téglagyári szelvényben láthatónak (198. ábra). A jelenlegi geomorfológiai helyzettel nehezen magyarázhatók ezek az eltérések.

A PAET-12 fúrásnak a BD talajokkal kezdődő (22,5-48 m) 25 méter vastagságú rétegsorával a TFSZ ugyancsak BD talajjal kezdődő 26 méteres (9-35 m) összelete jól korrelálható. A paleotalajok közti távolság egy kivétellel azonosnak tekinthető, a talajok kifejlődésében vannak különbségek, illetve a PAET-12-ben az Mtp talaj nem volt

azonosítható. Ez a nagyfokú hasonlóság geomorfológiai értelemben azonos körülményeket feltételez. A PAET-12 legfelső 25 métere azonban a PAET-09 legfelső 32 méterével mutat hasonlóságot. Gyengébb kifejlődésben, de megtalálható benne az MF1-2 paleotalaj. A 30 ezer évnél fiatalabb képződmények csaknem azonos vastagságúak (12 illetve 10 m).

Felmerül a kérdés, mi az oka annak, hogy az alacsonyabb tengerszintfeletti magasságban található szelvényből csak kb. 3 m vastagságú a MIS6 üledéke, szemben a PAET-09 12 méteres, a PAET-12 7 méteres vastagságával. Miért hiányoznak az MF talajok, és miért itt legkisebb a > 30 ka képződmények vastagsága?

Feltételezhető, hogy a PAET-12 és a TFSZ hasonló geomorfológiai helyzetben fejlődtek legalább az MF paleotalajok képződéséig, vagyis a MIS6 végéig, hozzávetőlegesen 130-150 ezer évvel ezelőttig. A PAET-09 alsó részében mutatkozó nagyobb rétegvastagságokat a mélyebb geomorfológiai helyzet indokolhatta, ami a mélyedés feltöltődésével vélhetően fokozatosan szűnt meg. A felszín kiegyenlítődése a PAET-09 és a TFSZ között a BA talajképződés idejére, a MIS 9-re, 340-280 ka ezelőttre történt meg. A „feltöltődés” oka a nagymértékű üledékfelhalmozódás lehetett, eolikus úton (lőszképződés), lejtőleöblítéssel vagy lejtős tömegmozgásokkal, vagy akár ezek kombinációjával. A mélyebb térszín már a pleisztocén előtt is létezhetett, amit a fúrásleírások alapján meghatározott pleisztocén-pannon határ is jelez (197. ábra).

A paksi szelvény felső részének hiányosságait azonban ez nem magyarázza. Itt vagy az üledékképződés hiányával kell számolni, ami a kis távolság és a korábbi egyezés miatt nem valószínűsíthető, vagy egy később lezajlott jelentős erózióval, ami elmozdította a MIS6 képződmények egy részét, valamint a MIS5 – MIS3 képződményeket. A felerősödött erózió vagy derázió okának mindenképpen egészen lokális okot kell keresni, hiszen egyébként a fúrások rétegsorát is érintette volna. Magyarozatként a téglagyári szelvény jelenlegi platóperemi pozíciójából adódó nagyobb erózióra való hajlamot és az eróziót (elsősorban lejtős tömegmozgások, ezen belül is csuszamlás) kiváltó tényező fellépését, az előtér kimélyülését tartják elképzelhetőnek. A kimélyülés oka lehet egy a MIS6 után, 130 ka és 30 ka között bekövetkezett erőteljesebb süllyedés a platótól K-re, vagy a Duna megjelenése.

A Duna más szakaszain végzett meghatározások alapján azt feltételezik, hogy a Duna a jelenlegi helyét Paks magasságában csak a pleisztocén legvégén (< 15 ka) foglalta el, így az időszakosan felerősödött tektonikus mozgás vagy mozgások feltételezése tűnik a legkézenfekvőbbnek. Ezen az időintervallumon belül is legvalószínűbbnek tűnik egy 35-40 ka ezelőtti esemény, mivel a korábbi jelentős lepusztulás után folytatódhatott volna itt is a jelenlegi feltárás környezetében folyamatosan zajló lőszképződés. Ez a feltételezés nem zárja ki a korábbi jelentős eróziós/deráziós események előfordulását sem, azonban ennek nyomait, és az erózió/derázió bekövetkezése utáni üledék- és talajképződés nyomait mindenképpen az említett időintervallumban (35-40 ka) lezajlott esemény tüntethette el. A geofizikai vizsgálatok [93] szerint Paksnál a lőszplató jelenlegi peremétől K-re húzódik egy olyan vetővonal, amelynek a felerősödött aktivitása felelős lehet lőszplató peremén bekövetkezett lepusztulásért.

Összefoglaló megállapítások és következtetések

A részletesen vizsgált fűrőmagok önmagukban és a fúrás geofizikai méréseivel (MS, ellenállás) csak kormeghatározási eredményekkel kiegészítve voltak alkalmasak a biztos korrelációra.

A paksi téglagyári alapszelvény (2009), és a PAET-09 fúrasi rétegsor összehasonlításából feltételezhető, hogy a különbség, a MIS6 utáni (< 130 ka), legvalószínűbben 35 – 40 ezer év körüli felerősödött erózióknak és/vagy deráziónak köszönhető.

A 35-40 ka környékén bekövetkezett lepusztulás oka lehet, a löszplató peremétől K-re történt tektonikus elmozdulás, mely magyarázható egy hosszabb ÉK-DNy-i csapásirányú vető, és/vagy ahhoz kapcsolódóan egy rövidebb közel É-D csapásirányú vető [93] megújult aktivitásával.

A vizek klorid tartalmának változása a jelenkori földrengések vizsgálata szempontjából

Az elvégzett munkák során alkalmazott módszereket a zárójelentés 2.1.2.4fejezetének Paleogeomorfológia része foglalja össze. A következőkben az FKP által előírt (FKP 5.2.9 fejezet) kívánalmak szerint végzett vizsgálatok eredményeinek bemutatása következik.

A földrengések és a klorid-koncentráció adatbázisaiból előállított pontszerű állományok összevetésekor 9 esetben (36 %) tapasztalható, hogy a historikus földrengések regisztrált epicentruma valamely kiugróan magas klorid-koncentrációs értéket produkáló kút közelségében alakult ki. A részletesebb vizsgálatok során rétegekre bontott és azokon belül hierarchikus klaszteranalízis segítségével csoportokra osztott adatok feldolgozása történt meg. Az esetek 12,5 %-nál esik egybe a historikus földrengések regisztrált epicentruma a fúrt kutakból felhozott vizek kiugróan magas klorid-koncentrációival.

A vonalas állományok összevetésekor sem található bizonyíték a földrengés-események és a vizek klorid-koncentrációjára vonatkozó adatok közötti összefüggre. Az összesített térkép alapján meghúzott vonalhoz az összes epicentrum 16 %-a, a rétegenkénti térképek alapján meghúzott vonalakhoz az összes epicentrum 44 %-a kapcsolható. Mind a helyek, mind a rengési események gyakorisága és erőssége szempontjából történő összevetés során a lehetséges egyezéseknek a legjobb esetben is csupán a fele mutatható ki.

A területi eloszlást mutató állományok vizsgálata során az epicentrumok és a klorid koncentráció értékeinek közvetlen összevetése nem mutat olyan térbeli elrendeződést, amely alapján kapcsolatot lehetne kimutatni a vizsgált adatsorok között. A földrengés-érintettség térkép és a klorid-koncentrációs térképek egyesítésével történt vizsgálat alapján a regisztrált epicentrumok közül az esetek alig 5 %-ban lehetne feltételezni kapcsolatot a földrengések epicentrumai és a felszín alatti vizek klorid-koncentrációja között.

Összességében elmondható, hogy a vizek klorid-koncentrációja és a földrengések epicentrumainak térbeli eloszlása között a vizsgált adatsorok felhasználásával nem lehet összefüggéseket kimutatni. Az adatbázisokból származtatott háromféle állomány egymással való összehasonlítása közül egy sem volt, amely szerint a regisztrált földrengés epicentrumok szignifikánsan valamely kiugróan magas klorid-koncentrációval jellemezhető ponton, vonalon, vagy területen helyezkedne el. Vannak ilyen előfordulások is, de az adatsorok összehasonlításának tengelyében nem ezek állnak. Az ellenkező oldalról szemlélve, található több olyan magas klorid-koncentrációval jellemezhető helynín, amely nem köthető sem a historikus epicentrumhoz, sem pedig geofizikai mérésekkel bemért, vagy akár csak feltételezett szerkezeti vonalhoz.

A rendelkezésre álló adatok alapján, az adatbázisokon elvégzett vizsgálatok szerint a vizek klorid-koncentrációjának növekedése elsősorban mélységi összefüggéseket mutat. Ez vonatkozik a teljes fúrási adatbázis egyben való értelmezése és a rétegekre bontott értelmezés esetére is. Az összesített vizsgálat szerint a munkaterületen három csoportot lehet létrehozni:

- 0-320 méter talpmélység között a klorid-koncentráció kis mértékben ingadozik, de mindig 1000 mg/l érték alatt marad
- 320-730 méter talpmélység között 1000 mg/l körül ingadozik
- 730 méter talpmélységtől tartósan (néhány kivételtől eltekintve) 1000 mg/l feletti érték figyelhető meg, illetve kizárólag ebben az intervallumban jelentkeznek az extrém magas értékek

A mélységi összefüggés mellett rétegtani összefüggések is kimutathatók. Az egyes rétegekbe mélyülő fúrások csoportjai között a talpmélység és klorid koncentráció alapvető statisztikai jellemzői szerint határozott különbség van. A fúrások vízadó rétegeinek talpmélység és klorid-koncentráció egyszerre történő figyelembe vételével végrehajtott hierarchikus klaszteranalízis eredménye alapján az egyes rétegeken belül is további mélységi összefüggést lehetett kimutatni. Az értékek földtani egységeken belüli szóródására lehetnek területi anomáliák által magyarázható összefüggések, de ez további adatok híján nem bizonyítható, ehhez további kutatásra lenne szükség.

A vizsgálat elvégzése után összegzésként elmondható tehát, hogy a rendelkezésünkre álló adatok több oldalról és több módszerrel való elemzése szerint a földrengések és a klorid-koncentráció között nem mutatható ki összefüggés. A klorid-koncentráció mg/l-ben meghatározott mennyisége a fúrások talpmélysége és a vízadó rétegeként dokumentálható földtani egységek szerint változik.

3.1.1.3.6 Felszíni földtani térképek – Paks környékének földtani veszélyforrás térképe

Földtani veszélyforrásokként azokat az emberi élet és vagyontárgyak biztonságára kockázatot jelentő tényezőket foglaljuk egybe, amelyek a Földön lezajló belső és külső folyamatok hatására következnek be.

A Föld belső folyamatai emberi időben kevéssé követhetők nyomon, de a földrengések és a vulkanizmus a legnagyobb biztonsági kockázatot jelentik. A jelen projekt reálisan földrengések bekövetkeztével számol, emiatt kiemelten, elkülönítve foglalkozik vele, ezért itt a földrengés-kockázat nem tárgyalt.

A telephely tervezett üzemeltetésére hatással lévő tényezők a földkéreg felszínén zajló exogén folyamatokhoz kötődnek, ezért elsősorban ezek számbavétele és térképi megjelenítése volt a munka célja. Módszertani alapját az MBFH-val egyeztetetten a Magyar Földtani és Geofizikai Intézetben kidolgozott rendszer [215] 70 o., 26 ábra, 17. melléklet, 6 táblázat) szolgáltatja. Ehhez a kiinduló adatokat a jelen projekt keretében összeállított felszíni földtani térkép adta, mivel ez a felszínen megtalálható negyedidőszaki képződményeket genetikusan alapon ábrázolja. Maga a térkép a jelenkorban képződő üledékeket közvetlenül mutatja, a korábban kialakult térszíneken pedig kijelöli azokat a területrészeket, ahol a felszínnek lepusztulása lokális üledék-felhalmozódással jár együtt. Erre az alapra kerültek a légi fényképekről, a topográfiai térképekről, kisebb részben adattári anyagokból, és a digitális domborzati modellből levezetett egyes veszélyforrás elemek. A veszélyeztetettség típusok megjelenése szoros kapcsolatban van a jelenkori felszínalakító folyamatokkal, ezért azoknak a projekt geomorfológiai munkákból származó adatait a térképszerkesztés során figyelembe vettük.

A megjelenített térkép a Mecsekérc Zrt. téradatbázisába feltöltött, GIS alapú adatállomány, ami számos raszteres és vektoros réteget tartalmaz. A megjelenített térkép egyike a lehetséges változatoknak, amelyek más tényezőkkel is megjeleníthetők, mint például a lejtőkategóriák más jellegű felosztása.

A veszélyforrások értékelésekor két tényezőt kell szem előtt tartani. Az elsődleges szempont a telephelytől való távolsága, a másik kiterjedése és hatásterülete. Ebből a szempontból a telephelyre kevés tényező képes hatást gyakorolni. A Duna teraszának síkja kiegyenlített, jelentős szintkülönbségek nincsenek, és a Dél-Mezőföld DK-i lehatároló tereplépcsője, amitől ÉNy-ra mutatható ki a legtöbb veszélyforrás, legalább 5 km távolságban található.

A telephely közvetlen környezete három természetföldrajzi tájegységre esik. Nyugati fele a Dél-Mezőföld, ami egy közel ÉÉK–DDNy-i tereplépcsővel simul bele a térképlap központi, a Dunáig terjedő részét képező Tolnai-Sárközbe. A térkép keleti fele a Duna bal partjára eső része a Kalocsai-Sárközhez tartozik, de a kvarter felépítését tekintve egybefügg a Tolnai-Sárköz északi elvégződésével.

A Mezőföldnek és a Duna alluviális síkjának arculatát élesen eltérő jelenkori földtani folyamatok alakítják:

A Dél-Mezőföld általános földtani képét a felszínen változó, 50–100 m vastagságot elérő lösz és löszös homok adja, aminek képződése már a felső-pleisztocén idején megállt, és a környezetéhez viszonyított kiemelt helyzete miatt lepusztulási folyamatok indultak el, aminek kísérő jelenségei a felszint tagoló völgyek szárnyain keletkező-pusztuló lejtőüledékek, ritkábban gravitációs üledékek, mint a lejtőkúszások, esetleg suvadások.

A Tolnai- és Kalocsai-Sárköz alapvetően akkumulációs jellegű; a Duna üledékeiből épül fel, ahol a saját üledékek folyamatos átdolgozása és áthalmazódása a jellemző. A szabályozatlan folyó pusztító és üledéklerakó képessége, a kiszámíthatatlan árvizek áttételesen szintén földtani kockázatot jelentenek. Ugyanakkor ez a dunai hordalékokból felépülő térszín sem egységes. Természetföldrajzi értelemben a Mezőföldhöz, de földtanilag és morfológiailag inkább a Tolnai-Sárközhez tartozik a Duna korábbi teraszüledékeinek kiegyenlített felszíne, ahol sem az erózió, sem akkumuláció nem jellemző. Ez a felszín lényegében véve egyensúlyban van. Ezt a Pakstól déli irányban fokozatosan szélesedő teraszvidéket, amire az erőmű telephelye esik, a földtani veszélyforrások nagyrészt elkerülik

A Dél-Mezőföld jellemző jelenkori üledékképződési térszíneit három nagy genetikai csoportba lehet osztani:

Areális és gravitációs üledékképződési térszínek

Ebbe a kategóriába a deluviális, az eolikus–deluviális, a suvadásos (gravitációs) és a deluviális–suvadásos térszínek a jellemzők az ott található negyedidőszaki üledékekkel összhangban. A löszös és löszös homokokból felépülő fekvő lepusztulásának kezdő lépéseként felületi leöblítődés lép fel, ahonnan a felszínen fokozatosan összegyűlő csapadék hatására vonalas eróziós pályák alakulnak ki. Jelentősebb morfológiai szintkülönbségek esetében a támasztékát vesztett üledék, elsősorban az agyagosabb szintekkel tagolt löszös üledék lejtőperemein gravitációs tömegmozgások, suvadások keletkezhetnek. Ilyen mélyebben bevágódott völgy a Dunakömlőd felé lefutó Vörös-malmi árok, aminek a déli–délnyugati oldalán több ilyen tömegmozgás nyoma kimutatható.

Vonalas akkumulációs üledékképződési térszínek

Ebbe a térszín kategóriába a folyóvízi, a folyóvízi–proluviális, proluviális és proluviális–deluviális kevert genetikájú üledékek és térszínek tartoznak. A völgykitöltő üledékek elkülönített négy típusa az ÉNy-DK-i irányítottságú völgyekhez kötődik. Ezeket a képződményeket jellemzően a völgytalpak állandó, vagy időszakos vízfolyásai hozták létre. A lepusztulási folyamatok szorosan együtt járnak a völgyek enyhe, lankásabb oldalain és a völgyek talpán egyidejűleg fellépő üledékképződéssel. A völgyek összefutásánál, a völgytalpak kiszélesedésekor a lerakódó üledékek jól kirajzolódó hordalékkúpokat alkotnak.

Vízi környezet üledékei

Ezek olyan üledékképződési térszínek, ahol a völgyek közel szintes talpán az üledékképződés jellemző közege a csapadékokból felgyülemlett csapadékvíz. Ebbe a kategóriába a tavi, a tavi–mocsári és a mocsári genetikájú üledékek tartoznak. Ezek az üledékek elvileg építésföldtani-geotechnikai kockázatoknak minősülnek, de elszigetelt voltak és korlátozott, távol eső térszínek gyakorlati kockázatot nem jelentenek.

Az eróziós-szedimentációs folyamatok csupán a Dél-Mezőföld belsejére korlátozódnak, és legfeljebb a mélyebb helyzetben lévő településrészek számára jelentenek veszélyt, amennyiben a gyors, intenzív csapadék okozta sár- és iszapfelhalmozódás utakat, vízlevezető árkokat, lakott területeket boríthatnak be. Ezek természetesen zajló folyamatok, amelyek folyamatosan felléptek és jelenleg is zajlanak. Hatásuk intenzívebbé válását, vagy mérséklődését a külterületeken folyó mezőgazdasági tevékenység jelentősen befolyásolja.

A Duna akkumulációs terasza

A Dél-Mezőföld és a Kalocsai-Sárrét érintkezési zónája a Paks (Dunakömlőd)–Tengelic–Júlia-major irányában húzódó tereplépcső. Morfológiailag a Duna egykori nyugati teraszszegélye, ami a lepusztulási folyamatok ellenére jelentős szintkülönbségű. Dunakömlőd térségében, ahol a Duna jelenkori üledékei a teraszt már alámesták, a relatív szintkülönbség eléri a 80 m-t, és DDNy-i irányban fokozatosan lecsökken 60 m-re, majd a Júlia-major környékén 30 m-re. Ez együtt jár a lejtők szögének jelentős csökkenésével, és ezzel együtt a kapcsolódó veszélyforrások térbeli intenzitásának csökkenésével.

Két tényező jelentős ebben a sávban. Egyfelől a gravitációs üledékek jelenléte, másfelől a lecsökkenő reliefenergia miatti üledék-felhalmozódás.

Északon, Dunakömlőd és Paks óvárosának keleti peremén, országos méretekben is jelentős partfalmozgások ismertek, amik az MBFH felszínmozgásos területeket nyilvántartó lapjain is szerepelnek [226]. Tengelic felé haladva a lankásabb domborzat miatt csak Dunaszentgyörgytől nyugatra tartalmaz a nyilvántartás aktív földmozgást. Földrajzi távolságaik miatt veszélyforrásként nincs jelentőségük.

A Dél-Mezőföld eolikus üledékein határozott DK-i lefutású völgyhálózat alakult ki, ami a dombvidék belső részein lepusztuló üledékekkel, az előzőekben összefoglalt genetikai típusokba sorolható képződményekkel van kitöltve. Az állandó és időszakos vízfolyások folyamatosan szállítják az üledékeket a Duna, mint lokális erózióbázis irányába. A vizes közegnek kicsi az üledékszállító képessége a kis vízhozamok miatt. A folyamat intenzitása igen mérsékelt a kis szintkülönbségek és gyenge völgyi hátravágódás miatt, amit az eolikus üledékek nagy csapadékelnyelő képessége magyaráz. A dombvidék peremén, a tereplépcső

aljában a szállító vizes közeg energiája lecsökken, emiatt a szállított üledékből peremi hordalékkúpok sora alakult ki. A hordalékszállítás azonban nem éri el a Duna allúviumát. A zömük a terasz üledékeire alig 1–1,5 km-re nyúlik be, emiatt veszélyforrásként elhanyagolhatók. Kivétel Paks belterülete, ahol a szintkülönbségek jelentősek, és a hordalékok kellő védekezés nélkül gyakran boríthatják be sárral az egyes településrészeket. A csapadék lefolyásának szabályozására már a külterületeken is lebetonozott vízlevezető vályúkkal, a településen pedig a közművek (utak, vasút) alatt átvezetett kibetonozott csatornákkal védekeznek.

A telephely szempontjából a Csámpai-patak és a tőle ÉK-i irányban kb. 1 km-re lefutó párhuzamos, névtelen völgy üledék-felhalmozódása kívánhat vizsgálatokat, amennyiben az üzemidő alatt elérheti a régi 6-os utat, mint műszaki védelmi vonalat.

Mivel a tereplépcsőt tagoló, esésirányú oldalvölgyek rendszerének kialakulása és ezzel együtt a peremi hordalékkúpok kialakulása a felső-pleisztocén ideje alatt kezdődött és napjainkra állandósult, újabb eróziós pályák kialakulása és további, veszélyeket jelentő üledék-felhalmozódási helyek képződése az üzemidő alatt nem várható.

A Duna alluviális-akkumulációs térszíne

A térképen jelölt veszélyforrások eloszlása élesen megmutatja, hogy a Duna alluviális-akkumulációs térszínén a veszélyforrások minimálisra csökkennek, és jellegük teljesen megváltozik. Az elmúlt kétszáz év szabályozási folyamata a folyó károsító tevékenységét a gátak közé fogott hullámtérre korlátozta. A dunai üledékekkel borított területeknek területhasznosítása nagy vonalakban igazodik kialakult mikrodomborzati viszonyokhoz, ezért az időnkénti árvízi borítottság mellett földtani kockázatok általában nincsenek. Az egyedüli kockázatot a folyó oldalazó mozgására visszavezethető partfal-alávágások jelentik, amelyek a szabályozás óta a mentett oldalon mindenhol megszűntek. A part védelme nemcsak Paks városára szorítkozik, hanem a telephely környezetében is szigorú előírásoknak megfelelően kialakított elsőrendű árvízvédelmi művel akadályozza meg a partfal erózióját. Ez azt jelenti, hogy biztosítja az átlagosan 100 évenként egyszer előforduló árvíz ellen védelmet. Ez a védelem külön intézkedéseket a bővítés során sem igényel. A hullámtéren zajló folyamatos üledék-lerakódásokat és medermélyüléseket jelenleg terelőművekkel (sarkantyúkkal) és visszafogott mederkotrásokkal, a mellékágak terelőművekkel történő elzárásával szabályozzák.

Amennyiben az üzemidő alatt a vízhozamoknak tartós csökkenési tendenciája következik be, ez a fellépő földtani kockázatok mérséklődését jelenti, de hatásuk csak a vízhozam-csökkenések okozta biztonsági kockázatokra hozott intézkedések után mérhető fel.

A mentett oldali árvizek ritkák, és az ezek során keletkező üledékek mennyisége elenyésző, földtani kockázatot nem jelentenek. Az árvizek részben a parti hátakon átbukva árasztják el a mélyebb fekvésű, napjainkban csak időszakos vizes élőhelyekké alakult mögöttes- vagy mélymocsarakat. A parti hátakon ülepedik ki a durvább üledékes frakció (a szétterülés során lecsökkenő vízsebességek miatt), míg a mélyebb fekvésű, részben már kiszáradó félben lévő, leggyakrabban mezőgazdasági művelés alá vont elmocsarasodott alluviális térszínekre és az övzátanyok közötti sarlólaposokra csak a legfinomabb, lebegtetett aleurolit és aleuritos agyag kerül. Ezek a friss öntések várhatóan a következő több évtized alatt sem képeznek földtanilag értékelhető vastagságú üledéktakarót, amit alátámaszt, hogy a kora-holocén korú övzátanyok felszíne és morfológiája is átüt a több évszázad alatt rájuk ülepedett öntések iszapja alól.

Szél okozta erózió (defláció) és akkumuláció

Külön szükséges elemezni az eolikus eredetű eróziót (deflációt) és a szélfúttá üledékeket. Ezek egyetemlegesen hatnak az összes vízi és gravitációs veszélyforrású térszíneken. Elfogadott a nézet, hogy a Dél-Mezőföld felszínét a mai formájára a felső-pleisztocén végi–holocén arid klíma ÉNy–DK-i szelei alakították ki. Ez megjelenik a völgy- és vízhálózatban, és a felszínen található futóhomokok formakincsén. Helyenként több tíz méter magas parabolabuckákat képeznek, amelyeket néhány méter magas buckasorok ölelnek körbe, több tíz km²-es felszíneket egységesen borítva. Egyes helyeken, így a Cseresznyésnek nevezett külterület vidékén, ahol a megkötésére szolgáló erdőborítást és a szőlőtelepítéseket felszámolták, napjainkban is észlelhető a futóhomok aktív mozgása. A löszök és löszös homokok, valamint a futóhomokok finom frakciójának kifújása jelenleg is zajlik, és az uralkodó szélirány miatt a Várost, a Duna teraszát, és a telephelyet is eléri. Az eolikus homokok akkumulációs formái a Duna teraszon, sőt, már a Duna fiatal alluviumán megjelennek, a defláció pedig számos zárt mélyedést alakított ki a Duna teraszon kb. 100 m Bszf. aljzatszintekkel.

A telephely zárt térségeinek pormentessége megoldott, és a bővítés nyilván hasonló műszaki megoldásokat tervez. Azonban a klíma megváltozásával, a szárazság növekedésével, mint minimum pessimum-mal számolunk. Ezért a várhatóan továbbra is ÉNy-i irányból szállított por ellen a jelenleg jó részben kopár és mezőkkel borított felszínek erdősítését célszerű a telephely mentén akár napjainkban megkezdeni, mert ez egy természetes védőzónát jelent a jövőben képződő eolikus porok ellen.

Az MBFH földtani veszélyforrásokra vonatkozó adatai igen szerények. A FKP-ban megjelölt kutatási célok között a geotechnikai veszélyek értékelése során [77] mindössze 4 db felszínmozgásos terület azonosítása jöhetett számításba [226]. Ugyancsak a földtani veszélyforrások között kezelik a pincekárokat; közöttük Paksra 7 db alápincézett területet tartanak nyilván, amelyek a Paks feletti löszhátak korábbi szőlőtelepítéseinek helyén találhatók [98].

A felszínmozgások földrajzi távolságuk miatt nyilvánvalóan nem lehetnek hatással a telephelyre. Pincekárok lehetőségét is ki lehet zárni a telephely környezetében, mivel a pincekárok a felhagyott szőlőültetvényekhez kötődnek, és az általunk megvizsgált, kb. 220 évet felölelő részletes topográfiai térképek területhasználatként csak legelőket, némi erdőt, és homokot jelölnek.

Összefoglalva a földtani veszélyforrások telephelyre gyakorolt hatásait megállapítható, hogy a Dunát, mint veszélyforrást a működő blokkok köré vont biztonsági rendszer megfelelően kezeli, és a bővítésnek alapjaiban nincs a veszélyeket növelő hatása. Javasolt azonban a klímaváltozás miatti defláció és a szállított por növekedésével számolni, aminek hatásait a fő szélirányban erdők telepítésével jelentősen csökkenteni lehet.

3.1.1.4 Mélyföldtani térképek

Ezen fejezet célja a kutatási terület regionálisan térképezett horizontjainak geológiai-tektonikai jellemzése a kialakított 3D földtani-tektonikai modell alapján. A 3D modell 3.1.1.2.1. fejezetben bemutatott földtani határfelületeinek (1. Pre-kainozoos aljzat-tető, 2. Alsó-miocén-tető, 3. Középső-miocén-tető/Pannon-fekü, 4. Endrőd-tető, 5. Algyő-tető, 6. Negyedidőszaki fekü) 1:100 000-es méretarányú mélységtérképeit az 14-21. melléklet mutatják be. A térképsorozat a fenti, regionális elterjedésű földtani határfelületek mellett

tartalmazza az alsó-pannon Keceli Bazalt tetőtérképét is, amely formáció a kutatási terület keleti részének jellegzetes földtani képződménye. A mélységtérképek vetőpoligonok formájában ábrázolják azokat a vetőrendszereket, amelyek az adott földtani horizontot elmetszik. E vetők tehát az illető horizontnál mindenképp fiatalabb szerkezeti aktivitást jeleznek. Kivételt ez alól csak a negyedidőszaki képződmények talptérképe képez, ahol a vetőpoligonok a negyedidőszaki képződmények talpát elérő vetőket jelölik.

A fenti mélységtérképek (továbbá a negyedidőszaki képződmények esetében a felszín digitális topográfiai modelljének) felhasználásával készültek el a térképezett horizontok vastagságtérképei (22-30. melléklet), amelyek szintén feltüntetik az adott horizontot harántoló(/elérő) vetőrendszereket. A miocén összlet esetében az alsó- és középső-miocén képződmények vastagságtérképei mellett a teljes miocén összlet vastagságtérképe is megszerkesztésre került. A pannóniai képződmények esetében az Algyői, Endrődi és Keceli Formációk vastagságtérképei mellett a teljes pannóniai összlet, valamint az Újfalui és Zagyvai Formációk együttes („felső-pannóniai”) vastagságtérképei is elkészültek.

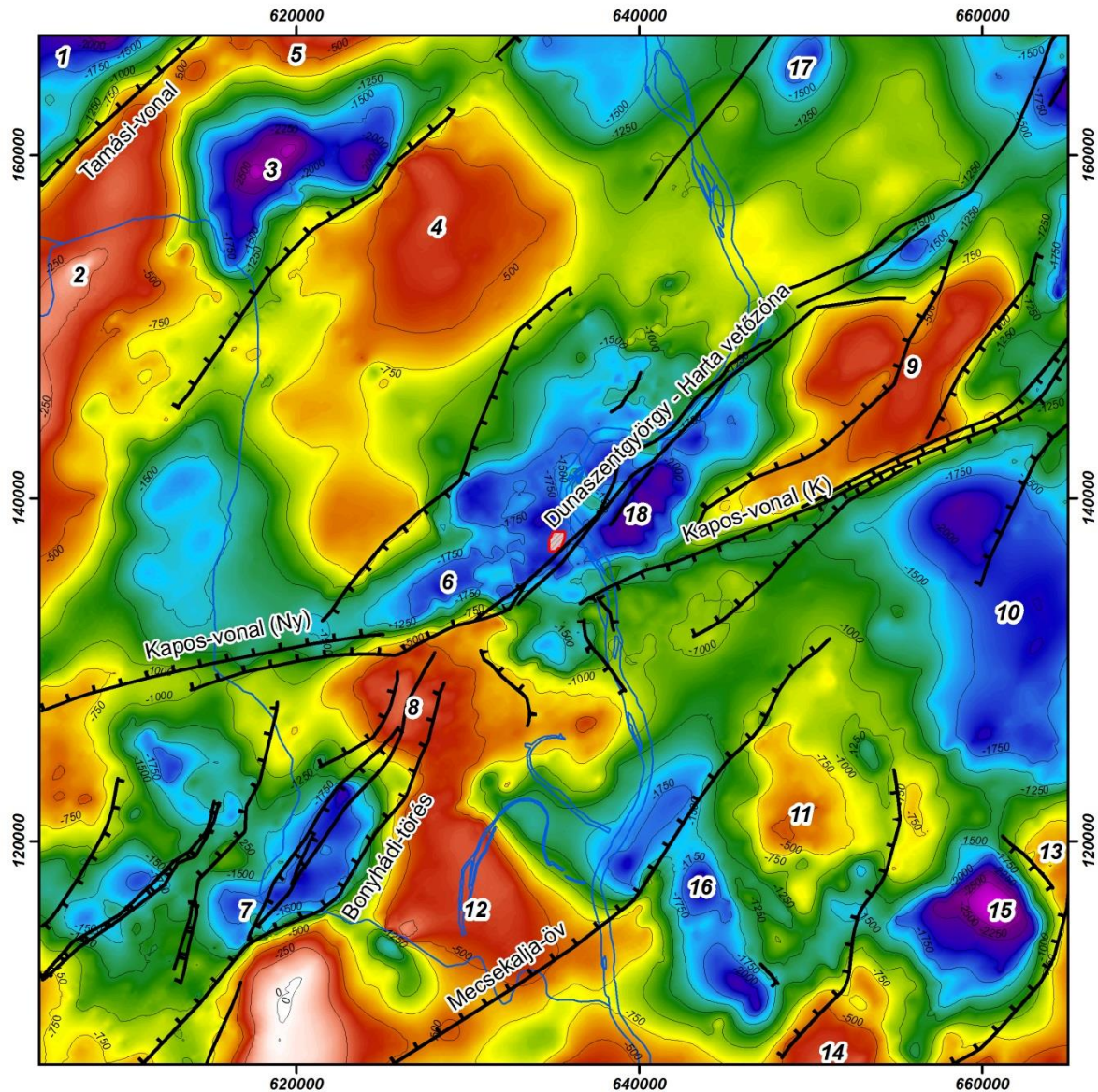
A kutatási terület mélyföldtani felépítésének és szerkezeti viszonyainak könnyebb áttekintését a horizonttérképeken kívül a 3D földtani-tektonikai modell felhasználásával készült reprezentatív földtani szelvények is segítik (l. 31-35 melléklet).

Az alábbiakban az elkészült mélység- és vastagságtérképek, illetve földtani szelvények segítségével kerülnek átkeintésre a kutatási terület mélyföldtani felépítésének legfőbb vonásait.

3.1.1.4.1 Prekainozoos alaphegység

A kutatási terület meghatározó aljzat-morfológiai elemei a pre-kainozoos aljzat mélységtérképe (21. melléklet) alapján kerülnek bemutatásra. A könnyebb áttekinthetőség érdekében az aljzatmorfológiai elemeket (számokkal jelölve) vázlatos formában a 199. ábra szemlélteti, feltüntetve az azonosított és korrelált vetőket is, azok dőlésirányával. A meghatározó jelentőségű vetők esetében feltüntetésre kerültek a szerkezetföldtani irodalomban használatos, illetve ha nem volt ilyen, akkor a 3D földtani modell kialakítása során bevezetésre került elnevezések. A továbbiakban a zárójelentés az 199. ábrán látható elnevezéseket használja. Az aljzat főbb morfológiai elemeinek ismertetése során röviden ismertetésre kerül az alaphegység litológiai felépítésére vonatkozó újabb, az FKP keretében nyert információkra is.

A kutatási terület pre-kainozoos aljzatát, amely a Tiszai-főegység Mecseki-zónájának részét alkotja, igen erősen tagolt morfológia jellemzi, számos kisebb-nagyobb aljzatmagaslattal, illetve köztük elhelyezkedő süllyedékekkel (199. ábra, 21. melléklet). E morfológiai elemeket jellemzően vetők határolják, jóllehet ezek csak részben térképezhetők a szeizmikus lefedettség egyenetlenségei következtében.



199. ábra A kutatási terület és tágabb környezetének főbb aljzat-morfológiai elemei és vetőrendszerei.

A vetőtüskék az adott vető dőlésirányát jelzik, a túske nélküli vetők (közel) függőleges helyzetűek. 1. Ozorai-árok 2. Tamási-magaslat 3. Simontornyai-süllyedék 4. Németkéri-magaslat 5. Sárbogárdi-magaslat 6. Tengelic-Paks árok 7. Bonyhádi-süllyedék 8. Tolnai-magaslat 9. Szentkirályi-magaslat 10. Keceli-árok 11. Miskei-magaslat 12. Mórág-Szekszárdi-magaslat 13. Jánoshalmi-magaslat 14. Sükösi-magaslat 15. Borotai-süllyedék 16. Fajszi-árok 17. Újsolti-árok 18. Géderlaki-árok. Piros poligon: tervezett telephely (középen)

A kutatási területet kb. középen KÉK–NyDNy-i csapással szeli ketté a Kapos-vonal, amely a pre-kainozoos aljzat legmarkánsabb, csapás mentén látszólag folyamatosan mintegy 80 km hosszan követhető szerkezeti eleme. Ettől északra — kiváló összhangban a Bouguer-anomália térképpel — nagyon határozott ÉK–DNy-i irányítottság ismerhető fel az aljzat morfológiai elemeinek elrendeződésében, míg a vonaltól délre a szerkezeti kép kevésbé egyveretű, hiszen az ÉK–DNy-i és erre kb. merőleges (É)ÉNy–(D)DK-i irányítottság egyaránt megfigyelhető.

A Kapos-vonal északi szomszédságában három markáns, ÉK–DNy-i irányítottságú aljzat-magaslat ismerhető fel, amelyek Ny-ról K felé haladva (32-35 mellékletek): Tamási- (2), Németkéri- (4) és Szentkirályi-magaslat (9). A Németkéri-magaslaton az FKP keretében lemélyült PAET–26 fúrás variszkuszi közepes-fokú metamorfitek harántolásával megerősítette a korábbi Németkér–1 (Nk–1) fúrás eredményeit a prekainozoos aljzat litológiai felépítésének tekintetében.

Az említett magaslatok és a Kapos-vonal közötti területen ÉK–DNy-i, illetve a Kapos-vonallal párhuzamos KÉK–NyDNy-i irányítottságot egyaránt tükröző mélyedések helyezkednek el (32-33 ,ellékletek): a Tengelic-Paks árok (6) és a Géderlaki-árok (18). Ezek rétegsorát az FKP keretében lemélyült nagymélységű PAET–29, –34 és –35 fúrások tárták fel. Ezek közül csak a PAET–34 fúrás érte el — a PAET–26 fúrásban megismert variszkuszi metamorfitekkel teljesen analóg jellegű képződményekből felépülő — pre-kainozoos aljzatot. Ez fontos eltérést jelent [122] HAAS et al. térképén erre a területre jelzett mezozoos (jura) képződményekhez képest, és azt mutatja, hogy a PAET–26 és Németkér-1 (Nk–1) fúrásokat magába foglaló kristályos pászta D-i irányban jóval nagyobb kiterjedésű a korábban feltételezettnél.

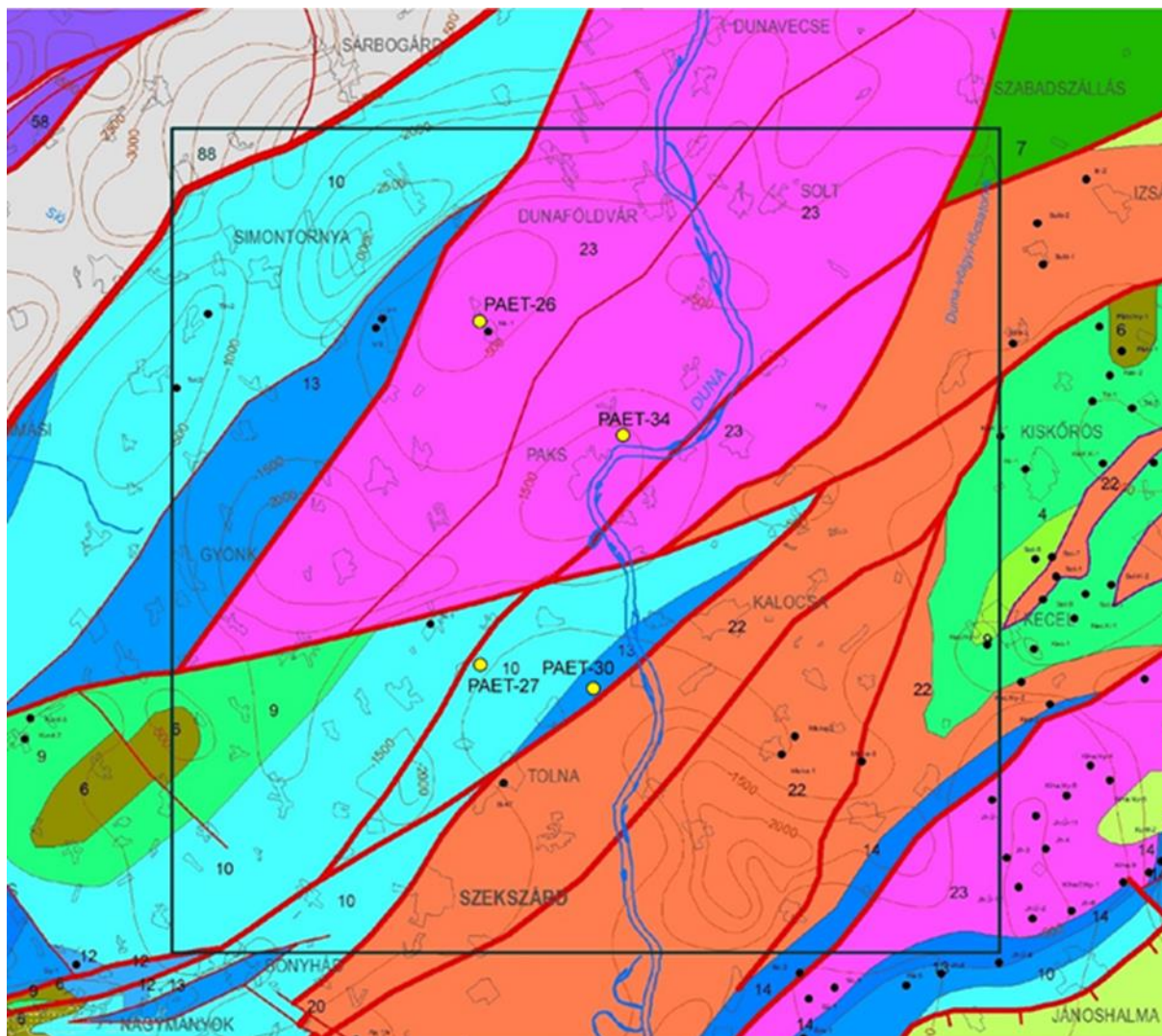
A Tamási- és Németkéri-magaslatoktól északra, a kutatási terület északi peremén helyezkedik el az előzőektől kissé eltérő, KÉK–NyDNy-i irányítottságú Sárbogárdi-magaslat (5), valamint e három magaslat közé ékelődött Simontornyai-süllyedék (3) (33. melléklet). A Tamási-magaslattól ÉNy-ra húzódik a terület legmarkánsabb, de a 3D földtani modell területén jórészt kívül eső, ugyancsak ÉK–DNy-i irányítottságú mélyzónája az Ozorai-árok (1), amely nagyszerkezetileg már nem a Tiszai-egységhez, hanem az ismeretlen aljzatú Közép-magyarországi Szerkezeti Zónához sorolható [122] [84] [57] (HAAS et al. 2010, FÜLÖP & DANK 1987, DANK & FÜLÖP 1990).

A Kapos-vonal déli szomszédságában a terület középső részén helyezkedik el a Tolnai-magaslat (8), amelynek északi részén mezozoos képződmények alkotják a pre-kainozoos aljzatot az FKP keretében lemélyült PAET–27 és –30 fúrások tanúsága szerint. Ez szintén lényeges eltérést jelent [122] HAAS et al. térképén erre a területre jelzett paleozoos granitoid képződményekhez képest, és azt igazolja, hogy a Tolnai-magaslat északi része a Mecsek északi előteréből ismert széles mezozoos pászta keleti folytatását alkotja.

A Tolnai-magaslat keskeny nyakkal folytatódik dél felé, ahol a Tolna községnél mélyült B–47 jelű vízkutató fúrás pannon képződmények alatt már variszkuszi granitoidba jutott. Továbbhaladva dél felé a Tolnai-magaslathoz a nagykiterjedésű Mórág–Szekszárdi-magaslat (12) csatlakozik (35. melléklet), amelynek területén a pre-kainozoos aljzat mezozoos és paleozoos képződményei a felszínre is bukkannak a Keleti-Mecsekben és a Mórágidombságban.

E magaslatoktól Ny-ra található a szerkezetileg több kisebb részmedencére tagoló Bonyhádi-süllyedék (7) (31. melléklet). A Tolnai-, illetve Mórág–Szekszárdi-magaslatoktól K-re több kisebb, többnyire É(ÉNy)–D(DK-i) irányítottságú süllyedék helyezkedik el (32-34. mellékletek), mint a Keceli-árok (10), Borotai-süllyedék (15), Fajszai-árok (16) közöttük a kicsiny Miskei-magaslattal (11). A szénhidrogénkutató fúrásokkal feltárt Sükösdi-magaslat (14) a Mórág–Szekszárdi-magaslat keleti, de némileg lezökkent helyzetű folytatását képviseli a Dunától keletre. Ehhez KÉK felől csatlakozik az ugyancsak szénhidrogénkutató fúrásokkal feltárt Jánoshalmi-magaslat (13).

Mint az a fentiekből is kitűnt, az FKP keretében lemélyült, a pre-kainozoos aljzatot is feltáró nagymélységű fúrások (PAET-26, -27, -30 és -34) fontos új eredményeket szolgáltatottak az alaphegység litológiai felépítését és szerkezeti viszonyait illetően. Ezen felül a kutatási terület vetőrendszereinek szisztematikus térképezésének eredményei (l. 3.1.1.5.1. fejezet) is számos vonatkozásban módosították a korábbi szerkezeti elképzeléseket. Mindezen eredmények felhasználásával került megszerkesztésre a kutatási terület új aljzattérképe (200. ábra), amelynek alapját [122] HAAS et al. által publikált, a kainozoos képződmények elhagyásával készült fedetlen földtani térkép jelentette.

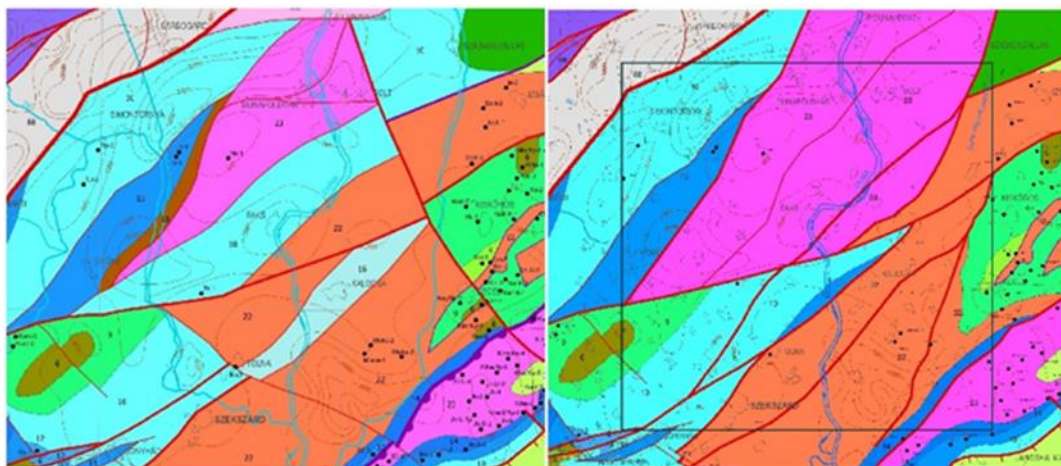


200. ábra A pre-kainozoos aljzat felépítése Paks környezetében Haas [123] kutatási eredmények szerint módosított térképe alapján.

A térképen feltüntettük a 3D földtani modell (60x60 km) határát (fekete poligon), valamint a kutatás során mélyült és medencealjzatot ért, PAET jelű mélyfúrásokat (sárga körök). Jelkulcs (Haas [123]): 4. Albai medence fáciesű márga és törmelékes lejtőüledék; 6. Alsó-kréta bázisos vulkanitok és ezek áthalmazott tengeri üledékei; 7. Alsó-kréta platform fáciesű mészkő; 9. Középső-jura – alsó-kréta pelágikus mészkő, tűzköves mészkő; 10. Alsó- középső-jura pelágikus, finom sziliciklasztos kőzet; 13. Középső-triász sekélytengeri, sziliciklasztos és karbonátos összlet; 14. Alsó-triász folyóvízi és delta fáciesű, sziliciklasztos képződmények; 22. Variszkuszi granitoid kőzetek; 23. Variszkuszi metamorfit összlet; 88. Ismeretlen medencealjzat

Az eredeti és a módosított térképet összehasonlítva a változások egyik legfőbb elemét értelemszerűen a korábbi földtani modell és az FKP keretében nyert, új litológiai adatok

harmonizációja jelenti (201. ábra). A módosítások másik csoportja a szerkezeti elemekhez kötődik. Ezek vonatkozásában összességében megállapítható, hogy a módosított aljzattérképen is a NyDNy–KÉK-i csapású szerkezeti elemek uralkodnak, amelyek térbeli helyzetének meghatározását, illetve pontosítását az archív 2D szeizmikus szelvények, az FKP keretében készült új 2D és 3D szeizmikus mérések, valamint a lemélyített fúrások adatainak integrált értékelése tett lehetővé. Fontos változást jelent a korábbi szerkezeti modellhez képest bizonyos tektonikus, illetve települési képződményhatárok módosítása, valamint a Tolna városa alatt áthaladó, ÉNy–DK-i csapású és a Solt városa alatt áthaladó, ÉÉNy–DDK-i csapású, jelentősebb harántvetők elhagyása (201. ábra), amelyek létezését a mélyföldtani kutatás és térképezés során semmilyen bizonyíték nem támasztotta alá.



201. ábra HAAS [123] aljzattérképe (balra) és a kutatási eredmények alapján módosított aljzattérkép (jobbra)

3.1.1.4.2 Neogén és negyedidőszaki képződmények elterjedése és vastagságviszonyai

A kutatási terület neogén és negyedidőszaki képződményeinek elterjedési jellemzőit és vastagságviszonyait az elkészült mélység- és vastagságtérképek, illetve földtani szelvények alapján kerül ismertetésre (14-35 mellékletek). Az alábbi elemzés a 3D földtani modell geológiai horizontjainak felhasználásával rétegtanilag alulról felfelé haladva mutatja be a főbb térképezett neogén és negyedidőszaki képződménycsoportok elterjedési és vastagságbeli sajátosságait.

A miocén összlet képződményei

A miocén képződményeket részleteiben a 3.1.1.1 fejezet ismerteti, míg ezek fejlődéstörténeti-ösföldrajzi viszonyait a 3.1.1.6. fejezetben mutatja be. Az alsó-miocén összlet tetőhorizontját (a 3D földtani modell 2. jelű földtani határfelülete; lásd 3.1.1.2 fejezet 177 ábra 178 ábra) bemutató mélységtérkép (20 melléklet) alapján az ide tartozó üledékes és magmás képződmények elterjedése a kutatási terület egészen általános a süllyedékekben, ami alól kivételt csak a Keceli-süllyedék és annak szűkebb környezete jelent. Ugyanakkor a jelentősebb aljzatmagaslatok felett (Tamási-, Németkéri-, Szentkirályi-, Sárbogárdi-, Tolnai-, Mórág–Szekszárdi-, Sükösdí- és Jánoshalmi-magaslatok; l. 3.1.1.4.1 fejezet) az alsó-miocén képződmények többnyire hiányoznak. A Szentkirályi-magaslat keleti, mélyebb helyzetű részén az elérhető fúrási adatok és a mélyföldtani térképezés egyaránt az alsó-miocén összletbe sorolható üledékek (Dunapataj K–81 jelű vízkutató fúrás: durvatörmelékes kőzetek) jelenlétét támasztják alá. A jelentősebb aljzatmagaslatokon kívül néhány további

kisebb magaslaton is (pl. Zomba–1 fúrás környezete és az attól ÉNy-ra eső kiemelkedés) hiányoznak e képződmények.

Az alsó-miocén összlet vastagságtérképén (29 melléklet) jól kirajzolódnak a legfontosabb kora-miocén süllyedékek. Ezek közül meghatározó szerepű a terület közepén végighúzódó, a Kapos-vonallal nagyjából párhuzamosan elnyúlt Tengelic–Paks-, és Géderlaki-árkok (32, 33. mellékletek), amelyekben 1 km-t is meghaladó vastagságú durvatörmelékes teresztrikus, illetve vulkáni sorozat halmozódott fel. Figyelemre méltó ezen a részterületen, hogy viszonylag kis távolságon belül milyen jelentős litológiai változékonyságot tükröznek a süllyedékeket kitöltő alsó-miocén rétegsorok. Erre a legjobb példát a PAET–35 és a PAET–29 és –34 fúrások összevetése adja: a PAET–35 fúrásban az alsó-miocén összletet több mint 600 m vastagságban a Szászvári Formáció építi fel (a fúrás a pre-kainozoos aljzatot nem érte el), míg a viszonylag közeli (kb. 10 km) PAET–29 és –34 fúrásokban megjelenő vastag eggenburgi vulkáni összlet itt — legalábbis a feltárt 600 m-t is meghaladó hosszúságú szakaszon — hiányzik.

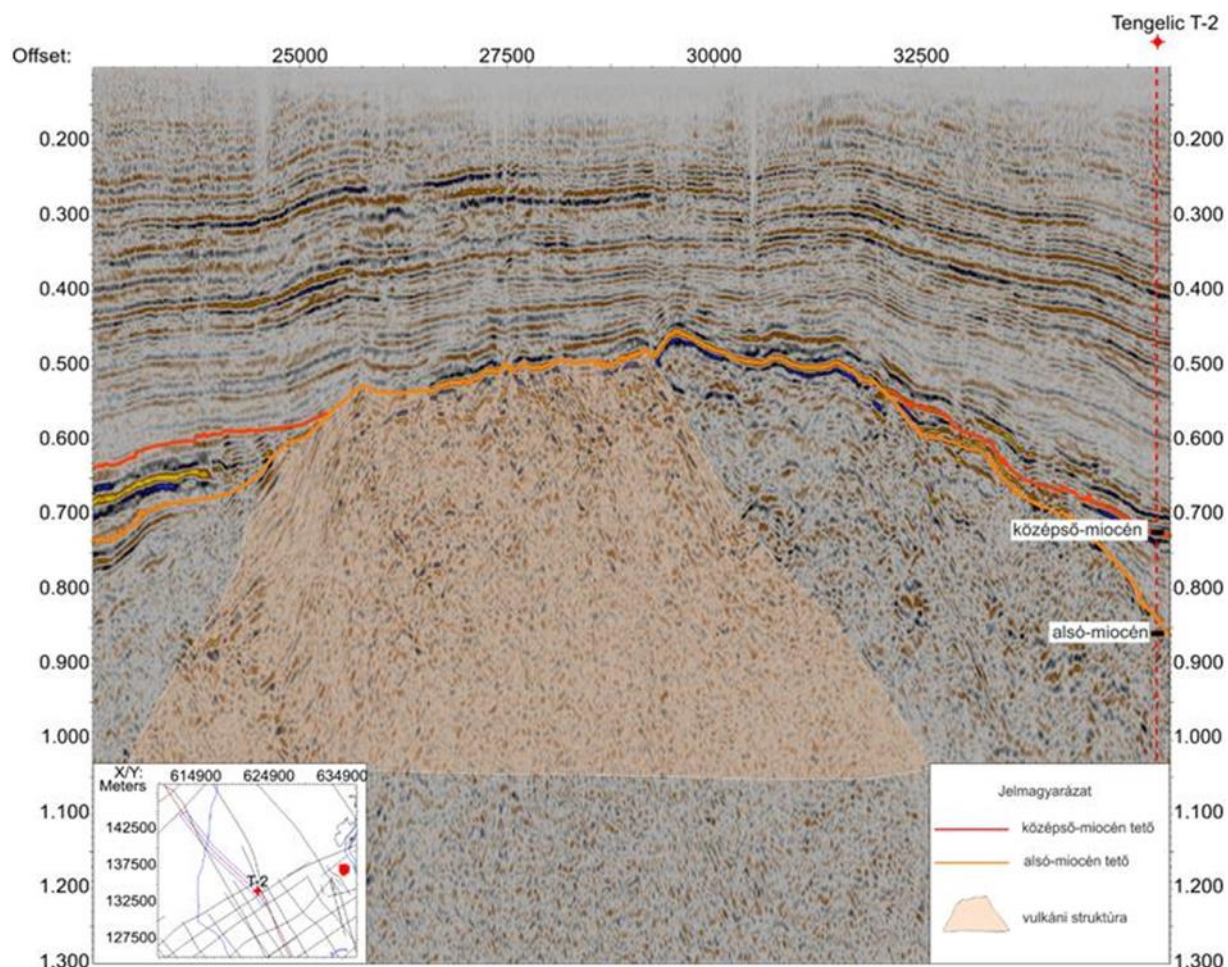
A Bonyhádi-süllyedék (É)ÉNy–(D)DK-i irányítottágú északi és nyugati részmedencéiben az alsó-miocén képződmények szintén jelentős vastagságot érnek el (>500 m), míg annak déli részén (Bonyhádi-medence s.s.) viszonylag alárendeltebb szerepűek (többnyire 300 m-nél kisebb vastagsággal; l. 31 melléklet). Ez világosan jelzi, hogy ez utóbbi, ÉK–DNy-i irányítottágot tükröző részmedence fő süllyedésének időszaka a kora-miocénnél későbbre esett, amelyet egyértelműen jeleznek a pannóniai képződmények vastagságtérképei is (24, 25. és 27. Mellékletek).

A terület északi részén fontos kora-miocén süllyedék a Németkéri-magaslattól északra fekvő, KÉK–NyDNy-i irányítottágú Simontornyai-süllyedék, amely tipikus aszimmetrikus félárok szerkezetet mutat (33. melléklet). Ennek legmélyebb részén az alsó-miocén összlet vastagsága a 1,5 km-t is eléri. Tőle északkeletre a kisebb jelentőségű Újsolti-árokban, míg nyugatra a terület északnyugati sarkában húzódó Tamási-árokban szintén jelentős vastagságban (>500 m) halmozódtak fel alsó-miocén képződmények. A terület délkeleti részén a Miskei-magaslatot övező Fajszai- és Borotai-süllyedésekben ment végbe számottevő üledékképződés a kora-miocénben, ahol 500–1000 m vastagságban fordulnak elő az alsó-miocén képződmények (19., 20. Mellékletek), míg a süllyedékek közti magasabb szerkezeti helyzetű aljzatblokkok felett azok csupán 100–200 m vastagságot érnek el. Mindez összességében világosan jelzi, hogy a paleo-aljzatmorfológia alapvető hatással volt a kora-miocén üledékképződésre.

Az alsó-miocén és a teljes miocén összlet vastagságtérképét (30. melléklet) összevetve megállapítható, hogy azok alapvető jellegzetességeiben nagyon hasonlóak. Ez egyértelműen jelzi, hogy a miocén fejlődési szakaszban a kora-miocén során végbement üledékképződés és társuló vulkanizmus játszotta a meghatározó szerepet a létrejött süllyedékek feltöltésében. Ez alól lényegében csak a kutatási terület keleti szegmense (Keceli-árok és környéke) képez kivételt, ahol viszont a középső-miocén képződmények (28. melléklet) érnek el jelentős vastagságot. E részterületen észak felől a Kapos-vonal alkotja az alsó-miocén képződmények déli elterjedésének határát. Mindazonáltal a fúrási adatok gyakorlatilag teljes hiánya miatt nem zárható ki, hogy a vastag középső-miocén összlet mélyebb része esetleg már az alsó-miocén összlethez sorolható, azonban a fúrási adatok hiányán túl a meglehetősen gyenge szeizmikus fedettség sem tett lehetővé megbízható korrelációt a keleti részterületen.

Az alsó-miocén vulkáni képződmények vonatkozásában — tekintettel a kutatási terület földtani felépítésében játszott kiemelkedő szerepükre (l. 3.1.1.1. fejezet) — feltétlenül szólni

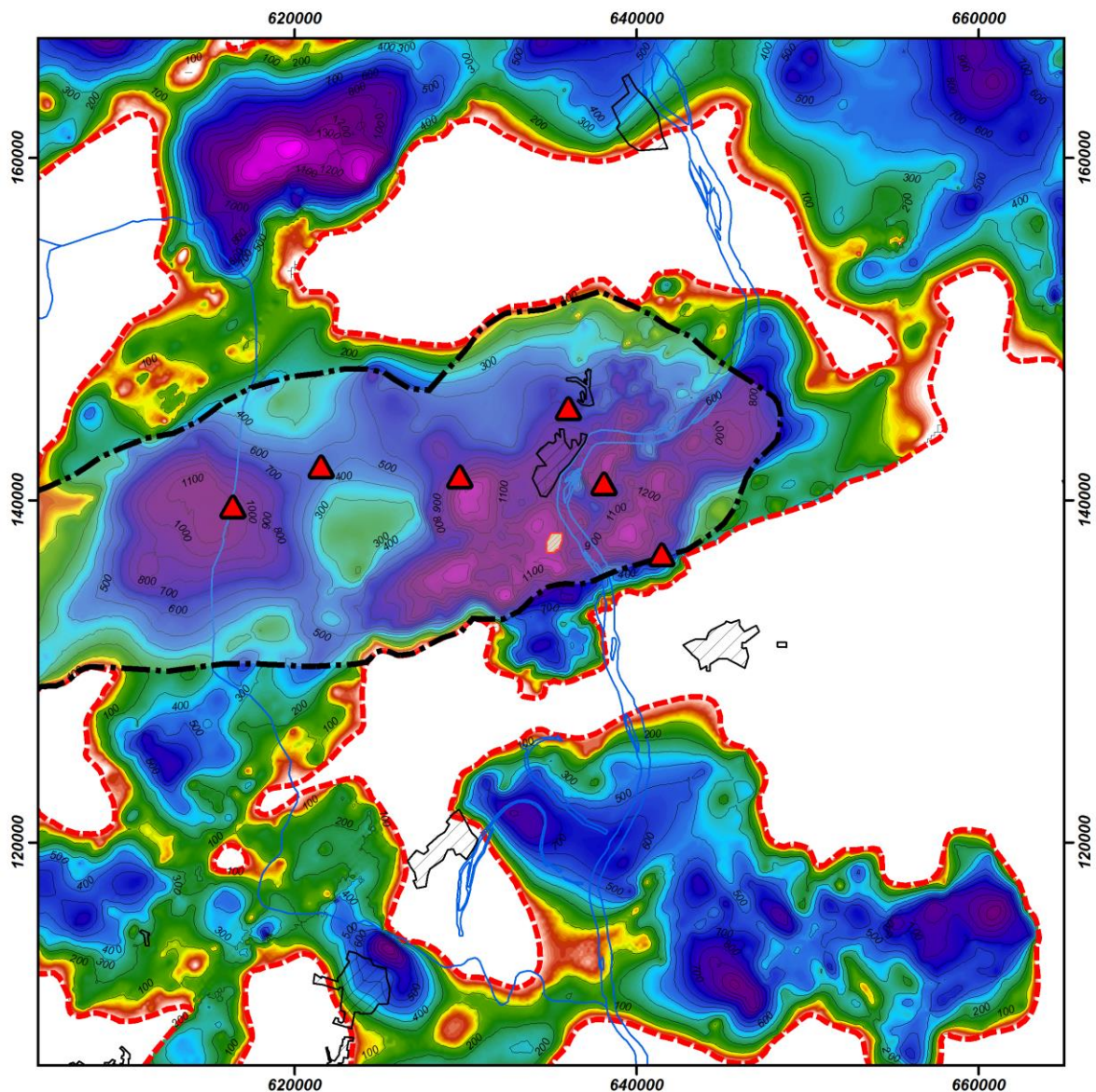
kell azok elterjedési jellemzőiről. E változatos kifejlődésű eruptív összletek jellemzően a kora-miocén során létrejött süllyedékekben halmozódtak fel (lásd feljebb), és helyenként teljes mértékben uralják az alsó-miocén összlet földtani felépítését (pl. PAET–29 fúrás). Néhány 2D szeizmikus szelvényen jellegzetes vulkáni struktúrák is azonosíthatók (202. ábra). Ezeknek a vulkáni szerkezeteknek az azonosítását a szeizmikus szelvények mellett a rendelkezésre álló, korrelatív fúrási adatok és a mágneses anomália térkép [158] is nagymértékben segítették.



202. ábra Miocén vulkáni szerkezet szeizmikus képe a szerkezet centrális részétől ellentétes irányba dőlő reflexiókkal. Részlet a REG-2 szelvényből.

A rendelkezésre álló fúrási és szeizmikus adatok, továbbá a mágneses anomália térképek [158] ([76] **140p.** és irodalmi adatok [57] integrált értelmezése alapján felvázolható az alsó-miocén vulkáni képződmények hozzávetőleges elterjedése (203. ábra), ideértve az azonosított markáns vulkáni szerkezeteket is. Ezek a képződmények alapvetően a Kapos-vonaltól északra húzódó Tengelic–Paks-, és Géderlaci-süllyedék területére koncentrálnak, ahol ezeket a PAET–29, PAET –34, Te–1, Te–2, Paks–2 és a Nagydorognál mélyült K–12 jelű vízkutató fúrások tárták fel. Az elérhető adatok alapján az alsó-miocén vulkanitok déli irányú elterjedését nagyjából a „Kapos-vonal”, de legalábbis annak szűkebb déli környezete jelöli ki. Ez a kora-miocén vulkanizmus szerkezetileg kontrollált jellegére utal a kutatási területen, azaz a vulkanizmust az egyidejű transztenziós szerkezetalakulás (lásd 3.1.1.5.2. fejezet) is elősegíthette.

Az FKP keretében lemélyült PAET–29 és PAET–34 fúrások nagyvastagságú, az új radiometrikus koradatok [133] szerint ~19 millió éves (eggenburgi), a Mecsekből ismeretes Mecseki Andezit Formációval geokémiaailag rokon [131] vulkáni összleteket harántoltak. Ezek egymással vulkanológiai szempontból és a radiometrikus korok alapján is jól korrelálhatók. Az FKP keretében mért új mágneses totáltér anomália térképen ([76] 140p.) az a terület nagy negatív anomáliaként jelentkezik. Ez arra utal, hogy a szerkezetileg mély árokhoz kötődő, rendkívül intenzív vulkáni tevékenység egyetlen rövid kitörési epizódot képvisel, amely egy fordított polaritású mágneses időszakban ment végbe.



203. ábra Az „alsó-miocén” képződmények vastagságtérképe (m)

a vulkáni képződmények feltételezett elterjedésével (vastag, fekete szaggatott vonal), valamint a fúrások és szeizmikus adatrendszer segítségével azonosított vulkáni centrumokkal (piros háromszög). Szaggatott piros vonal: „alsó-miocén” képződmények elterjedési határa, piros srafozott poligon: tervezett telephely (középen)

A *középső-miocén* tengeri összlet tetejét (a 3D földtani modell 3. jelű földtani határfelülete; (lásd 3.1.1.2 fejezet 178. ábra 177. ábra) bemutató mélységtérkép alapján (19. melléklet) e képződmények elterjedése eltér az alsó-miocén összletétől, továbbá határozott

különbség mutatkozik a kutatási terület nyugati és keleti része között. A középső-miocén képződmények teljesen hiányoznak a kutatási terület nyugati részén található magaslatokról és azok környezetéből, és lényegében csak a mélyebb süllyedékek területén (Ozorai-árok, Bonyhádi-medence, Simontornyai-süllyedés) jelennek meg (31-32. mellékletek).

Ezzel szemben keleten a tengeri képződmények lényegében általános elterjedésű, és csak egyes aljzat-magaslatokról, illetve azok kisebb részterületeiről hiányzik, míg a kevésbé kiemelt Miskei-magaslatot vékony lepelként fedi (33. melléklet). Mindezek alapján a középső-miocén általános tengerelöntést itt csak a legmagasabb paleomorfológiai helyzetű, egykori szigeteket alkotó magaslatok (pl. Jánoshalmi-magaslat) kerülhettek el. Mivel a középső-miocén összlet a relatíve magasabb szerkezeti helyzetű részterületek felett is többnyire egységes vékony leplet alkot, lehetséges, hogy a jelenleg tapasztalható hiánya egyes magaslatokon, legalábbis részben, eróziós okokra vezethető vissza. A kutatási terület keleti részén — a Szentkirályi-magaslat kivételével — a középső-miocén sorozat egyértelműen túlterjedő módon települ az alsó-miocén összletre, ami — az alábbiakban tárgyalt elterjedési jellemzőkkel együtt — az alföldi részterület intenzívebb süllyedését jelzi a középső-miocén során.

Az alsó-miocén képződmények tetőtérképével (20. melléklet) való összevetésben az is jól felismerhető, hogy a középső-miocén sorozat ott is hiányzik, ahol a rétegtanilag alattuk települő idősebb miocén (jelentős részben vulkáni eredetű) képződmények morfológiailag magaslatokat alkotnak. Ilyen helyzet fordul elő a például a PAET-26 fúrástól délnyugatra húzódó, a Kapos-vonallal kb. párhuzamos helyzetű, néhány km szélességű sávban, vagy a Dunapataj K-81 jelű vízkutató fúrás környezetében is, amely esetekben az „alsó-miocén” összlet teteje mindössze pár száz méteres mélységben található (31, 32. mellékletek). Ez arra utal, hogy a kora-miocén során képződött vastag vulkáni és törmelékes sorozatok a középső-miocén során is paleo-magaslatokat alkottak, amelyeken nem történt üledékképződés. Az alsó-miocén képződmények kiemelt helyzetéhez e részterületen esetleg a kora-, illetve középső-miocén végi transzpresszív szerkezetalakulás is hozzájárulhatott (lásd 3.1.1.5.2. fejezet), jóllehet a rendelkezésre álló szeizmikus adatrendszerben ennek közvetlen bizonyítéka nem mutatható ki.

A tervezett telephely környezetében a középső-miocén összlet teteje a Dunaszentgyörgy-Harta vetőzónával és a Kapos-vonal keleti szegmensével párhuzamosan jól kivehető, 1–2 km szélességű, lineáris kiemelkedéseket („küszöböket”) alkot, melyek közül az északi küszöb kelet felé fokozatosan elhal, míg a déli a Szentkirályi-magaslathoz csatlakozik (19, 33. mellékletek). A szeizmikus szelvényeken e kiemelkedések enyhe boltozatokként jelentkeznek, amelyek szerkezeti értelmezését a 3.1.1.5.2. fejezet tartalmazza. E morfológiai elemek észlelhetők a megszerkesztett pannóniai geológiai horizontok térképein is (15, 16. és 18. mellékletek), ugyanakkor felfelé haladva egyre kevésbé markánsak.

A középső-miocén összlet vastagságtérképe (28. melléklet) meglehetősen változatos képet mutat, számos kisebb, többnyire nem túl jelentős süllyedéssel, amelyekben a felhalmozódott tengeri üledékek (változatos tengerparti, sekélytengeri, illetve nyíltvízi képződmények) vastagsága jellemzően 200 – 400 m közt változik. A süllyedékek közti területen jellemzően vékony lepelként (<100 – 150 m) települ az alsó-miocén összleten, illetve a prekainozoos aljzat különböző képződményein. A terület keleti részén található Keceli-árok és környezete a fentiek alól kivételt képez, mert e viszonylag jelentősebb, ÉÉNy–DDK-i irányított süllyedésben nagyvastagságú (>500 m) középső-miocén összlet képződött (34., 35. mellékletek), bár itt nem zárható ki az alsó-miocén képződmények esetleges jelenléte sem.

A kisebb-nagyobb süllyedések — helyenként ugyan némi térbeli eltolódással — többnyire követik a kora-miocénben kialakult fő üledékgyűjtő zónákat, bár legmélyebb zónáik azokénál általában kisebb kiterjedésűek. Erre kiváló példa a kutatási terület közepén húzódó Tengelic–Paks-, illetve Géderlaki-árok is, ahol a középső-miocén mélyzónák lényegesen kisebb kiterjedésűek és térben némileg el is térnek a kora-miocén fő mélyzónáktól. Sőt, e területen a tervezett telephely környezetében a középső-miocén összlet jelentősen ki is vékonyodik, ahogy azt a PAET–35 fúrás földtani adatai igazolják (32. melléklet).

A pannóniai összlet képződményei

A pannóniai képződményeket részleteiben a 3.1.1.1 fejezet ismerteti, míg ezek fejlődéstörténeti-ösföldrajzi viszonyait a 3.1.1.6 fejezet mutatja be. A pannóniai időszak elején az egész Pannon-medencére kiterjedő általános süllyedés következett be, amelynek egyik komponense termális eredetű [142][288][289], azaz atektonikus jellegű. E hatást jól tükrözi a pannóniai képződmények teljesen általános elterjedése a kutatási területen (18. Melléklet). A kutatási terület a pannóniai során a szomszédos alföldi és dunántúli mélyzónák (Kiskunhalasi-árok, Ozorai-árok) között elhelyezkedő, átmeneti jellegű területet alkotott, amelyet összességében mérsékelt süllyedés jellemez. Ezt jól jelzi a pannon összlet 1,5 km-t csak elvétve meghaladó vastagsága (27. melléklet). Ugyanakkor a szuperonálódott helyi tektonikus hatások (normál vetők) függvényében számottevő eltérések tapasztalhatók a süllyedés mértékében az egész medence területén, így a jelen kutatási területen is.

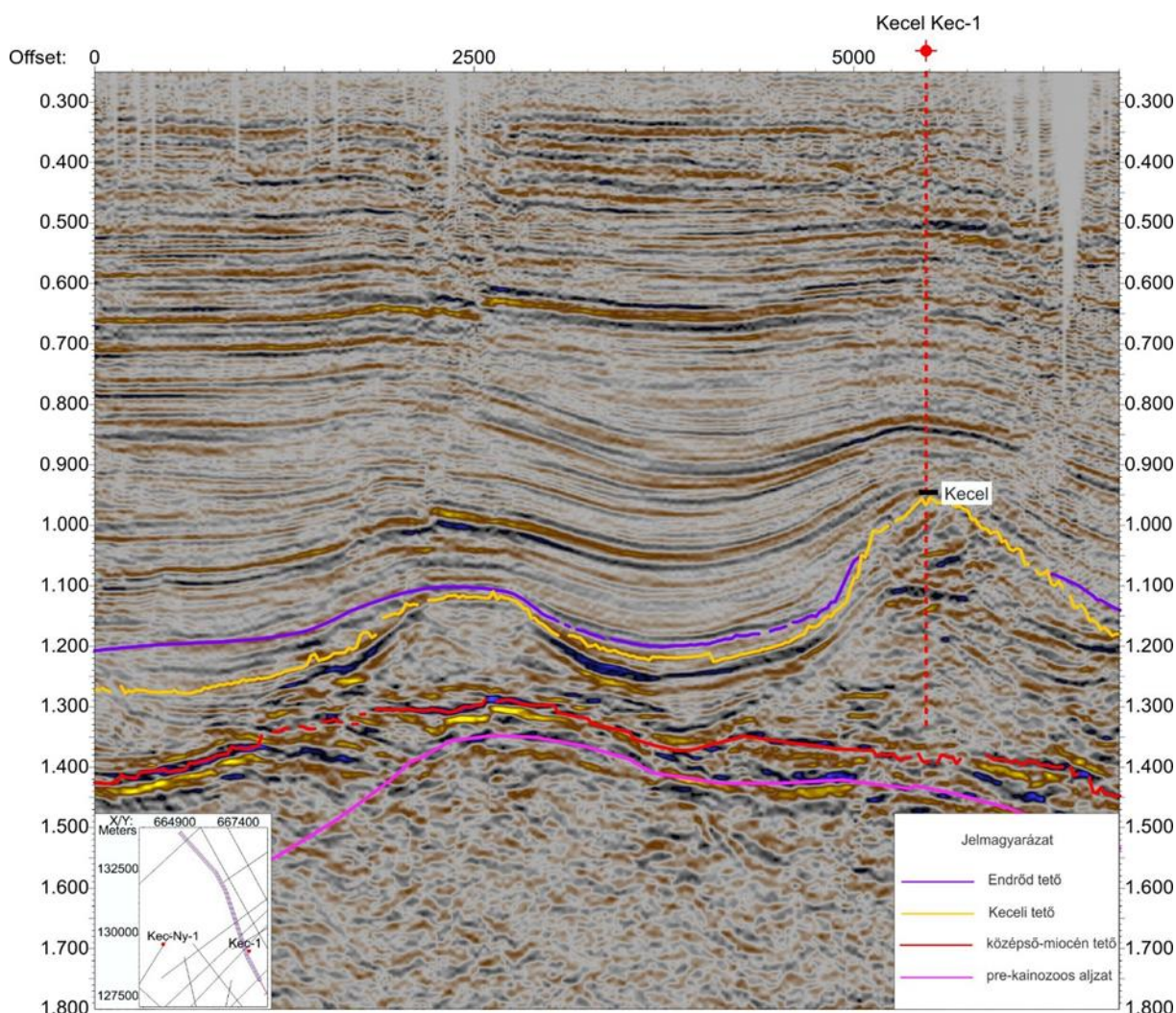
A pannóniai képződmények bázisának mélységtérképe (18. melléklet) az aljzat tetőtérképpel összevetve (21. melléklet) összességében meglehetősen hasonló képet mutat a meghatározó magaslatok és mélyzónák tekintetében, ugyanakkor lényegesen „kisimultabb” szerkezeti képet tükröz. A kevésbé tagolt szerkezeti kép alapvetően a miocén során végbement medence-feltöltés hatását jelzi. Ugyanakkor a főbb morfológiai és szerkezeti elemek tekintetében mutatkozó erős hasonlóság azt jelzi, hogy a pannon üledékciklus kezdetére jórészt azok a meghatározó magaslatok és mélyzónák „öröklődtek át”, amelyek korábban a miocén ciklus kezdetén is alapvető jelentőségű elemeket képeztek. Ehhez az „átöröklődéshez” a mélyzónákban és a kiemelt magaslatokon megőrződött idősebb képződmények differenciális kompakciója is minden bizonnyal hozzájárult.

A pannóniai képződmények bázisának mélységtérképén (18. melléklet) jól kirajzolódnak a pannóniai során aktívan süllyedő részterületek, melyek közül a legmarkánsabb nyugaton a Bonyhádi-süllyedék (különösen annak déli részmedencéje: „Bonyhádi-medence s.s.”) és az Ozorai-árok, míg keleten a Keceli- és a Borotai-süllyedék. A Bonyhádi-süllyedék déli részmedencéje különösen jó példa a feljebb említett lokális tektonika (bonyhádi vetőrendszer, l. 3.1.1.5.1 fejezet) által meghatározott süllyedésre. Ugyanakkor a Kapos-vonal szűkebb környezete, amely igen markáns süllyedésekkel (Tengelic–Paks-árok, illetve Géderlaki-árok) jelentkezik a pre-kainozoos aljzattető térképén, már nem képez igazán jelentékeny süllyedést mutató részterületet a pannóniai során.

A pannóniai üledékciklus bázisképződményét képviselő Endrődi Formáció tetejének (a 3D földtani modell 4. jelű földtani határfelülete; (lásd 3.1.1.2 fejezet 177. ábra 178. ábra) mélységtérképe (16. melléklet) hasonló jelleget mutat a középső-miocén képződményekéhez abban a tekintetben, hogy a kutatási terület keleti részén lényegesen nagyobb elterjedésű, mint a nyugatin. Ez utóbbi részterületen lényegében a Bonyhádi-süllyedékre korlátozódik az elterjedése. A középső-miocén képződmények tetőtérképével (19. melléklet) összevetve az is jól megfigyelhető, hogy ahol a fekűt alkotó miocén rétegek magas szerkezeti helyzetben vannak, vagy eleve hiányoznak (pl. Szentkirályi-magaslat és annak ÉK-i folytatása, Sükösd-

és Jánoshalmi-magaslat, Solt környéke) ott jellemzően az Endrődi Formáció is hiányzik, tehát a korábban már említett szerkezeti „átöröklődés” e viszonylatban is felismerhető. Az Endrődi Formáció csak az aktívan süllyedő részmedencékben (pl. Borotai-süllyedék, „Bonyhádi-medence s.s.”) jelentős vastagságú (200–400 méter), máshol ennél lényegesen vékonyabb, míg a viszonylag magas szerkezeti helyzetű részterületek felett vékony leplet alkot (néhány 10 m), vagy hiányzik (25. melléklet).

Az Endrődi Márga Formáció képződésével lényegében egyidejű bazaltos vulkanizmus terméke a Keceli Bazalt Formáció. E képződmény a kutatási terület keleti peremén, Kecel környékén, lokális elterjedésben (kb. 15x10 km-es területen; [378]) fordul elő. Az ide sorolt képződmények jellegzetes formájú vulkáni szerkezetként észlelhetők a rendelkezésre álló 2D szeizmikus szelvényeken (6. ábra), így a „Kecel-tető” azonosítása és követése, figyelembe véve a fúrási adatokat is, nem jelentett gondot. E lokális jelentőségű intra-pannoniai horizont megszerkesztett térképén (17. melléklet) egy nagyobb (kb. 5 km átmérőjű) vulkáni struktúra részlete azonosítható a kutatási terület keleti szegélyén, amelynek centrumában a vulkáni képződmények vastagsága közel 1 km (26. és 34. Mellékletek). A tágabb környezetben ennek a nagyobb vulkáni szerkezetnek a keleti szegmense, valamint néhány további kisebb (1–3 km átmérőjű) vulkáni szerkezet is felismerhető [378].



204. ábra Alsó-pannon vulkáni szerkezetek Kecel környékéről. Részlet a KU-93 szeizmikus szelvényből.

A 2D és 3D szeizmikus adatrendszerekben még jó minőségben leképzett, és így a regionális szeizmikus térképezés legmagasabb helyzetű geológiai horizontját a progradáló selflejtőt képviselő *Algyői Formáció* teteje alkotja (a 3D földtani modell 5. jelű földtani határfelülete; lásd 3.1.1.2 fejezet 177. ábra 178. ábra). Ez a képződmény az egész kutatási területen általános elterjedésű, és csak néhány, erősen kiemelt magaslat tetőzónájából (Tamási-, Németkéri- és Mórág-Szekszárdi-magaslat) hiányzik (15. melléklet). A pannóniai képződmények bázisának mélységtérképével (18. melléklet) összevetve jól megfigyelhető, hogy lényegében azzal közel identikus mintázatot mutat, ami egyértelműen jelzi a paleomorfológiai elemek meghatározó szerepét a kora-pannóniai üledékképződés során. Az Algyői formáció a legnagyobb, akár a 700 m-t is meghaladó vastagságot a kutatási terület délkeleti részén (Fajszi, Borotai- és Keceli-süllyedék), valamint a Bonyhádi-süllyedék déli részmedencéjében éri el (24., 31-34 mellékletek). A kutatási terület északi részén vastagsága a szerkezeti helyzet függvényében többnyire 50–300 m közt változik, és csak elvétve éri a 400 métert.

A pannóniai összlet legfiatalabb képződménycsoportját alkotó, delta- és alluviális síkság környezetben képződött Újfalui és Zagyvai Formációk a kutatási területen általános elterjedésűek, és meglehetősen változatos vastagságúak (23. melléklet). Az aljzatmagaslatok (l. 3.1.1.4.1. fejezet) felett együttes vastagságuk jellemzően nem haladja meg a 300-350 m-t, míg a legmarkánsabb süllyedékekben (pl. Keceli-süllyedék, Ozorai-árok, Bonyhádi-süllyedék déli részmedencéje) 700 m-t is meghaladó vastagságban halmozódtak fel. E képződmények felső határát markáns eróziós diszkordancia alkotja, amely felett változatos negyedidőszaki képződmények következnek.

A negyedidőszaki összlet képződményei

A kutatási terület negyedidőszaki képződményeinek elterjedési jellemzőit és vastagságviszonyait az elkészült mélység- és vastagságtérképek alapján kerülnek ismertetésre (14-22 mellékletek). Az alábbi elemzés a 3D földtani modell negyedidőszaki talp horizontja és annak részletezése céljából szerkesztett Tengelic Formáció és felső futóhomok szintek felhasználásával rétegtanilag alulról felfelé haladva mutatja be a főbb térképezett negyedidőszaki képződménycsoportok elterjedési és vastagságbeli sajátosságait.

A Tengelic Formáció képződményei (205. ábra) a területen a Duna jobb partján, valamint az északi területekre összpontosulnak. A formáció legnagyobb vastagságát a Közép-Magyarországi zóna peremén (135 m) éri el, de a Bonyhádi-süllyedék és a Tengelic-Paks árokban is vastagabb, mint 80 m. Legnagyobb térszíni magasságát a Németkéri magaslat északi része fölött éri el 130 m fölötti magassággal, a legkisebbet pedig a terület ÉK-i és DNY-i sarkában -60 m körül.

Az északi részt tekintve nagyjából a Duna mentén egy kisebb szakadás található a képződmény elterjedésének folytonosságában, mely a Duna eróziójának, valamint a korábbi fúrás átértékelések bizonytalanságának is betudható. A térkép északnyugati és délnyugati oldalán több kisebb folt látható, amelyekben nem található meg a Tengelic Formáció. Ezekben a foltokban legalább 1 olyan fúrás volt, amely az FKP eredményei vagy az átértékelés szerint nem harántolta ezt a képződményt. Például az ÉNy-i foltban található a PAET-5 fúrás, aminek a rétegsorából szintén hiányzik a formáció. Ezen a területen a kvarter vastagság térképen is látható, hogy a negyedidőszaki képződmények nagyon elvékonyodnak Simontornyától a Sió völgyében. A folttól északra elhelyezkedő nagy vastagságú Tengelic Formáció megléte arra enged következtetni, hogy a két területet elválasztó kiemelkedés a Közép-Magyarországi zóna közelében a pannóniai korszak után még megvolt.

Egyes területeken az elkülönített negyedidőszaki képződmények fekjétől több tíz méteres eltérések láthatók a talpmélység gridben, és a vastagsági szintvonalak is nekifutnak az elterjedési határnak. Ennek oka a középső-pleisztocénben valószínűleg felújult korábbi tektonikai zónák, vetők mozgása, melynek hatására a képződmény több helyen erodálódott. A pannóniai képződmények tetejéig futtatott vető nyomvonalak és a térkép együttes szemlélete felveti annak lehetőségét is, hogy a tektonikai mozgások és az erózió együttesen határozzák meg a Tengelic Formáció hiányát vagy meglétét a területen. Például valószínűsíthető, hogy a Bonyhádi süllyedék területén tektonikus árkokban, a Tengelic-Paks félárkokban történő megőrződést a Bonyhádi-törés és a Dunaszentgyörgy-Harta zóna és kapcsolódó törései által preformált mélyedések tették lehetővé (lásd még 3.1.1.6. fejezet). Ugyanakkor valószínűsíthető, hogy nem minden, a Tengelic Formáció által kitöltött süllyedék tektonikusan kontrollált.

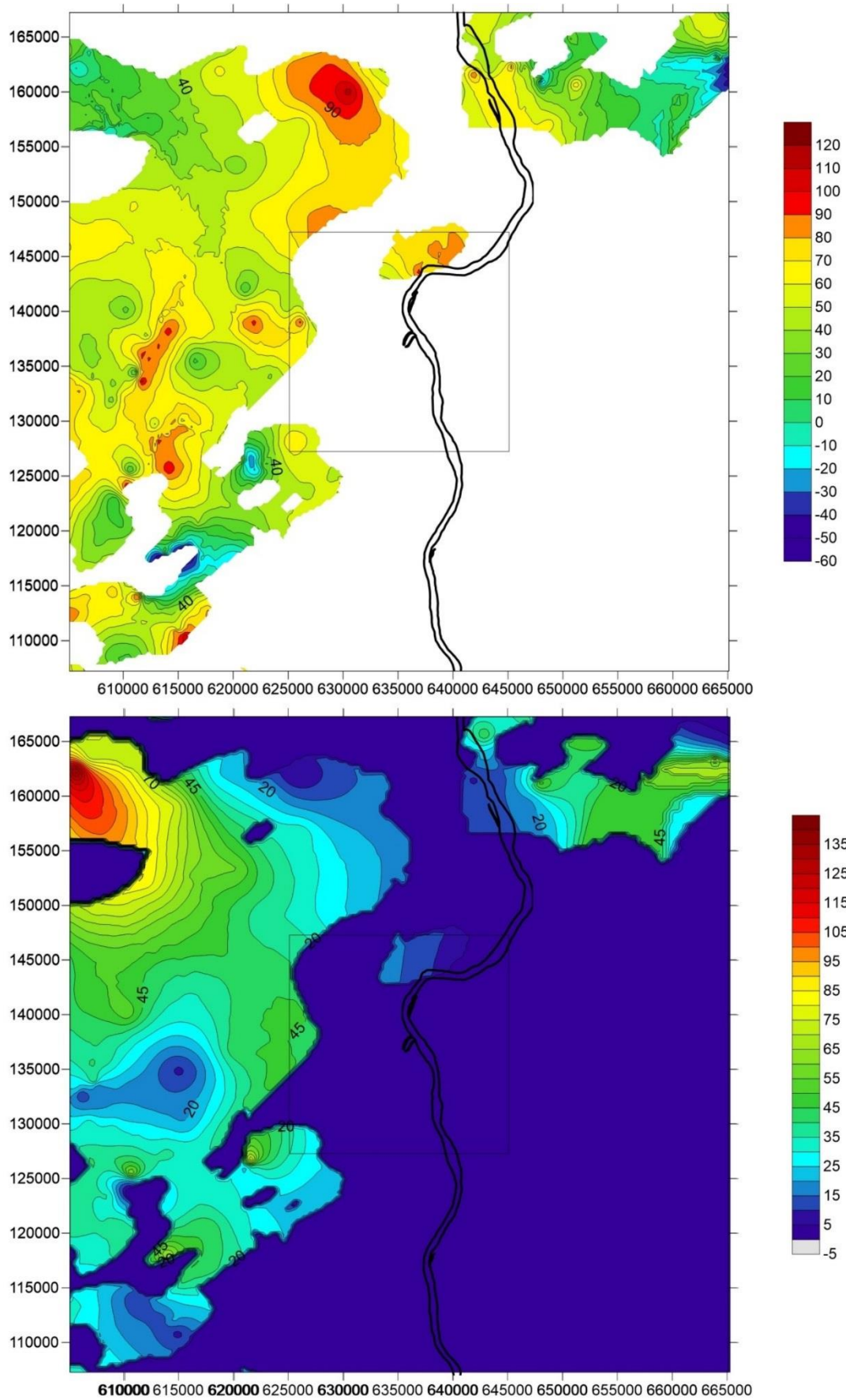
A Tengelic Formáció vastagságtérképét összevetve a negyedidőszaki talp adataival feltűnik, hogy a kutatási terület ÉNy-i része felé a vörösayagos, tarkaayagos málladék fokozatosan vastagodó takarót képez, kivéve a Sió–Kapos völgyben lévő üledékablakkal. A térkép DNy-i, szerkezetileg tagoltabb részén a Tengelic Formáció inkább a pannóniai felszín szerkezeti, morfológiai egyenetlenségeit tölti ki.

A legnagyobb adatmennyiséget (6. függelék) kvarter szinttérképek adattáblái) felölélő szint — ezáltal a legpontosabb — is a Tengelic képződményeknél fiatalabb negyedidőszaki képződmények fekje volt 206. ábra, 14. melléklet). A felület ellenőrzésére adatponti visszabecslés is készült mely eredménye során az 1329 pontból 1173 esetében kevesebb, mint fél méteres, de extrém esetekben is csak maximális 10 méteres hiba jelentkezett, de ilyen is csak 17 adatpont esetében.

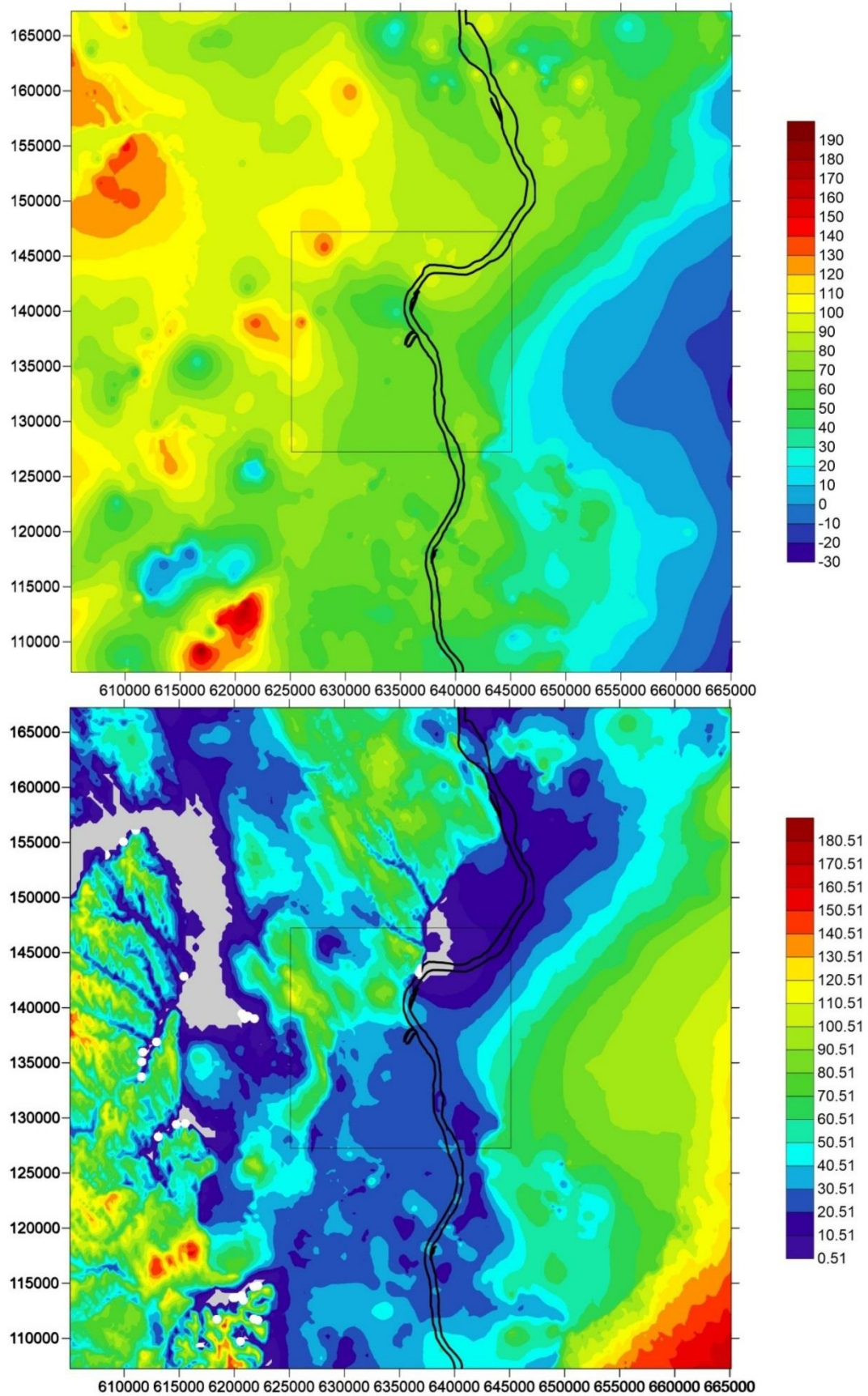
A legnagyobb térszín magasságot a löszplatók alatt éri el, 190-200 m mBf magassággal és a várakozásoknak megfelelően a Duna bal partja mentén KDK-i irányban süllyed az Alföld medencéje felé, a terület keleti oldalán -30 mBf-ig.

A vastagságtérkép hasonló tendenciát mutat azzal a különbséggel, hogy a nagyobb folyók völgy mentén (Duna, Sárvíz-Sió) helyenként vagy nagyobb, elnyúlt foltban a vastagság megközelíti vagy eléri a 0 m-t. A legnagyobb vastagság a terület DK-i sarkában mutatkozik 170-180 m közötti értékkel.

A negyedidőszaki talp- és vastagságtérkép általánosságban azt mutatja, hogy az enyhén tagolt domborzat fő elemei átöröklődtek, s relatív szintkülönbségei a mainál kisebbek, vagy ahhoz hasonlóak voltak.



205. ábra A Tengelic Formáció elterjedése és mélységtérképe (fent), valamint vastagsága (lent)



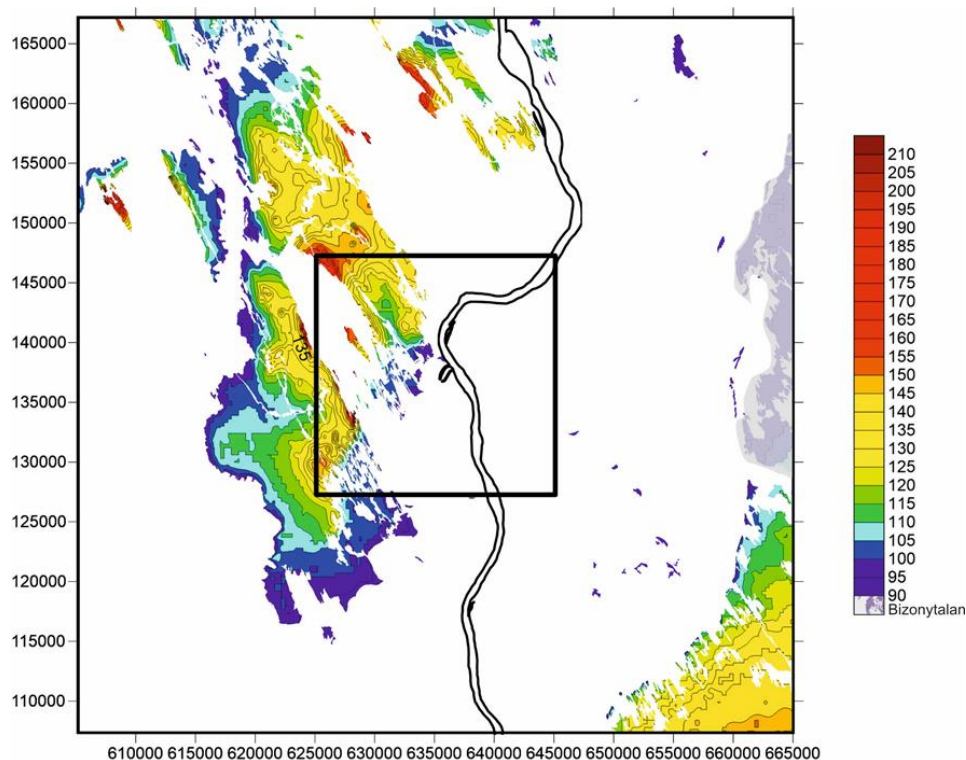
206. ábra A negyedidőszaki képződmények talpa (fent) és vastagsága (lent)

A talpfelület gradienséről elmondható, hogy KDK felé fokozatosan mélyül, viszonylag egyenletes, önmagában a felület lefutásából tektonika hatása nem lehet következtetni, de ez a modell 300x300 méteres felbontásából adódóan nem is lehetett elvárható. Ugyanakkor megfigyelhetők rajta lokálisan kiugró értékek, ezek jórészt az adatok egyenlőtlen eloszlása miatt jelentkeznek. De okozhatják őket kisebb paleo-folyók és a kisebb vastagságú helyeken recens vízmosások is, valamint könnyen azonosítható a Duna oldalazó eróziója is. A felület és a mai topográfia a pannóniai feltárások körvonalában metszi egymást. A pannóniai képződmények tető felületével pedig a pannóniai feltárásokon kívül a Sió–Kapos-völgyben, ill. a Sió-völgy középső szakaszán szinte érintkezik. Ezeken a helyeken feltűnő a negyedidőszaki folyóvízi képződmények kivékonyodása.

A vastagságtérkép mintázatán a jelenkori folyók is nyomot hagynak, mivel az általuk erodált negyedidőszaki üledék mennyisége a terület nagy részén nagyobb, mint az általuk lerakott folyóvízieké. A kvarter üledékek vastagsági elrendeződése, aljzatmorfológiája, ill. terepi és fúrási adatok, jelenségek alapján a jelenlegi völgyhálózat jelentősebb völgyeinek előképei mai nyomvonalukkal közel egyező pályán — enyhébb esésviszonyok mellett — nagy valószínűséggel a kora-pleisztocénben is megvoltak. A völgyekben települő negyedidőszaki üledékek vastagság-különbsége szerkezeti mozgásokra is utalhat.

A negyedidőszaki összleten belül a legfelső futóhomok szint talpa jelenti a legmagasab helyzetű térképi horizontot (207. ábra). A Duna jobb partján három, több részből összetett, de körülhatárolható futóhomok tömb rajzolódik ki ÉÉNy–DDK-i csapású lefutással. Közöttük vékony szélcsatornák húzódnak, amelyekben a futóhomoknak ez a szintje nem található meg. A szélcsatornák csapása nem korrelál a terület fiatal vetőmintájával, sem a területen folyó nagyobb vízfolyások irányával sem. Bennük kisebb patakot találunk.

A Duna bal partján a Kiskunság peremén DK felé egyre vastagodó homok összletet találunk. Itt megfelelő számú fúrásos adat hiányában a szint lefutása bizonytalan.



207. ábra A legfelső futóhomok szint talpa

3.1.1.5 A kutatási terület szerkezeti analízise

E fejezet célja egyrészt a kutatási terület meghatározó jelentőségű szerkezeti elemeinek ismertetése, másrészt a fő szerkezetalakulási szakaszok bemutatása. Ennek megfelelően az alábbi elemzés két részből épül fel: elsőként a 3D földtani-tektonikai modellbe integrált, főbb vetőrendszerek, majd a terület szerkezetalakulásának bemutatására kerül sor.

3.1.1.5.1 3D vetőrendszerek

Az alábbi fejezet a kutatási területen meghatározó szerepű, a 3D földtani-tektonikai modellbe integrált vetőrendszereket ismerteti. Az elemzés a legjelentősebb vetők/vetőzónák bemutatására összpontosít, és ezekhez kapcsolódva tekinti át a kisebb jelentőségű szerkezeti elemeket. A 3D földtani modellbe integrált, numerikus vetőmodellel rendelkező vetőket (41 db), valamint a szerkezetileg kisebb jelentőségű, térképezett vetőket az egyes horizont- és vastagságtérképek, valamint a reprezentatív földtani szelvények is ábrázolják (14-35. mellékletek). Ezekon a horizonttérképeken a vetők közül csak azok jelennek meg, amelyek az adott horizontot elmetszik, tehát az adott horizontnál mindenképp fiatalabb szerkezeti aktivitást jeleznek. Ez alól kivételt képeznek a negyedidőszaki képződmények talpát, illetve vastagságát mutató térképek (14., 22. mellékletek), amelyeken a horizontot elérő (/megközelítő) vetők kerültek megjelenítésre.

Azokat a vetőket, amelyek a rendelkezésre álló 2D és 3D szeizmikus adatrendszerekben regionálisan térképezett legmagasabb helyzetű földtani horizontot, az Algyő-tetőt (5 jelű horizont, vö. 3.1.1.2. fejezet) is átmetszik a továbbiakban neotektonikus vetőknek nevezzük. E vetők aktivitása az idősebb pannon képződményeket — és a kutatási tapasztalatok alapján többnyire a fiatalabbakat is — egyértelműen posztdataálja. Ezek a vetők tehát a rendelkezésre álló szeizmikus adatrendszerben a legfiatalabb szerkezetalakulás, az ún. neotektonikus szakasz (l. 3.1.1.5.2. fejezet) egyes elemeit képviselik, ezért ezeknek a jelentés kiemelt figyelmet szentel, különösképp a tervezett telephely szűkebb környezetében (l. 3.4.1. fejezet).

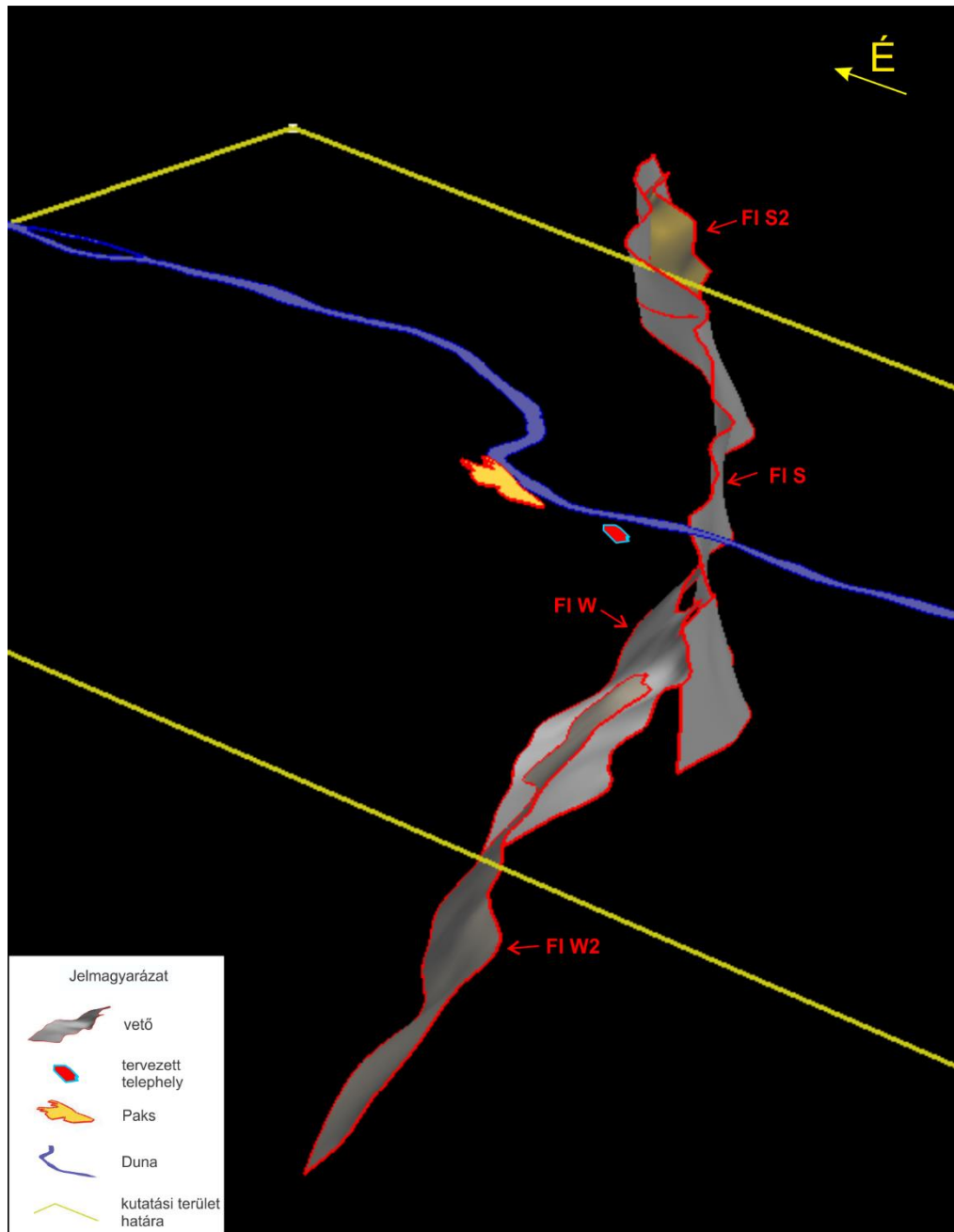
A kutatási terület meghatározó jelentőségű vetői közé az alábbiak tartoznak (199. ábra): Kapos-vonal, Bonyhádi-törés, a telephely alatt átmenő Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna, valamint a Mecsek-alja-zóna. Nagyszerkezeti jelentősége okán ide tartozik még a Tamási-vonal is, amelynek azonban csak egy rövid szegmensét foglalja magába a kutatási terület ÉNy-i sarka, így az FKP szempontjából nem képez elsőrendű fontosságú elemet. A fentiek mellett jelentős szerkezetnek minősíthetők még a Németkéri-magaslat déli és északi peremén húzódó vetők (F_Németkér_S, F_Németkér_N) és ezek ÉK-i folytatásába eső vetők, a Kapos-vonalat és a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzónát „átkötő” vető (F_IIA), valamint a Bonyhádi-medence bonyolult vetőrendszerének egyes elemei (F_XI_main, F_XIII és F_XVI; 1.182. ábra). Ezekon felül megemlítendő még a Miske körül megjelenő vetőrendszer egyes tagjai (F_Miske_D, F_Miske_D_d), bár ezek jelentősége a többihez képest mindenképpen alárendelt. A továbbiakban a főbb vetőket és a kapcsolódó kisebb jelentőségű törések területi csoportosításban kerül ismertetésre.

A „Kapos-vonal” és attól délre található vetőrendszerek

A Kapos-vonal a pre-kainozoos aljzat markáns, KÉK–NyDNy-i csapású szerkezeti eleme, amely csapás mentén a kutatási területen közel 80 km hosszan, látszólag folyamatosan követhető (21. melléklet). Az elvégzett térképezés eredményei alapján a vonal helyzete ugyan meglehetősen jól egybeesik HAAS [122] aljzattérképén jelölt pozícióval, azonban fontos rámutatni, hogy a medencét kitöltő neogén összletben e vetőzóna valójában egy nyugati és

egy keleti, egyaránt több kisebb vetőszegmensből felépülő szakaszra bontható (208. ábra), amelyek mind dőlésirányban, mind neotektonikus aktivitásban markánsan különböznek. Ebben az értelemben tehát nem beszélhetünk egyetlen, egységes szerkezeti képet mutató vetőzónáról. A vonal nyugati szakasza É-i dőléssel a kutatási terület nyugati peremétől kb. Dunaszentgyörgyig húzódik, s a legkeletibb részétől eltekintve nem mutat neotektonikus aktivitást (vö. 14., 15., 31. mellékletek). Ezzel szemben a D-i dőlésű keleti szakasz igen markáns neotektonikus aktivitást mutat, amely szerkezeti jelleg kelet felé az Alföldön is jól követhető (vö. [276] [63] [352]). A jelzett dőlésviszonyokból adódóan a nyugati és a keleti vetőszakaszok sátoztetőszerűen érintkeznek az átfedő zónában az erőműtől D-re (208. ábra). Az említett két vetőszakasztól északra és délre egyaránt markáns süllyedékek találhatók (199. ábra és 31-35. mellékletek), ami mindenképp jelentős normál komponensű elmozdulást jelez e vetők neogén működése során. A Kapos-vonal keleti szakaszához dél felől kis szöggel hajló, meredeken ÉÉNy felé dőlő F_I_R_SW jelű vető a szeizmikus szelvények tanúsága szerint ugyancsak markáns neotektonikus aktivitást mutat. Figyelembe véve jellegzetes irányítottságát is ez a vető a Kapos-vonalhoz csatlakozó, „nagyléptékű” Riedel-segédtrésként is értelmezhető a neotektonikus szerkezetalakulás során (l. 33., 34. mellékletek). Hasonlóképp értelmezhető az észak felől csatlakozó, meredek DK-i dőlésű F_IAS jelű vető, amely egyben a Szentkirályi-magaslat délkeleti határát alkotja.

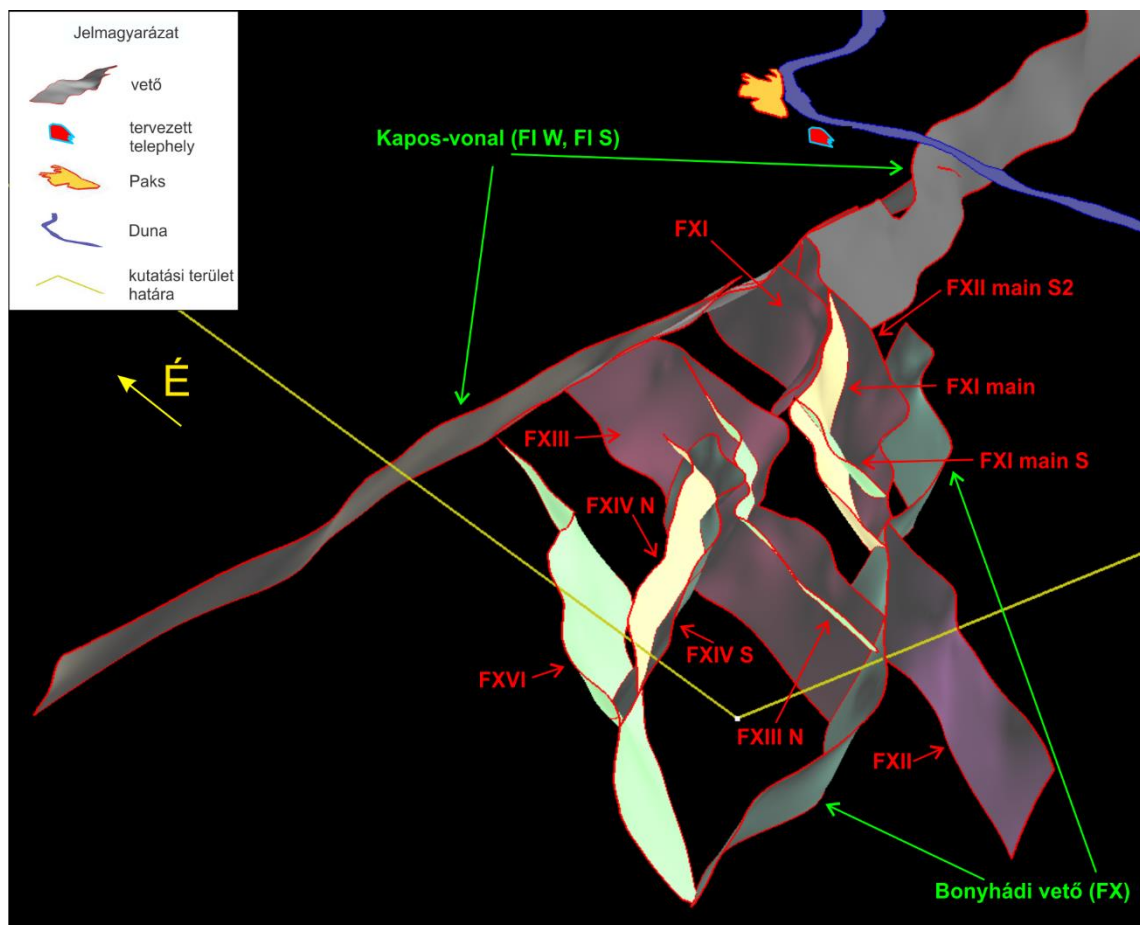
A kutatási terület délnyugati részén a kb. ÉK–DNy-i csapású, meredeken ÉNy felé dőlő **Bonyhádi-törés** képezi a legfontosabb szerkezeti elemet, amely a Bonyhádi-medence DK-i peremtörését és egyben a Mórág–Szekszárdi-magaslat északi határát alkotja. E markáns neotektonikus aktivitást mutató (vö. 14., 15., 31. mellékletek) törés a vizsgált területtől délnyugatra a Mecsek Északi Pikkelyzónájába, míg északkeleten feltételezhetően a Kapos-vonalba csatlakozik be a Tolnai-magaslaton, bár ezutóbbi kapcsolat egyértelműen nem állapítható meg a rendelkezésre álló szeizmikus szelvényeken. Ehhez a szerkezeti elemhez szorosan kapcsolódik néhány további, kisebb jelentőségű törés (F_XI_main, F_XI_main_S, F_XI_main_S2, illetve dél felől F_XII), amelyek együttesen egy kb. 3,5 km szélességű, tipikus „virágszerkezetű” eltolódásos zónát alkotnak, amely mentén a Bonyhádi-medence déli részén nagymértékű süllyedés ment végbe a középső- és késő-miocén során. A Paks 3D szeizmikus adatombban a Bonyhádi-törés csapás mentén nagyjából a PAET–27 fúrás környezetéig követhető, amelyben az alsó-júra képződmények („foltosmárga”) az alsó-miocén Szászvári Formáció felett éles szerkezeti kontaktussal jelennek meg. Ez igen hasonló a Mecsek Északi Pikkelyzónájából ismert szerkezeti jellegekhez, és egyben arra is utal, hogy a középső- és késő-miocén extenziós/transzteniós jellegű tektonikai rezsimeket (l. 3.1.1.5.2. fejezet) megelőzően e vetőzóna mentén transzpresszív(/kompresszív?) mozgások történtek. A Bonyhádi-törést az elmúlt három évtizedben publikált aljzattérképek ([122] [84] [57]) egyáltalán nem, illetve pontatlanul ábrázolták, így e vető azonosítása és lefutásának meghatározása a vetőtérképezés egyik legfontosabb — a Bouguer-anomália térképpel is jó összhangban lévő — eredményét jelenti.



208. ábra Kapos-vonal”meghatározó vetőinek perspektivikus nézete DNy felől. A vetőzóna két ellentétes dőlésirányú (nyugaton északi, keleten déli) vetőszakaszból épül fel, amelyek sátorszerűen érintkeznek az átfedő szakaszon. A perspektivikus nézet miatt az ábra méretaránya változó. Paks város és a PAE közti távolság kb.5,5 km

A Bonyhádi-medencerendszer középső és északi részén jelentősebb szerkezeti elemek még az ÉÉK–DDNy-i csapású és ÉNy-i dőlésű F_XIII jelű, és az ÉK–DNy-i csapású és DK-i dőlésű F_XVI jelű vetők (31. melléklet). E főbb elemekhez ugyancsak több, kisebb jelentőségű kiegészítő törés csatlakozik (F_XIII_N, F_XIV_N, F_XIV_S), amelyekkel együtt e vetők is szélesebb, „virágszerkezetű”, eltolódásos zónákként értelmezhetők a neotektonikus fejlődési szakasz során (209. ábra). Mindezek a markáns neotektonikus aktivitást mutató zónák kinematikailag feltehetőleg egy rendszert alkottak a medence előbb bemutatott, elsődrendű DK-i peremtörésrendszerével a neotektonikai szerkezetalakulás során. A Bonyhádi-medence ÉNy-i részén a tárgyaltakon kívül megjelenik néhány, csak rövidtávra követhető, kb.

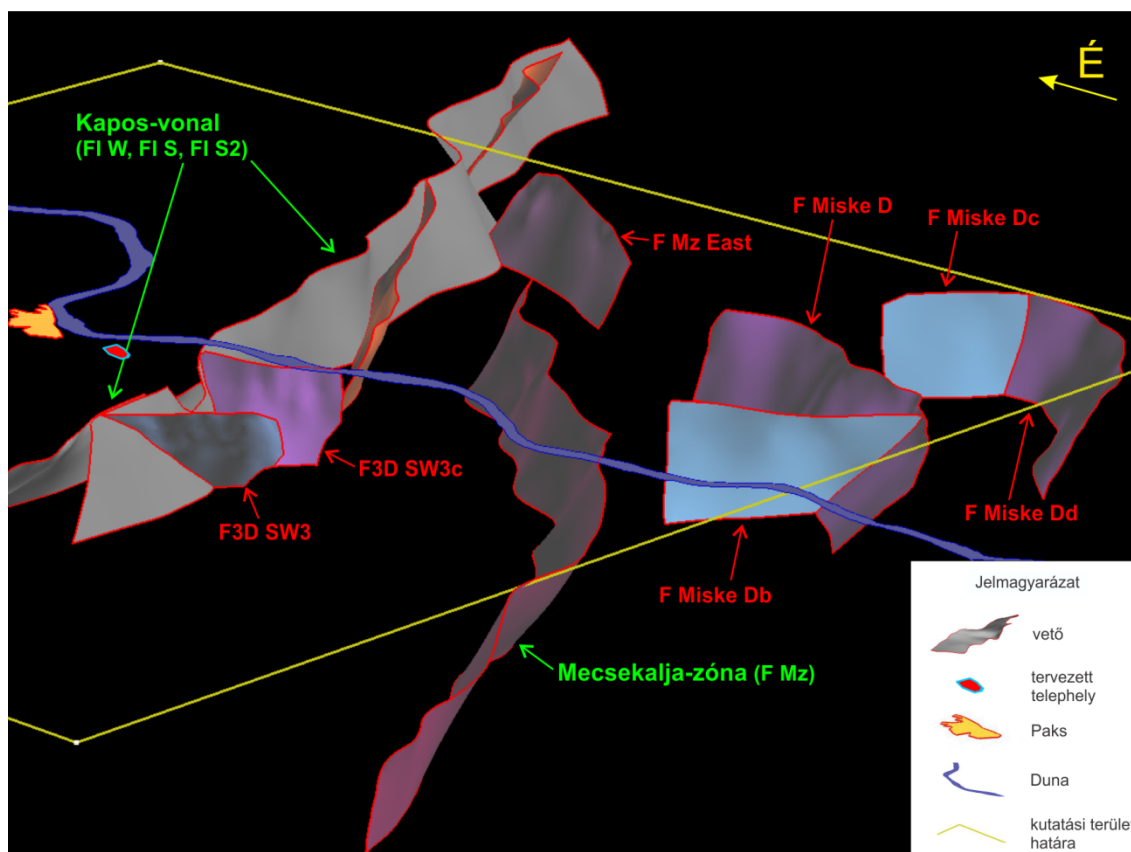
ÉNY–DK-i csapású vető is. Ezek javarészt kívül esnek a kutatási területen, így — tekintettel a projekt szempontjából is alárendelt jelentőségükre — nem képezik a 3D modell részét.



209. ábra A Bonyhádi-medence komplex „virágszerkezetet” alkotó 3D vetőrendszereinek perspektivikus nézete DNy felől. A perspektivikus nézet miatt az ábra méretaránya változó. Paks város és a PAE közti távolság kb.5,5 km

A Bonyhádi-töréstől délre a terület regionális léptékben is kiemelkedő jelentőségű tektonikus zónája a (K)ÉK–(Ny)DNy-i csapású és ÉNy-i dőlésű **Mecsekalja-öv** (210. ábra, és 32., 33 mellékletek). E zóna harántolja a Mórág–Szekszárdi-magaslatot, majd a Fajszárókban, illetve a Miskei-magaslat É-i peremén halad. Tovább északkelet felé egy igen hasonló irányítottságú és dőlésű, de közvetlenül mégsem korrelálható vető (F_Mz_East, 210. ábra) azonosítható a Keceli-árok északi részén, amely feltehetően a Mecsekalja-öv egy kisebb jelentőségű, kiegészítő törését alkotja. A Mecsekalja-öv nyugati részét csak néhány, egymástól jelentős távolságra haladó 2D szeizmikus szelvény harántolja, így ezen a részterületen a vetőkorreláció során jelentős mértékben lett támaszkodva a különböző geofizikai adatrendszerre (Bouguer-anomália és a mágneses anomália térkép), illetve a vonatkozó releváns földtani adatok is figyelembe lettek véve ([122] [84] [57]). Bár ez a tektonikus zóna alapvető (K)ÉK–(Ny)DNy-i irányítottságában a különböző térképek lényegében megegyeznek, ugyanakkor az öv pontos helyzetének kijelölésében már mutatkoznak eltérések a meghatározónak tekintett adatrendszer függvényében. A 3D földtani modell szerint ez a szerkezeti elem csapás mentén összességében határozott neotektonikus aktivitást tükröz, kivételt ez alól az öv legnyugatibb, a szeizmikus anyagon meglehetősen rosszul leképezett része jelenthet.

A Mecsekalja-övtől délkeletre elhelyezkedő Miskei-, Sükösd- és Jánoshalmi-magaslatokat egyrészt (K)ÉK–(Ny)DNy-i, másrészt (É)ÉNY–(D)DK-i irányítottaságú, regionális léptékben azonban alárendelt jelentőségű vetők (F_Miske_D vetőrendszer; 1 32, 33 mellékletek) választják el a szomszédos Borotai- és Fajsz-i-süllyedékektől. Ezek a vetők változó intenzitású neotektonikus aktivitást tükröznek. További kisebb jelentőségű (É)ÉNY–(D)DK-i csapású vetők (F_3D_SW_3 jelű vetőcsoport) azonosítása történt meg újonnan a Mecsekalja-zóna és Kapos-vonal közötti területen a Paks 3D szeizmikus adattömb déli részén (210. ábra). Ezek a markáns neotektonikus aktivitást mutató, de kisebb jelentőségű vetőzónák jellegzetes „virágszerkezetet” tükröznek, ami eltolódásos jellegükre utal. Észak felé a Kapos-vonal keleti szegmenséhez csatlakoznak.

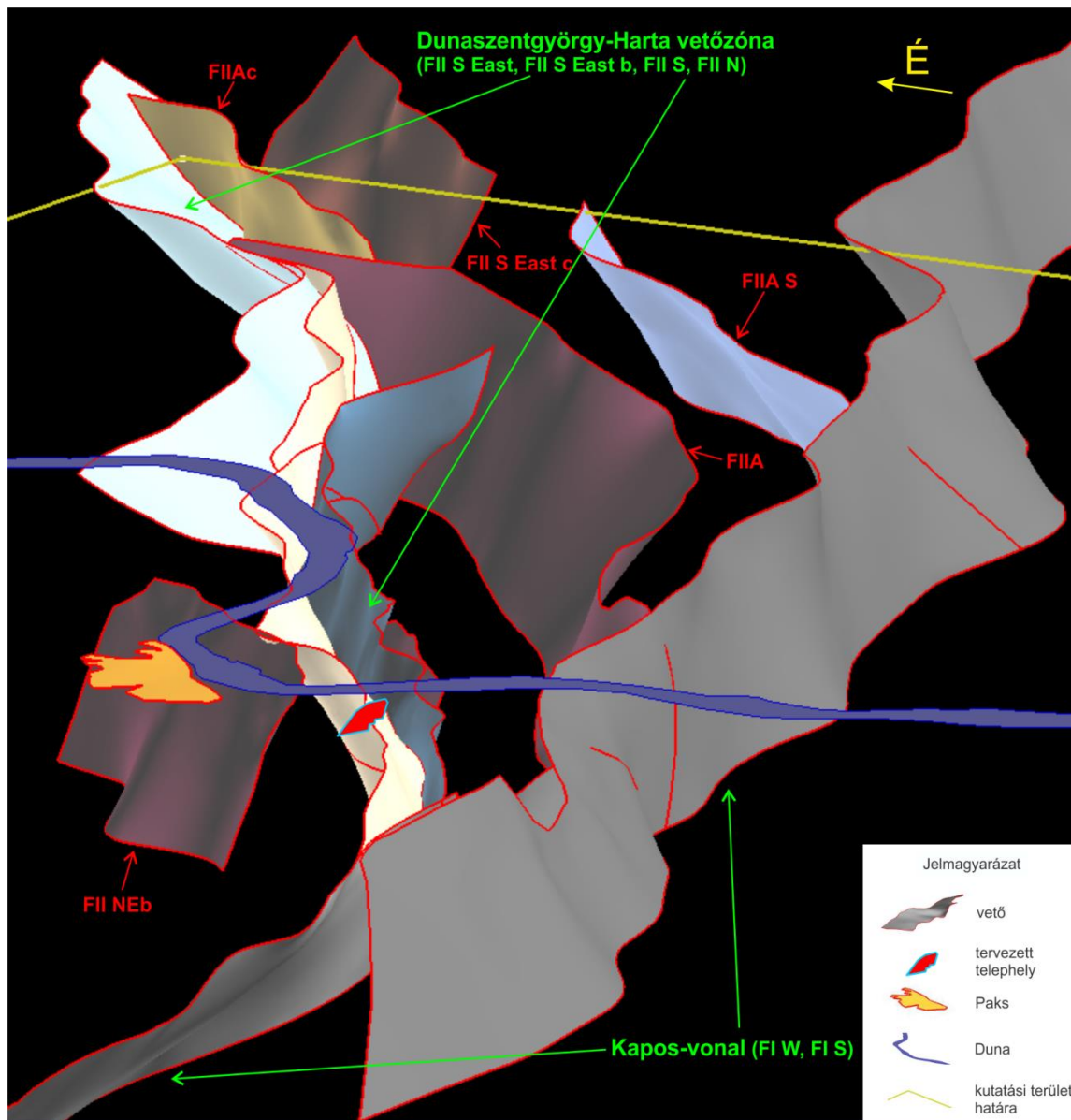


210. ábra A Kapos-vonaltól délkeletre eső terület 3D vetőrendszereinek perspektivikus nézete DNy felől. A perspektivikus nézet miatt az ábra méretaránya változó. Paks város és a PAE közti távolság kb.5,5 km

Vetőrendszerek a Kapos-vonaltól északra

A Kapos-vonaltól északra elsőként a kutatás szempontjából kiemelkedő fontosságú **Dunaszentgyörgy–Harta vetőzónát** tárgyalása következik, amely a Kapos-vonaltól Dunaszentgyörgynél ágazik ki északkeleti irányba, és az erőmű alatt, illetve annak déli előterében fut tovább Dunaszentbenedek–Géderlak–Ordas települések alatt Harta irányába (211. ábra, 32-34 mellékletek). Hartától keletre több ágra szakadva (F_II_S_East, F_II_S_East_b, F_II_S_East_c) és gyenge irányváltással halad tovább északkeletre Fülöpszállás felé. A rendelkezésre álló szeizmikus adatrendszerek alapján nyilvánvalóvá vált, hogy ezt a szerkezeti elemet nem lehet egyetlen vetővel reprezentálni, ezért a vetőtérképezés során a vetőzóna északi és déli markáns peremtöréseinek korrelálása megtörtént (F_II_N, F_II_S), messzemenően figyelembe véve a projekt keretében mért nagyfelbontású 2D P-hullám reflexiós szeizmikus szelvények (PA-20 – PA-28, 1. [175]) adatrendszerét is. A két

peremtörés a mélység felé közös, közel függőleges helyzetű gyökérben „olvad össze” klasszikus „virágszerkezetet” formálva, amely geometria a vetőzóna eltolódásos jellegét jelzi. Ez a geometria nyomozható a Hartától keletre megjelenő vetőágak (F_II_S_East, F_II_S_East_b, F_II_S_East_c) esetében is.

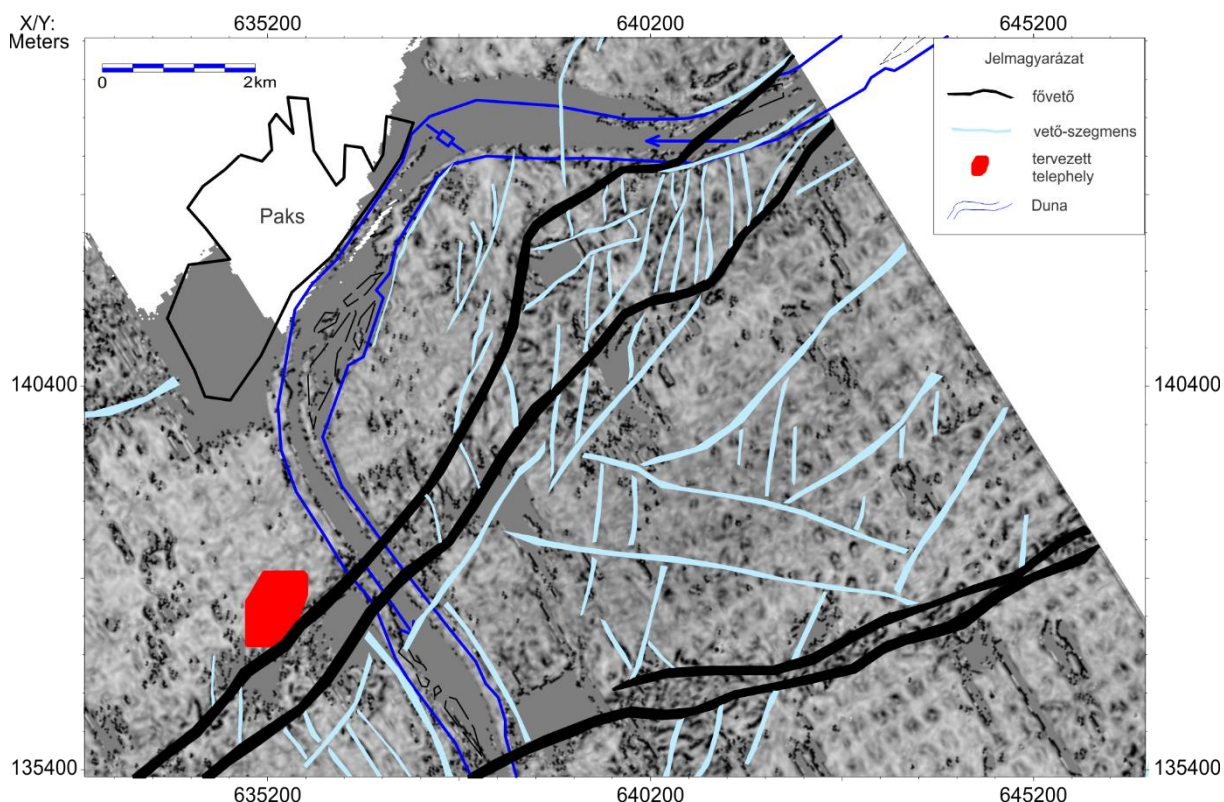


211. ábra Az erőmű alatt áthaladó Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna és csatlakozó vetőrendszereinek 3D perspektivikus nézete DNy felől

A perspektivikus nézet miatt az ábra méretaránya változó. Paks város és a PAE közti távolság kb.5,5 km

Csapás mentén a peremvetők több-kevesebb hajladozással követhetők, amelynek következtében a zóna szélessége is változik, ennek mértéke a tervezett telephely körzetében 1 km körüli. A hajladozás abból ered, hogy a deformációt csapás mentén egymástól kisebb-nagyobb mértékben eltérő orientációjú, egyedi törések „veszik fel”, és ezek összessége rajzolja ki az „eredő” vetőzónát. Az erőmű alatt áthaladó ÉK–DNy-i csapású Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna a Kapos-vonal keleti szakaszával együtt a kutatási terület legintenzívebb neotektonikus aktivitást mutató szerkezeti zónáit képviselik.

A zónához északról és délről is kisebb, a fő deformációs övvel közel párhuzamos, illetve ahhoz kis szöggel hajló törés is csatlakozik ÉNy-i dőléssel (F_II_NE_b, F_II_S_b) (211. ábra, 34. melléklet). Ezek a fő vetőzóna kiegészítő Riedel-töréseiként értelmezhetők (l. még. 3.4.1. fejezet), melyek azonosítására és korrelációjára a Paks 3D szeizmikus adattömb nyújtott lehetőséget. A zóna belső szerkezetének és a közvetlen környezetében található töréseknek a fentieknél jóval finomabb skálájú azonosítására soha nem látott részletességgel kerülhetett sor a Paks 3D szeizmikus adataiból számított koherencia-tömb adott időhorizontnál készített metszeteinek felhasználásával (212. ábra). Az ábrán jól felismerhető a tervezett telephely alatt áthaladó vetőzóna bonyolult belső szerkezete és a kísérő törések komplex hálózata, amelyek mintázata az egyes időhorizontokon fel-, illetve lefelé „lépkedve” is változik az egyes törések geometriai adottságainak függvényében. A koherencia-metszeten az is megfigyelhető, hogy még a kisebb vetőszegmensek is többnyire további, „elemi” vetőkből épülnek fel.

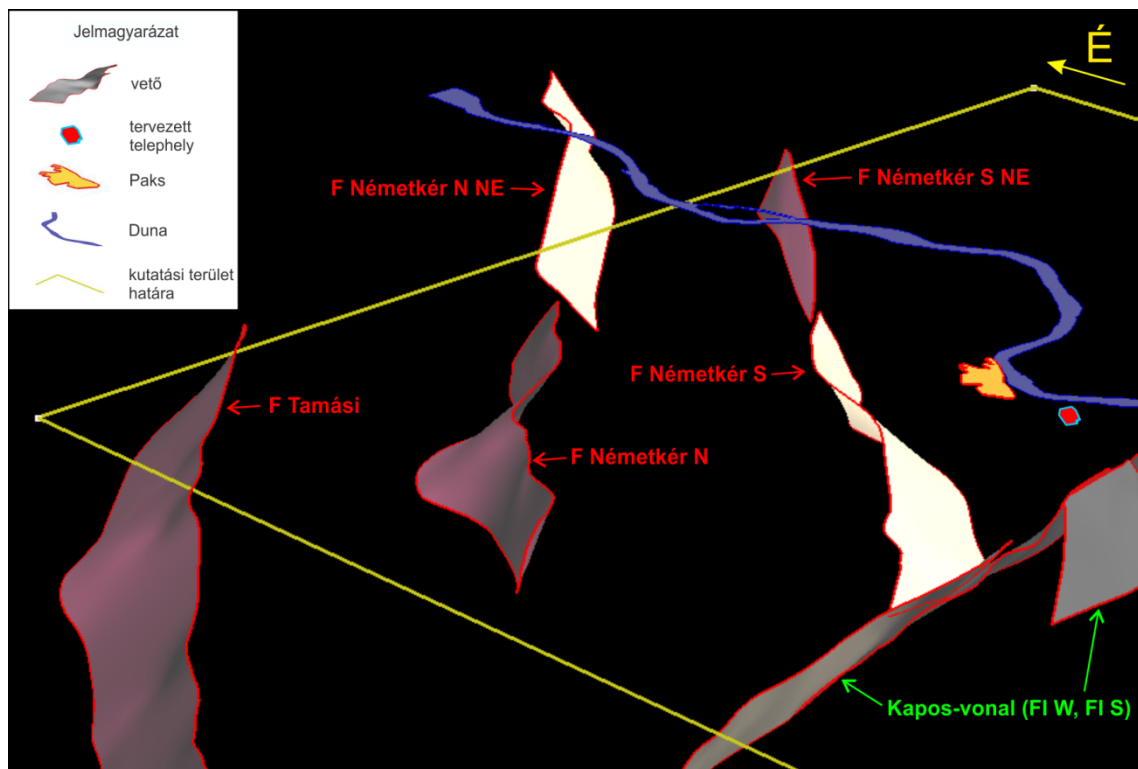


212. ábra A Paks 3D szeizmikus adataiból számított koherencia-tömb 420 ms időhorizontnál vett metszetének részlete az értelmezett vetőszegmensekkel.

A Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna és a Kapos vonal között egyfajta „átkötő” elemet képvisel az ÉÉNy-i dőlésű F_IIA jelű vető (211. ábra, 34. melléklet), amely — szemben a másik kettővel — csak kisebb szegmensekben mutat neotektonikus aktivitást. Ez a vető a Szentkirályi-magaslatot (K)ÉK–(Ny)DNy-i irányban szeli ketté, majd északkeleten a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna keleti folytatásába csatlakozik be. A vető a szomszédos elemekhez viszonyítva laposabb dőlésű (kb. 60-65°).

A Németkéri-magaslatot délről, illetve északról határoló F_Németkér_S és F_Németkér_N jelű vetők (1. 213. ábra, 32., 33. melléklet) a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzónával kb. párhuzamos helyzetűek, de annál határozottan laposabb dőlésűek. A DK-i dőlésű F_Németkér_S jelű vető csapás mentén délnyugati irányban a Kapos-vonal nyugati szakaszához csatlakozik, míg ÉK felé egy igen meredek ÉNy-i dőlésű, de vele közvetlenül

nem korrelálható vető (F_Németkér_S_NE) nyomozható a 2D szeizmikus szelvényeken. Hasonló a helyzet az F_Németkér_N jelű vető északkeleti csapás menti kapcsolatával, ahol szintén egy ellentétes dőlésirányú, közvetlenül semmiképp sem korrelálható vető (F_Németkér_N_NE) azonosítható a szeizmikus adatrendszerben. Az F_Németkér_N vető DNy-i folytatása a szeizmikus lefedettség hiánya miatt bizonytalan. A neogén során mindkét vető mentén számottevő normál komponensű elmozdulás ment végbe. Mérsékelt intenzitású neotektonikus aktivitás főként a vetők keleti szegmensében jelentkezik.



213. ábra A Németkéri-magaslat peremvetőinek perspektivikus nézete DNy felől

A perspektivikus nézet miatt az ábra méretaránya változó. Paks város és a PAE közti távolság kb.5,5 km

Az aljzattérképen [122] az F_Németkér_S vetővel identikusnak tekinthető szerkezeti vonal helyzete északkeleten viszonylag jól közelíti a vető ténylegesen megállapított helyzetét, míg délnyugat felé fokozatosan növekvő eltérés mutatkozik a vetőtérképezés eredményei alapján. Az F_Németkér_N vető helyzete összességében viszonylag jó egyezést mutat az aljzattérképen a vajtai fúrásoktól északra ábrázolt szerkezeti vonallal. Az F_Németkér_S vető déli szomszédságában húzódó Tengelic-Paks süllyedékben felhalmozódott igen vastag alsó-miocén vulkáni sorozat (l. 3.1.1.4.2. fejezet) észak felé túlterjed a vetőn, amint azt a közeli Nagydorognál mélyült K-12 vízkutató fúrás rétegsora is igazolja.

A kutatási terület északnyugati sarkában az ÉK-DNy-i csapású, ÉNy-i dőlésű **Tamási-vonal** egy rövid szegmense látható (32. melléklet). E vető a Közép-magyarországi Szerkezeti Zóna déli peremtörését — egyben a Tiszai-egység északi határát is [122] — alkotja, amelytől északra ismeretlen aljzatú mélyzóna (Ozorai-árok) húzódik. A Tamási-vető mentén a miocén szerkezetalakulás során igen jelentős normál komponensű elmozdulás ment végbe. Ezen felül teljes hosszában markáns neotektonikai aktivitást is mutat.

Összefoglalás

A kutatási terület kiemelkedő jelentőségű szerkezeti eleme a pre-kainozoos aljzatban csapás mentén közel 80 km hosszán követhető, KÉK–NyDNy-i irányítottágú Kapos-vonal. Ezen meghatározó elem egy északi dőlésű nyugati és egy déli dőlésű keleti vetőszakaszra bontható, amelyek az átfedő zónában egymással sátozottszerűen érintkeznek. Míg a vonal keleti szegmense igen markáns neotektonikai aktivitást mutat, addig a nyugati szakasz neotektonikusan lényegében inaktív a kutatási területen.

A kutatási terület szerkezeti képében összességében uralkodóak a kb. ÉK–DNy-i irányú, túlnyomó többségükben meglehetősen meredek dőlésű (70–90°) vetőrendszerek, amelyek a 3D modellbe integrált geológiai horizontok térképein jól észlelhetők, és egyben a főbb aljzatmorfológiai elemek határait képezik. Az uralkodó ÉK–DNy-i vetőirányhoz kisebb számban és jelentőségben ugyancsak meredek dőlésű, ÉÉK–DDNy-i, illetve É(É)Ny–D(D)K-i csapású vetők társulnak.

A térképezett vetők túlnyomó része neotektonikai aktivitást mutat, bár ennek intenzitásában jelentős különbségek figyelhetők meg. A pre-kainozoos aljzat, a pannon-fekü, illetve az Algyő-tető horizonttérképein kirajzolódó vetőmintázatok és a hozzájuk kapcsolódó vastagságanomáliák erős hasonlósága azt jelzi, hogy a pannon rétegsort harántoló vetők dominánsan a korábban (kora- és középső-miocénben) keletkezett, az aljzatot is deformáló vetők felújulásával jöttek létre. Ugyanakkor ezek a vetők csapás mentén nem feltétlenül teljes kiterjedésükben, hanem csak egyes szakaszaikon újulnak fel (l. Kapos-vonal). Figyelembe véve a pre-kainozoos aljzat tágabb környezetben észlelhető jellegzetes regionális ÉK–DNy-i szerkezeti irányítottágát feltételezhető, hogy a kutatási területen észlelt uralkodó ÉK–DNy-i vetőirány jelentős részben a pre-kainozoos aljzat hasonló irányítottágú, de részleteiben még ismeretlen vetődéseit és/vagy szerkezeti pásztáit követi.

A meghatározó szerepű ÉK–DNy-i vetők közül az FKP szempontjából kiemelkedik a Kapos-vonaltól Dunaszentgyörgynél északkeleti irányba kiágazó és a tervezett telephely alatt, illetve annak déli előterében elhaladó Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna. E tektonikus zóna a Kapos-vonal keleti szakaszával együtt a kutatási terület legintenzívebb neotektonikus aktivitást mutató szerkezeti elemei. Tipikus „virágszerkezetet” és jellegzetes másodlagos törésrendszert mutató belső struktúrájuk alapján eltolódásnak minősíthetők a terület szerkezetalakulásának legfiatalabb, neotektonikus szakaszában. Szerkezeti jellegeiben ehhez igen hasonló a Bonyhádi-medence DK-i peremén húzódó mestervető (Bonyhádi-törés) és hozzá csatlakozó vetőrendszer, amely DNy felé a Mecsek Északi Pikkelyzónájának deformációs övéhez csatlakozik.

3.1.1.5.2 Szerkezetalakulás

Az alábbi elemzés a kutatási terület szerkezetalakulását mutatja be. A terület földtani fejlődéstörténete négy alapvető jelentőségű szakaszra bontható, amelyeken belül nyolc jelentősebb deformációs fázis különíthető el. A szerkezetalakulás eseményeinek összefoglaló áttekintését a 214. ábra segíti elő.

Fejlődéstörténeti szakasz	Deformációs esemény kora	Deformációs esemény	Paleo-feszültségtér valószínűsített orientációja	Jellege	Kapcsolódó fejlődéstörténeti esemény(ek)
Pre-miocén	<i>Késő kora-karbon (variszkuszi)</i>	D ₁		Kompressziós (/transzpressziós?)	Közepes-fokú regionális metamorfózis, gyűrődés, takarósodás(?) DK-i vergenciával
	<i>Késő kora-kréta (eoalpi)</i>	D ₂		Kompressziós	ÉNy-i vergenciájú feltolódások és pikkelyeződés, gyűrődés, takaróképződés
Kora- és középső-miocén	<i>Eggenburgi-ottnangi</i>	D ₃		Transztenziós/eltolódásos	ÉK-DNy-i és K-Ny-i süllyedékek és balos eltolódások, vulkanizmus
	<i>Kora-kárpáti(?)</i>	D ₄	?	Transzpressziós/kompressziós(?)	Alsó-miocén sorozat eltolódásos/feltolódásos deformációja
	<i>Kárpáti-szarmata</i>	D ₅		Transztenziós (/tenziós?)	Általános süllyedés, többnyire a kora-miocén vetők mentén
	<i>Késő-szarmata/ kora-pannon</i>	D ₆		Transzpressziós	Miocén süllyedékek lokális inverziója, kisebb gyűrődések, feltolódások kialakulása
Késő-miocén ("pannon")	<i>Késő-miocén -pliocén</i>	D ₇		Transztenziós (/tenziós)	Általános poszt-rift süllyedés, pull-apart jellegű süllyedékek eltolódásos zónákhoz kapcsolódóan
Neotektonikai	<i>Pliocén -kvarter</i>	D ₈		Eltolódásos	Regionális medence inverzió, balos eltolódásos zónák kialakulása

214. ábra A kutatási terület szerkezetalakulásának áttekintése. A feszültségtér-irányok feltüntetése a jelenlegi koordináták szerint történt.

Pre-miocén szakasz

A kutatási terület pre-kainozoos szerkezetalakulásáról csak igen kevés közvetlen információ áll rendelkezésre, amelyek az FKP keretében lemélyült és korábbi szénhidrogén-, illetve szerkezetkutató fúrásokból származnak. Két meghatározó jelentőségű orogén eseményt azonban feltétlenül ki kell emelni, mert alapvetően ezek alakították ki az aljzat pre-tercier mélyföldtani felépítését:

A kutatási terület és tágabb környezetének legidősebb kristályos kőzetei a variszkuszi orogenezis meghatározó, takaróképződéssel kísért, középső-karbon fázisához kapcsolódnak, melynek során Barrow-típusú, amfibolit-fáciesű metamorfózis eredményeként főként csillámpalák és gneiszek képződtek kb. 334 millió éve (l. 3.1.1.1. fejezet). A metamorfózishoz intenzív, többfázisú képlékeny deformáció (gyűrődés, milonitosodás) kapcsolódott, amint azt a PAET-26 és -34 fúrások szerkezeti vizsgálatának eredményei mutatják az alaphegységi képződményekben (l. 3.1.1.1. fejezet). A fúrómagokon észlelt alapvető fontosságú szerkezeti elemek (metamorfitok palássága és főbb közethatár-felületei) térbeli helyzetének összképe mai koordináták szerint (É)ÉK–(D)DNy-i irányítottságot tükröz. Az ezt követő késő-karbon exhumáció (kb. 320–310 millió évvel ezelőtt; [189]) eredményeként e kőzetek a kéreg sekélyebb régiójába, majd a felszínre kerültek.

A kristályos kőzetek másik fő csoportját variszkuszi granitoidok alkotják, melyek képződésére szintén a középső-karbonban (mintegy 340 millió évvel ezelőtt; [169]) került sor mai orientáció szerint ÉNy–DK-i irányú összenyomással jellemezhető feszültségtérben. A benyomulást követő kiemelkedés és hűlés során ugyancsak ÉNy–DK-i irányú összenyomással jellemezhető kompresszív feszültségtérben zöldpala fáciesű metamorfózist szenvedtek [156] [211].

Az alpi ciklus során nagykiterjedésű üledékgyűjtő jött létre a Neotethys kialakulásával, melyben a perm–kora-triász során nagyvastagságú sziliciklasztos, majd a mezozoikum következő időszakában egyre inkább karbonátos üledékek halmozódtak fel, amelyekhez a kora-krétában riftesedéshez kapcsolódó bázisos magmatitok is társultak. Ez a rétegsor a kora-kréta végi orogenezis során (eoalpi fázis) intenzív deformációt szenvedett (pl. [376] [375] [246] [247] [374] amely gyűrődéssel/pikkelyeződéssel, illetve a tágabb környezetben takaróképződéssel járt együtt (D2). E szerkezetek irányítottsága jellemzően ugyancsak ÉK–DNy-i a kutatási területen és tágabb környezetében (vö. pl. [122]).

Megállapítható tehát, hogy mind variszkuszi (D1), mind az eoalpi (kréta; D2) orogén események jelentős, ÉK–DNy-i irányítottságú kompresszív szerkezeteket hoztak létre a kutatási terület pre-kainozoos aljzatában (214. ábra).

Kora- és középső-miocén szakasz

A **kora-miocén** elejére morfológiailag erősen tagolt aljzattopográfia alakult ki mai koordináták szerint főként KÉK–NyDNy, kisebb részt erre kb. merőleges, (É)ÉNy–(D)DK-i irányítottságú süllyedékekkel (l. 3.1.1.4.2. fejezet). A létrejött szerkezetek irányítottságát a már jelenlévő variszkuszi/kréta aljzatszerkezetek számottevően befolyásolhatták, erre utal például a Kapos-vonaltól északra található aljzatmorfológiai elemek markáns ÉK–DNy-i elrendeződése (21. melléklet).

A nagymélységű süllyedésekben az 1 km-t is jócskán meghaladó vastagságú, változatos kifejlődésű vulkáni és üledékes kőzeteket tartalmazó kontinentális összlet képződött (részletekért l. 3.1.1.1. fejezet). A létrejött főbb süllyedések és a térképezett vetők (l. 3.1.1.5.1 fejezet) kapcsolatát tekintve összességében megállapítható, hogy a jelentősebb süllyedések peremén húzódó vetők mentén (pl. Kapos-vonal, a Németkéri-magaslatot délről, illetve északról szegélyező vetők, Tamási-vonal, a Miske környéki vetőrendszer elemei) jelentős normál komponensű elvetés történt a kora-miocén során. Tehát az említett vetők normál vetőként, vagy jelentős normál komponensű ferde eltolódásként működtek (D3), valószínűleg transztenziós jellegű feszültségtérben (214. ábra). Mindez jól illeszkedik a Mecsekben és környezetében végzett korábbi neogén feszültségtér elemzések eredményeihez (áttekintésüket l. [54] [17]. E vizsgálatok alapján az eggenburgi–kora-kárpáti időintervallumban kb. ÉNy–DK-i extenzióval és rá merőleges kompresszióval jellemezhető feszültségtér volt az uralkodó, amelyben kb. K–Ny-i csapású balos eltolódások jöttek létre [128], K–Ny-i és ÉK–DNy-i irányítottágú süllyedések kialakulásával kísérve.

A kora-miocén szerkezetalakulás másik fontos eseményéről a PAET–27 fúrásban harántolt inverz helyzetű rétegsor ad információt. A fúrásban a több mint 300 m vastagságban harántolt mezozoos képződmények alatt, éles szerkezeti kontaktussal, az alsó-miocén Szászvári Formáció jelenik meg. A szeizmikus szelvények tanúsága szerint ez a deformáció a középső-miocén képződményeket már nem érinti, azok a mezozoos aljzatképződmények felett normál üledékes kontaktussal települnek. Ebből következően a fenti deformáció (D4; 214. ábra) a kora-miocén végén ment végbe. A szeizmikus szelvényeken helyenként megfigyelhető szögdiszkordancia az alsó- és középső-miocén képződmények határán (2. jelű geológiai horizont, l. 3.1.1.2.1. fejezet) ugyancsak e szerkezetalakulási esemény jelentőségére hívja fel a figyelmet. Ugyanakkor egyelőre nem világos ezen esemény lokális, illetve regionális jellege, továbbá szerkezeti stílusa (kompresszív/transzpresszív?) sem.

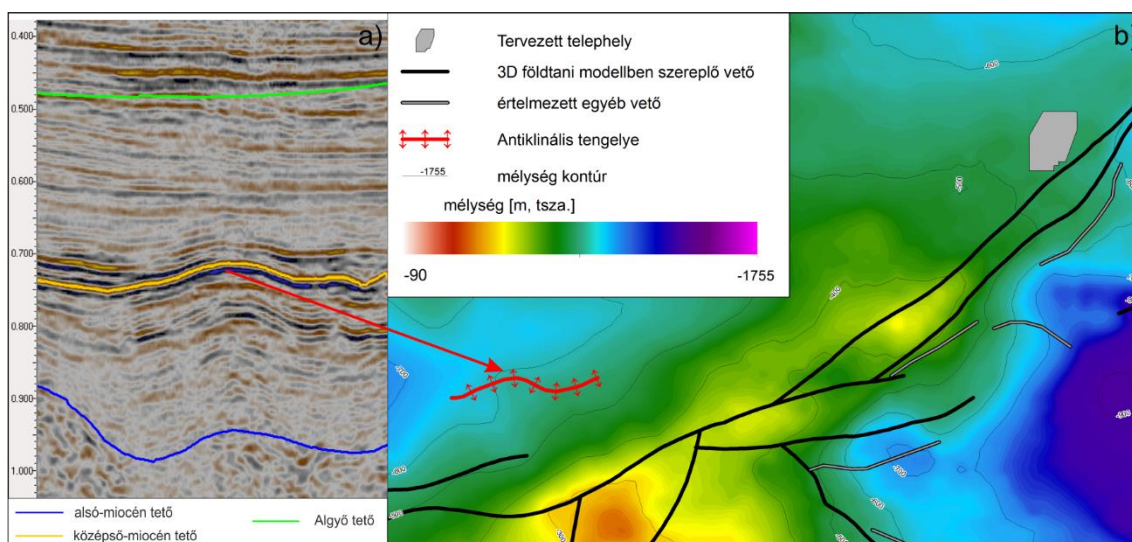
A kutatási területtől (észak)nyugatra a Közép-magyarországi öv területéről CSONTOS [55] szeizmikus szelvények elemzése alapján kora-miocén transzpresszió során létrejött ÉK–DNy-i és K–Ny-i csapású feltolódásokat, és ezekre merőleges ÉNy–DK-i normál vetők azonosítása történt meg, amelyek létrejöttét az ALCAPA és Tisza-egység egymáshoz viszonyított ellentétes elfordulásához köthették. Lehetséges, hogy a PAET–27 fúrásban megismert inverz szerkezeti helyzet regionális kontextusban ezen eseményhez kapcsolható.

A kora-miocén szerkezetalakulás kapcsán végül érdemes még megemlíteni, hogy az alp-kárpáti régióban a késő-oligocén–kora miocén szerkezetalakulás kiemelkedő jelentőségű eseményét jelenti a Tisza- és az ALCAPA-egység határzónájában (Közép-Magyarországi Szerkezeti Zóna) végbement regionális jobbos nyírás (pl. [19] [81] [79] [293]), amely esemény azonban — a jelenleg rendelkezésre álló adatok alapján — közvetlenül nem vizsgálható a területen.

A **középső-miocén** transzgresszió során az alsó-miocén teresztrikus és vulkáni képződményekre változatos partközeli és nyíltvízi tengeri üledékek települtek. A középső-miocén süllyedések többé-kevésbé követni látszanak a kora-miocénben kialakult fő üledékgyűjtő zónákat (l. még 3.1.1.4.2 fejezet), míg a Pannon-medence más területein oly elterjedt, K(ÉK)–Ny(DNy)-i extenzió során kialakult markáns (fél)árok szerkezetek itt kevésbé jellemzőek. Szerkezeti szempontból ez arra utal, hogy a kutatási területen a középső-miocén során végbement, összességében nem túl jelentős mérvű süllyedés (vö. 3.1.1.4.2. fejezet) főként a kora-miocénben létrejött, és részben a meglévő aljzati struktúrák által kontrollált vetők mentén történt. A kutatási terület tágabb környezetében a késő-kárpátitól a szarmata végéig transztenziós jellegű, kb. É–D-i kompresszióval és rá merőleges extenzióval

jellemezhető feszültségtér uralkodott [54] [17]. Ebben a feszültségtérben az ÉK–DNy-i csapású vetők balos, illetve normál vetőként, míg a ritkább ÉÉNy–DDK-i csapású vetők normál, illetve jobbos normál kinematikával működtek (D5; 214. ábra).

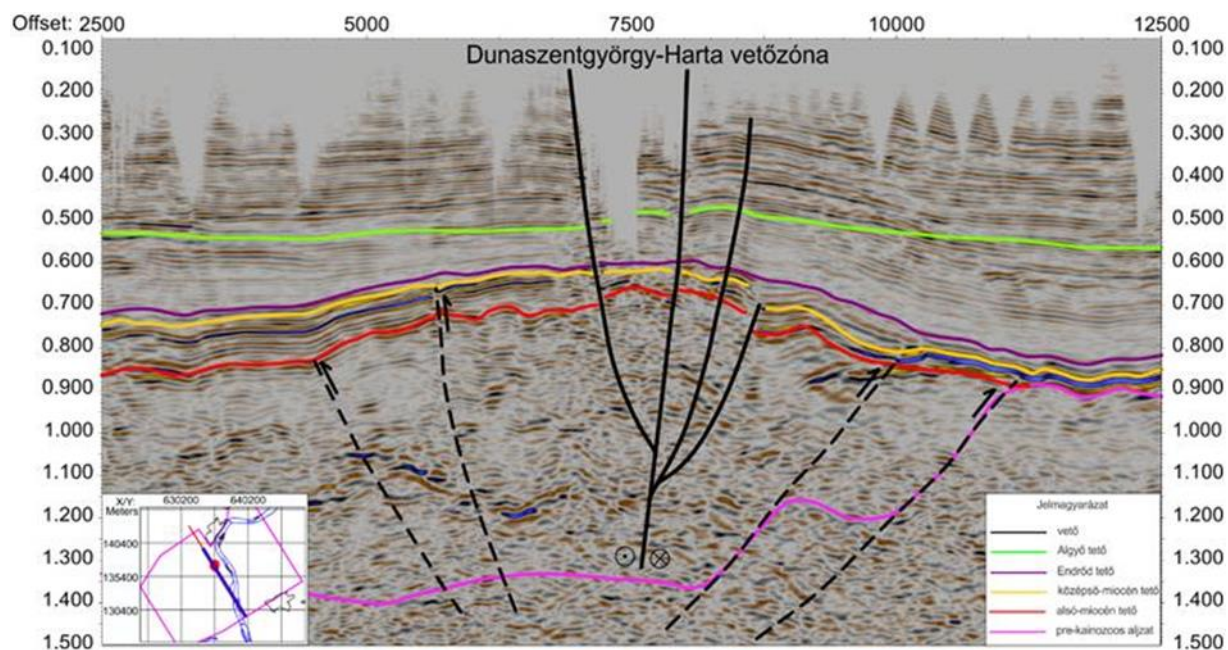
A középső-miocén szerkezetalakulást a szarmata végén és a pannon legelején végbement, regionális léptékben is jelentős inverziós esemény zárja le, amelynek nyomai a kutatási területen is fellelhetők (l. még [15]). Ennek során É–D-i kompresszióval és rá merőleges extenzióval jellemezhető transzpresszív feszültségtérben kisebb gyűrődések és feltolódások keletkeztek (D6; 214. ábra), valamint nagy területeken jelentős rétegtani hiány alakult ki (pl. Paks–4a és –4c jelű fúrások). A Tengelic Te–1 és Te–2 fúrások térségében néhány 2D szeizmikus szelvényen és a Paks 3D szeizmikus adattömbben KÉK–NyDNy-i tengelyű, kb. 3 km hosszan követhető enyhe redőződés azonosítható a miocén és legalsó pannóniai rétegekben a Kapos-vonal közelében (215. ábra). Az észlelt redők a szeizmikus szelvények alapján vető-kapcsolt redőkként értelmezhetők, ahol a vetők a mélység felé feltehetően a Kapos-vonal nyugati szegmensének ÉNy-i dőlésű fővetőjébe csatlakoznak be. Ezt az értelmezést támasztja alá, hogy a térképezhető redőtengely lefutása egyrészt párhuzamos a Kapos-vonallal, másrészt követni látszik az annak lefutásában mutatkozó enyhe hajladozást is.



215. ábra (a) Miocén és legalsó pannon rétegek enyhe redőződése az XPAK-4 szelvényen és (b) a szeizmikus szelvényeken azonosított redő tengelyének (piros vonal) helyzete a középső-miocén tetejének térképrészletén

A tervezett telephely környezetében a Paks 3D adattömb inline (ÉÉNy–DDK-i) irányú szelvényein megfigyelhető szeizmikus kép ugyancsak a vastag miocén sorozat inverziójával értelmezhető, hiszen a miocén összlet teteje (19. melléklet) — a felette települő pannon összlet alsó részével együtt — egy kisebb lapos boltozatot formál (216. ábra, 32. melléklet), amelynek tengelye a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzónával párhuzamos. Az inverzió azonban nem közvetlenül a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzónához köthető, hanem annál lényegesen szélesebb zónát érint, amelyet a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna jellemzően transzpresszív jelleggel felülbélyegez (pl. Pa-21 szelvény, [175]). Az invertált miocén árok peremvetői, melyek a pannonba már nem hatolnak fel, azonban csak bizonytalanul vehetők ki a boltozat peremi zónáiban. Kelet felé haladva a boltozat „kettéhasad” a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna menti markáns, a pannon során végbement, normál értelmű elmozdulás következtében (D7). Ez két önálló, egymással hegyes szöveget bezáró, pozitív morfológiai elem (boltozat) megjelenéséhez vezet a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna, illetve a Kapos-vonal mentén (19, 33. mellékletek). A délebbi boltozatot a Kapos-vonal ugyancsak markáns normál

értelmű elmozdulással határolja annak déli peremén. A reflexiós szeizmikus kép alapján („virágszerkezet”) ugyanakkor számottevő eltolódásos komponens is feltételezhető e vetők mentén. A két fő vetőzóna igen markáns neotektonikai aktivitása alapján valószínű, hogy az eltolódásos mozgás javarészt a normál vetődés után történt.



216. ábra Boltozatot formáló, invertált miocén összlet, amelyet a neotektonikus fázisban a Dunaszentgyörgy-Harta vetőzóna eltolódásos jelleggel deformál.

Részlet a Paks 3D inline 540 szelvényéből a kutatási terület középső részén

Késő-miocén–pliocén szakasz

A szarmata végétől a Pannon-medence kapcsolata a világtengerekkel megszűnt, és létrejött a fokozatosan kiédesedő Pannon-tó, amelyet a tóba ÉNy, illetve ÉK felől beömlő folyók által szállított üledékek töltöttek fel. A késő-miocén–pliocén során intenzív, termikus eredetű általános süllyedés ment végbe (l. még 3.1.1.4.2. fejezet), amelyre helyről helyre változó mértékű tektonikus eredetű süllyedés szuperponálódott. E fejlődési szakaszban összességében transzteniós jellegű feszültségtér jellemző kb. ÉNy–DK-i tágulással és erre merőleges összenyomással [81] [54] [17]. E feszültségrezsimben a σ_1 és σ_2 főfeszültségek valószínűleg közel álltak egymáshoz, s időben fel is cserélődhetnek (feszültségtér permutáció), ami tenziós és transzteniós jellegű feszültségterek váltakozását idézhette elő. Ennek megfelelően az uralkodó ÉK–DNy-i csapású vetők normál, illetve balos normál kinematikával működtek (D7; 214. ábra).

A pannon horizontok vastagságtérképein (23-27. mellékletek) jól kirajzolódnak a pannon során legintenzívebben süllyedő részterületek (l. még 3.1.1.4.2. fejezet), amelyeket jelentős részben markáns vető(zóná)k határolnak. Ilyen például a kutatási terület nyugati részén a Bonyhádi-süllyedék délkeleti részmedencéje és az Ozorai-árok. Ezekon kívül néhány lokális jelentőségű, ovális alakú pannon süllyedék is jól felismerhető, például a Szentkirályi-magaslat északi, délkeleti és nyugati környezetében, illetve a tervezett telephely közvetlen keleti szomszédságában is. E jellegzetes szilvamag alakú kicsiny süllyedékek és a Bonyhádi-süllyedék délkeleti részmedencéje is egyértelműen a terület legjelentősebb vetőrendszereihez kapcsolódnak (Bonyhádi-törés, Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna és annak keleti folytatása,

illetve Kapos-vonal). Mindezek figyelembevételével e süllyedékek szerkezetileg kisebb „pull-apart” jellegű medencékként értelmezhetők.

Ezt követően a feszültségtér egyre inkább eltolódásos jellegűvé vált, (D8; 214. ábra), amely stádium azonban már a neotektonikus szerkezetalakulási szakaszba tartozik. E szakaszt azonban — tekintettel az FKP szempontjából kiemelkedő jelentőségére — a későbbiekben (1. 3.4.1. fejezet) önállóan tárgyaljuk más neotektonikus jelenségekkel együtt.

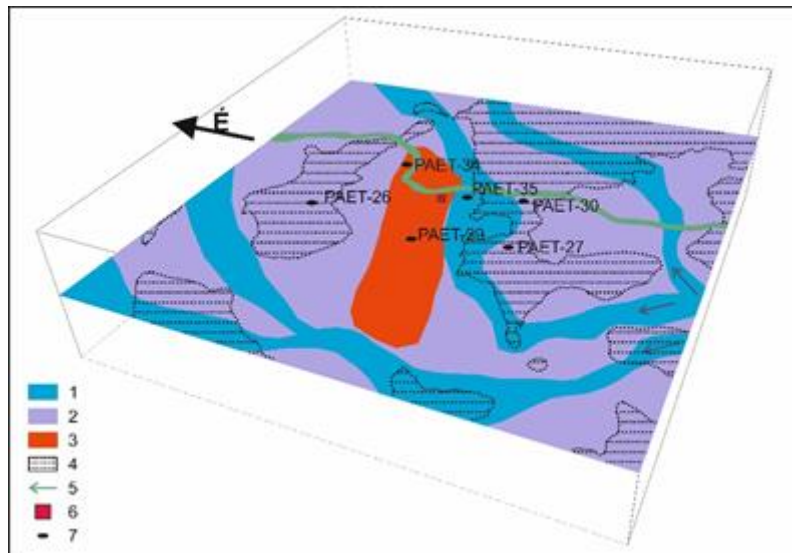
3.1.1.6 Fejlődéstörténeti rekonstrukció és ősföldrajzi viszonyok

3.1.1.6.1 Miocén fejlődéstörténet

A kréta időszak és a miocén közötti hosszú szakaszra vonatkozóan üledékképződésre utaló nyomok nincsenek a területen. Ekkor a jelentős szerkezeti átrendeződéshez nagymértékű lepusztulás is társult. A miocén elejére kialakult üledékgyűjtő vályúkba először jelentős vastagságú durva törmelékes, teresztrikus üledéksor rakódott, amelyre intenzív vulkáni tevékenységet jelző képződménysor települ: több szintben jelennek meg viszonylag közeli kitérési centrumokra utaló, változó összetételű vulkáni és vulkanoszediment képződmények. A vulkáni képződmények lerakódását helyenként édesvízi fáciesű üledékek betelepülése szakítja meg.

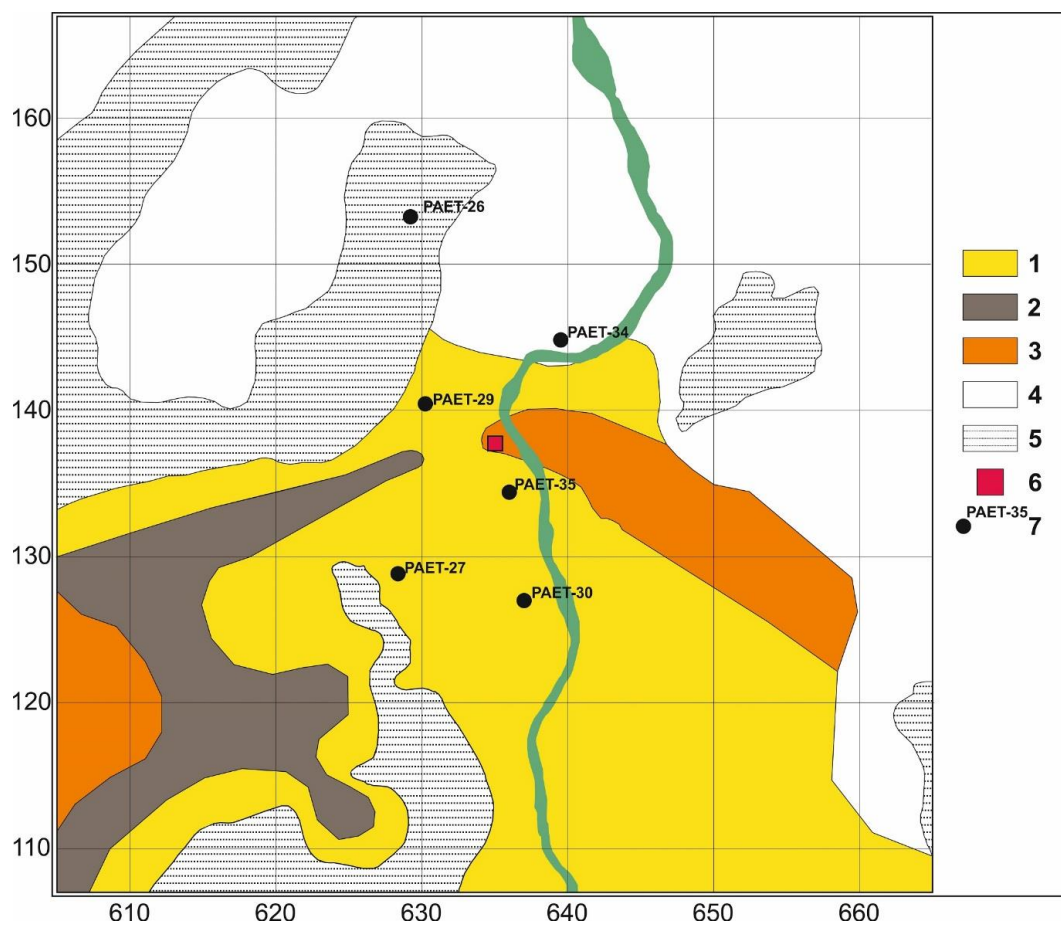
Az alsó-miocén üledéksort durvakavicsos, folyóvízi konglomerátum nyitja meg. A konglomerátum kavicsanyagának összetétele és mérete azt jelzi, hogy a nagy energiájú, viszonylag jelentős méretű folyó kavicsos üledékeken is keresztülhaladt, amelyekből részben paleo-mezozoos üledékanyagot, részben metamorfítokat hozott magával. Ezt a rétegsor alján lévő, sok esetben törött, viszonylag kisméretű üledékes kavicsok jelzik. A későbbiekben valószínűleg lepusztult a korábbi kavicsanyag, mert a rétegsor felsőbb szakaszán már szinte egyáltalán nincsenek mezozoos kavicsok, csak kvarc, kvarcit, metamorfít anyagúak a konglomerátum kavicsai. Az üledékszállítás irányát a kavicsanyag összetétele alapján dél felől tételezhetjük fel; a több ágra szakadó, kanyargó folyó megkerülte a Szekszárd környéki vulkánokat, nyugati ága Tengelic és Vajta között haladva valamennyi vulkáni anyagot is vitt magával és rakott le, K-i ága pedig nekiütközve a Nagydorog-Paks vulkáni vonulatnak, ÉK felé fordulva hagyta el a jelenlegi kutatási területet. A mederfáciesű, durva konglomerátum és az ártéri fáciesű, finomszemű aleurolit részben egymással váltakozva, részben egymás mellett figyelhető meg a területen, ami a folyó „középszakasz” jellegének felel meg (217. ábra).

A középső-miocén alsó részén, a kárpátiba sorolt üledékegyüttes transzgresszív rétegsorral jellemezhető. Az alsó-miocén üledéksoron többnyire túlterjedően települnek előbb a Budafai Formáció homok-homokkővel, az alsó-miocén törmelékes összletnél jóval finomabb szemcsenagyságú, kerekítettebb kavicsokat tartalmazó konglomerátummal jellemezhető, partközeli képződményei, helyenként partközeli, finomhomokos agyagmárga (Tekeresi Formáció) (218. ábra).



217. ábra Az alsó-miocén üledékképződési környezetek vázlata DNy felől, madártávlatból

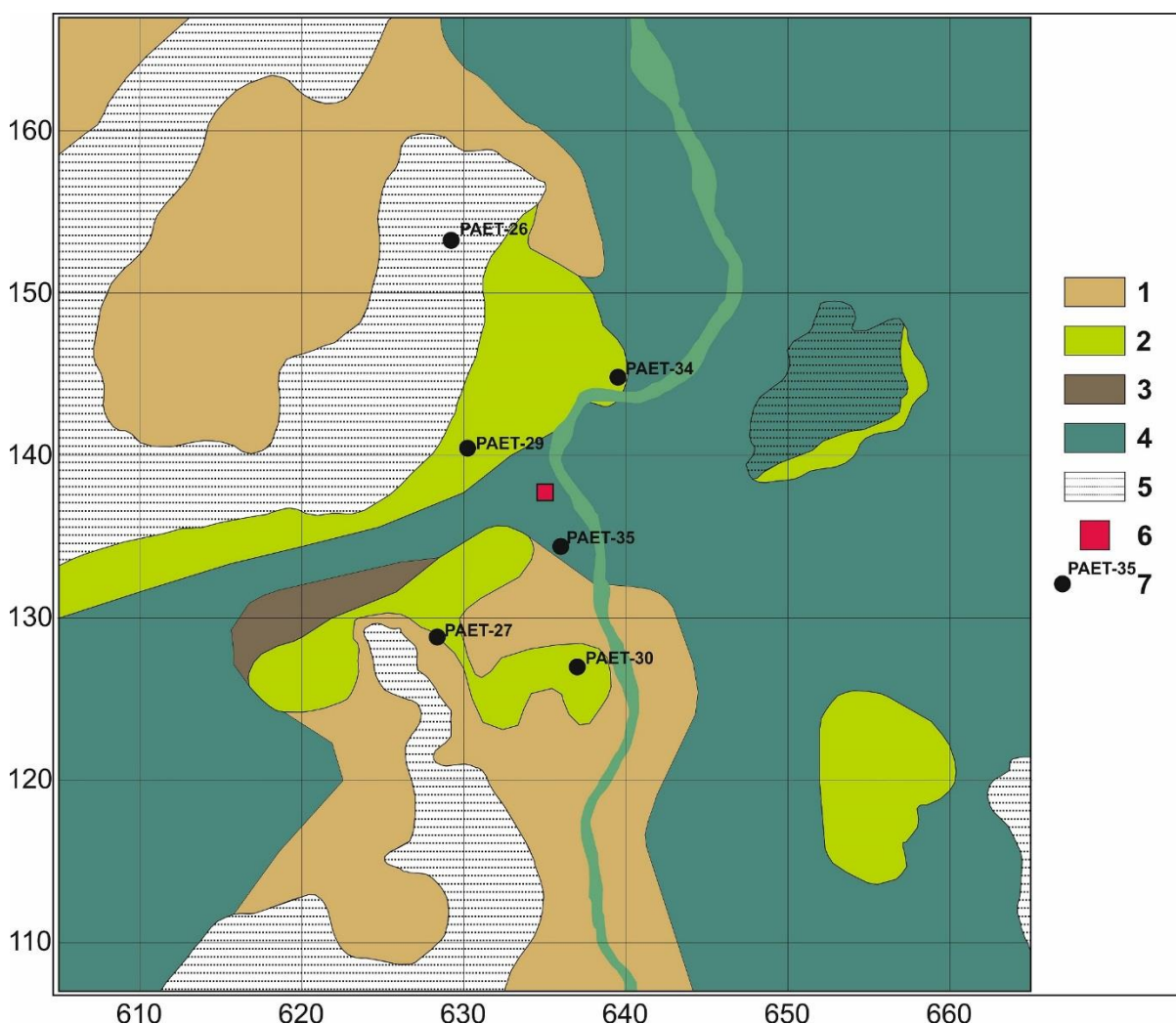
Jelmagyarázat: 1 Sodorvonalbeli folyóvízi képződmények (Szászvári Formáció) 2 Ártéri képződmények Szászvári Formáció) 3 Vulkanitok (Gyulakeszi Riolittufa, Mecseki Andezit) 4 Folyásirány 5 Jelenlegi elterjedés 6 Telephely 7 Fúrás



218. ábra A középső-miocén alsó része üledékképződési környezetének vázlata

Jelmagyarázat: 1 Partszegélyi, síkparti képződmények (Budafai Formáció) 2 Lagúnafaciesű képződmények (Budafai Formáció) 3 Partközeli, nyíltvízi képződmények (Tekeresi Slír Formáció) 4 Adathiány 5 Jelenleg nincs középső-miocén üledék 6 Telephely 7 Fúrás

E transzgresszív jellegű rétegeken egy viszonylag csekély üledékvastagságot eredményező szigettengeri üledéksor települ, melynek zátonyait lithothamniumos mészkőből, mészhomokkőből felépülő rétegek övezik (Lajtai Mészkő Formáció), s a köztük lévő mélyebb vízi üledékgyűjtőben a Szilágyi Agyagmárga Formáció sekély neritikus, gazdag faunás rétegei rakódtak le. A terület keleti részén egységes tengerborítottságot tételezhetünk fel, ahol a zátonyok elsősorban a korábbi aljzatmorfológiai magaslatok felett alakultak ki. Ezzel szemben a terület nyugati részén inkább elszigetelt öblözetekben, mélyedések felett települnek a Fóti Formáció időszakos regressziót jelző képződményei, vagy a Hidasi Formáció kisebb elterjedésű üledékei; itt valószínűleg a kiemelt magaslatok egy része (köztük az ekkor már magaslatként megjelenő kora miocén vulkanitok) lepusztulási területként üledékforrásul szolgált (219. ábra).



219. ábra A középső-miocén felső része üledékképződési környezetének vázlata

Jelmagyarázat: 1 Tengerparti törmelékes üledékek (Lajtai Mészkő Formáció) 2 Zátonymészkő (Lajtai Mészkő Formáció) 3 Paralikus, brakkvízi üledékek (Hidasi Barnakőszén Formáció) 4 Sekély neritikus képződmények (Szilágyi Agyagmárga Formáció) 5 Jelenleg nincs középső miocén 6 Telephely 7 Fúrás

A szarmata időszak üledékei szigetszerű foltokban található meg a területen, s elterjedésük jobban kötődik az alsó-pannoniai képződmények elterjedéséhez, mint a középső-miocénéhoz. A tengeri üledékképződést lassan felváltja egy regresszív, előbb csökkentsósvízi, majd fokozatosan kiédesedő, feltöltődő pannon tavi üledéksor.

3.1.1.6.2 Pannóniai fejlődéstörténet és ösföldrajzi rekonstrukció

A pannóniai emelet alatt Magyarországon a felső miocén és a teljes pliocén összevonva értik. Az emeletet a Pannon-tóban, majd a tóba torkolló deltarendszerekben, és végül a folyóvízi síkságokon lerakódó üledékek építik fel (a helyenként fontos vulkanitok mellett – Paks környékén ez utóbbiak Kecelről ismertek).

A pannóniai korszak kezdetét mai ismereteink alapján a középső miocén serravallei és a felső miocén tortonai korszakok határával korrelálhatjuk, ennek kora 11,6 millió év. A korszak végét a pliocén piacenzai és a pleisztocén gelasi korszak 2,6 millió éves határa jelöli ki. Ezek alapján tehát a pannóniai korszak időtartama 9 millió év.

A rétegek korának meghatározásához Pakszon a puhatestű- és a dinoflagellátasztratigráfia és a mágnesrétegtani adatok korrelációja nyújt segítséget [372]. Ezt a korrelációt különböző kutatók különböző időpontokban igen nagy mennyiségű adaton már az egész Pannon-medencére vonatkozóan elvégezték, így rendelkezésünkre áll egy „történetileg” kialakult rétegtani korrelációs táblázata (220. ábra). Ebben kell megkeresnünk a paksi rétegsor helyét, végig fejbent tartva azonban, hogy a konkrét paksi adatokat vissza kell csatolni a hivatkozási táblázatba, hiszen ez utóbbi nem egy „abszolút” korreláció, hanem csak az ismereteink jelenlegi szintjét tükröző modell. A Paks környéki pannóniai rétegsor zöme (a néhány fúrásban, mélyebb szerkezeti helyzetben esetleg előforduló, igen vékony idős pannóniai rétegeket leszámítva) a *Spiniferites validus* és *Galeacysta etrusca* mikroplankton zónákba (8,9 – 6 millió év), a *Congeria praerhomoidea* és *Congeria rhomboidea* szublitorális puhatestű zónákba (8,9 – 6 millió év), illetve a *Lymnocardium decorum* és *Prosodacnomya litorális* puhatestű zónákba (8,7 – 6 millió év) tartozik (220. ábra).

millió év	sorozat	emelet	európai emlős-zóna	Pannon-tó üledékeinek biozónái				kron	polaritás	
				mikro-plankton	prof. puh.	szublitor. puhatestű	litorális puhatestű			
4	pliocén	zanclei	MN15	?	?	?	?	C2Ar		
			MN14					C3n		
5	felső miocén	messinai	MN13	<i>Galeacysta etrusca</i>	"Dreissenomya" digitifera	<i>Congeria rhomboidea</i>	<i>P. vutskitsi</i>	C3r		
MN12			C3An							
7			C3Ar							
			C3B							
8		tortoni	MN11	<i>Spiniferites validus</i>		<i>P. carbonifera</i>	<i>C. praerhomoidea</i>	<i>L. decorum</i>	C4n	
									C4r	
9			MN10	<i>Spiniferites paradoxus</i>		<i>C. ózjzeki</i>	<i>Lymnocard. soproniense</i>	<i>L. ponticum</i>	C4An	
									C4Ar	
10	MN9		<i>P. peesvarad.</i> <i>S. b. oblongus</i>	<i>Congeria banatica</i>	<i>Lymnocard. schedelianum</i>	<i>L. conjungens</i>	C5n			
							C5r			
11	MN7-8		<i>S. b. pannon.</i> <i>M. ultima</i>	<i>Congeria praepont.</i>	<i>C. ornithopsis</i>	<i>C. ornithopsis</i>	C5r			

220. ábra A pannóniai emelet rétegtani korrelációs táblázata [198]

A **pannóniai rétegek alsó határát** magvétellel 6 mélyfúrás harántolta: a PAET-26, PAET-27, PAET-29P, PAET-30, PAET-34P, és PAET-35. A szarmata végén és a pannóniai legelejen végbemenő szerkezetalakulás során É-D-i kompresszióval és rá merőleges tenzióval jellemezhető transzpresszív feszültségtérben gyűrődések és feltolódások keletkeztek, továbbá a területen jelentős eróziós rétegtani hiány alakult ki. Ennek következtében a szarmata időszakos üledékei foltokban jelentek meg, a morfológiát követve. A Földtani Kutatási Program keretében mélyült mélyfúrások közül a PAET-35 fúrásban történt földtani és őslénytani vizsgálatok alapján biztosan folyamatos az üledékképződés. A földtani dokumentáció és az őslénytani vizsgálatok alapján a PAET-29 fúrásban is feltételezhetjük a folyamatos üledékképződést. A PAET-27, PAET-30 és PAET-34 fúrásokban az őslénytani vizsgálatok alátámasztották, hogy rétegtani hiány áll fent a szarmata-pannóniai határon. A PAET-34 fúrásban bár őslénytani vizsgálatok nem történtek ebből a mélységintervallumból, ám földtani megfontolás alapján a Lajta Mészke felett található 15 méteres szakasz már pannóniai képződmény. Nem csak a szarmata emelet hiánya okozza az unkonformitást, hanem a pannóniai emelet alsó része is hiányzik; a rétegsor a *Congerina praerhomboides* szublitorális puhatestű zónával, illetve a *Spiniferites tihanyensis*, *Galeacysta etrusca*, esetleg a *Spiniferites validus* mikroplankton zónával indul, azaz 9 millió évnél fiatalabb.

A régebbi paksi és Paks környéki mélyfúrások alapján tudtuk, hogy a pannóniai rétegsor nagy része a felső miocén fiatalabb részét képviseli (*Galeacysta etrusca* és *Spiniferites tihanyensis* mikroplankton-zónák), szerkezetileg mélyebb helyzetekben, vastagabb kifejlődés mellett azonban a pannóniai rétegsor alján kis vastagságban azonosíthatók voltak idősebb mikroplankton zónák is, és éppen ilyen helyzetekben fordult elő a szarmata emelet is a pannóniai rétegsor fekéjében (pl. Paks-2, Tengelic-2; [315]). Ezek alapján ott, ahol feltűnő kőzettani vagy üledékszerkezeti változás nélkül települ a pannóniai emelet a szarmata emeletre, felmerül a lehetősége annak, hogy az üledékképződés folyamatos volt a középső – késő miocén határan (pl. PAET-29P, PAET-35). Ezekben az esetekben az idősebb pannóniai korszakot csak nagyon vékony üledékek képviselik, és néhányszor 10 méter vastagság után már az általános elterjedésű fiatalabb zónákban vagyunk.

A pannóniai formációk határainak megadása a szeizmikus térképezésen alapuló földtani modelltől származik. Ezek a határok szeizmikusan térben jól követhető, térképezhető horizontok. Alapvetően, – a szeizmikus felbontás adta kereten belül –, megegyeznek a fúráspontról származó magleírásokból vagy a mélyfúrási szelvényekből adódó határokkal.

A **Békési Konglomerátum Formáció** egyetlen előfordulása a PAET-30 fúrás, ahol az alaphegységre települő, körülbelül 7 m vastag, az alaphegységből származó kavicsokból durvahomok mátrixú konglomerátum képződött. Anyaga többnyire dolomit, de vannak bazalt kavicsok és a triász konglomerátumból áthalmazott hömpölyök is. Felfele haladva a szemcseméret csökken, a koptatottság javul. A képződmény vagy ténylegesen abrázios konglomerátum, vagy az aljzat fellazult anyagából a kimélyülés idején a hullámveréssel átmozgatott és szétterített transzgresszív bázistörmelék.

Formáció szintjén felesleges elkülöníteni, de 70 cm vastagságban durvahomokkő mátrixú konglobreccsa és rosszul osztályozott durvahomokkő figyelhető meg a PAET-26 alján is. Anyaga a fekéü csillámpala sorozatból származik. A homok nagy mennyiségben tartalmazza pannóniai puhatestűek héjait, bizonyítva a kiemelt magaslat elöntésének korát.

Az **Endródi Formációra** jellemző mészmárga sorozat, azaz a Tótkomlói Tagozat mindegyik fúrásban megtalálható kisebb-nagyobb vastagságban, a PAET-26 kivételével (221. ábra). A gamma szelvények a PAET-27,-29,-30,-34 és -35 fúrásokban a formáció alján látszólag felfelé finomodó trendet mutatnak. Ez a jelalak jól mutatja a karbonáttartalom csökkenését, a mészmárgából agyagmárgába történő fokozatos átmenetet. Felette a szelvényeken látható „fűrészfogas” jelleg a homok-agyagmárga, aleurit-agyagmárga váltakozások esetén jelenik meg és már inkább a Nagykőrüi Tagozatot jelzi (221. ábra). Elsősorban az agyagmárga rétegekben találhatóak vékony héjú molluszkák, Cardium-félék és ostracodák. A PAET-27 fúrásban az Endródi Formáció vastagsága a szeizmikus felbontásnál kisebb, ezért az átfogó modellben nem szerepel. A földtani modellből egyértelműen kirajzolódik, hogy a fúrások területe (a PAET-35 kivételével) a pannóniai korai fázisában kisebb-nagyobb magaslat lehetett, szigetszerűen kiemelkedve a Pannon-tóból (222. ábra). A fejlődés egy adott pillanatában, – a PAET-26 integrált bio- és magnetosztatográfiai értelmezése alapján, ez esetben valamikor 8,6 millió évet követően, de még 8,1 millió évvel ezelőtt –, a szigeteket is elborította a tó vize, és nem meghatározható mélységű, de hullámbázisnál mélyebb nyugodt nyíltvízi, kondenzált ülepedés zajlott ezeken a területeken. Így a PAET,-29,-30,-34 fúrásokban 15-35 m vastagságban azonosítható az Endródi Formáció, de a PAET-27-hez hasonlóan néhány méter a PAET-26-ban is képződhetett.

A formációt legnagyobb vastagságban a PAET-35 fúrás tárta fel, ami összhangban van azzal, hogy a fúrás a Fajsz-Keceli süllyedék ÉNy-i peremén (16. melléklet) található. Az Endródi formáció összvastagsága itt már 130 méter, alatta valószínűleg idősebb miocénbe sorolható breccsa található. A formáció a többi fúrásával egyezően kb. 30 m mészmárgával kezdődik, mely felett ca. 40 m vastagságban agyagmárga-homokkő váltakozásából álló sorozat, majd 60 m aleurolit települ, melyek együttesen a Nagykőrüi Tagozatba tartoznak. A 8.1.4. Adatok geostatistikai feldolgozása: a kutatási terület fúrási alapú 3D litológiai és közetfizikai modelljei, a hidrológiai modell 3D földtani keretmodellje [90] és a szeizmikus alapú földtani modell összhangban mutatja, hogy a kutatási területen a legkiemeltebb helyzetű blokkon nem figyelhető meg a márga-mészmárga sorozat, a terület többi részén azonban megtalálható.

A sztratigráfiai és litológiai modell elkészítéséhez használt archív fúrások karotázs és elektrolitológiai szelvényei nagy hasonlóságot mutatnak az előzőekben tárgyalt újonnan mélyített fúrások szelvényeivel. Az Endródi Formáció alsó részén mért karotázs görbékre mindenütt jellemző volt a mészmárga-agyagmárga átmenetet jelző szelvényalak és az enyhén fogazott jelalak az aleurolit-agyagmárga sorozatokban. A terület szerkezeti okokra visszavezethetően nagyon szabdalt, így kisebb-nagyobb süllyedékek esetén korábban (mélységtől függően bármikor a 11,6-8,1 millió éves intervallumban) és ezért nagyobb vastagságban jelentek meg a nyíltvízi üledékek, míg a magaslatokon néhány százézer év alatt, csak vékonyan, gyakran a szeizmikus felbontásnál kisebb vastagságban tudott csak lerakódni.

Az **Algyői Formáció** uralkodó közettípusa agyagmárga-aleurit melybe főleg alsó részén vékonyabb-vastagabb homokkőrétegek települhetnek. A paksi területen a sajátos helyzetű PAET-27 és a PAET-35 kivételével, mely utóbbiból mag nem áll rendelkezésre, ezek általában hiányoznak (221. ábra). Ezért a fekvő Endródi Márgától való elkülönítése nagyon bizonytalan, mivel mindkettő pélites kifejlődésű. Az Algyői Formációt legnagyobb vastagságban a PAET-35 fúrás harántolta (240 m), míg a PAET-34, -30 -29 fúrásokban ez már legfeljebb csak 130-100 m, a PAET-26 fúrásban csak 51 m vastag. A PAET-27-ben Algyői Formációba sorolt közetek részletes litológiai és üledékföldtani elemzése kimutatta, hogy alsó 16 métere nagy valószínűséggel az Endródi Formációba tartozik. Az Algyői Formációban a vastagság változékonyságának oka a szerkezeti helyzetben keresendő (222.

ábra). A formáció talp térképen (15. melléklet) látható, hogy míg a PAET-27 a Tolnai-, a PAET-26 a Németkéri-magaslaton, a PAET-29 és 30 ezen magaslatok peremi részén, köztes helyzetben helyezkedik el, addig a PAET-35 és -34 fúrás mélyebben egy-egy medencét elválasztó vetőzóna feletti gerincen található.

A PAET-26 fúrásban az Algyői Formációt ca. 50 m vastag meszesen cementált agyagos és csillámos aleurolit képviseli. Gyakoriak a szenesedett növényi törmelékek, ostracoda teknők, ritkábban Lymnocardium és Congeria töredékek figyelhetők meg. Jellegei alapján nyugodtvízi üledékképződés jellemzi, semmi nem utal lejtős térszínre. Bár a szeizmikus korreláció alapján az Algyői Formációba sorolták, nem zárható ki, hogy az Endrődi Formáció fiatalabb agyagmárga kifejlődésével állunk szembe. Ezt támasztaná alá az is, hogy a szeizmikus felbontóképesség csak ritkán engedi meg 100 m-nél alacsonyabb klinoformok leképződését. Az őslénytani vizsgálatok alapján ebben a mélységben található üledékek szubltorális zónában képződtek, koruk 8 millió év. A Németkéri-magaslat peremi részén található a PAET-29 fúrás, a PAET-26-tól kb. 13 km-re, a távolság ellenére TG görbék lefutása nagyon hasonló, ebben a mélységintervallumban található üledékek az őslénytani vizsgálatok alapján kora 8-9 millió év. Az Algyői Formációban itt is agyagos aleurolit és agyagmárga váltakozásából álló sorozatok találhatóak. Külön említendő a PAET-27, melytől ÉNY-ra levő süllyedésben jól fejlett klinoformokból álló lejtő sorozat közelít a magaslathoz. Nagy része kiékelődik vagy elfordul a magaslat előtt, legfelső szakasza azonban talán folytatja az épülést a kiemelt területen is. Ilyen átmeneti jellegű lejtőépülés üledékeit másutt az Újfalui Formációba sorolták [324], annak ellenére, hogy a néhány méter vastag homoktestek turbiditek termékei. Ugyan a fúrás 400-293 m közti szakaszán több homoktest is települ az aleurolitba, ezekben perdöntő üledékes jegyek nem figyelhetők meg. Lehetséges, hogy a lejtőben folytatódó prodelta nyugodt vízébe érkező viharüledék, vagy a folyó áradásából eredő hipersűrű áramlások termékei. A TG görbe viszont a közeli PAET-30-hoz hasonló jellegeket mutat, ami nem meglepő, ha a szeizmikus térképezésből ismert lejtővándorlási irányt is figyelembe vesszük (221. ábra). A közel kétszerte vastagabb Algyői felső része a PAET-35 fúrásban is hasonlít az előzőkre. Alsó 100 m-en azonban a lejtőláb – medence átmenetre jellemző tüskés jelalak látható, mely feltehetően turbidites homokkő, törmelékfolyás, esetleg kaotikus csuszamlási üledékek jelenlétére enged következtetni.

Az **Újfalui Formációba** sorolt üledékek közül legnagyobb vastagságban a PAET-34 fúrásban azonosítható (480 m). A PAET-35,-29, -26 fúrásokban kissé vékonyabb, 445-430 méter, míg a PAET-30 és -27 fúrásban a kvarter erózió miatt csupán csak 330-270 m (221. ábra).

A kutatási terület ÉNy-i részén, a Németkéri-magaslaton helyezkedik el a PAET-26, melyben az Újfalui Formáció sok jellemvonásában különbözik a többi fúrásban tapasztalhatótól. Ennek lehetnek a terület szerkezetfejlődésére, így süllyedésére visszavezethető okai, de egyszerűen egy-egy delta kiterjedése, lebenyeinek avulziója is okozhat öskörnyezeti különbséget ekkora távolságban. A PAET-26-ban a 449-350 m között a deltafront pélites és vékonyabb fejletlenebb torkolati zátony üledékeinek 8-27 m vastag ciklusait találjuk, melyeket jól fejlett torkolati zátonnyal, illetve deltsíksági öböl és kis meder üledékével záruló ciklus követ (350-320 m) (221. ábra). A következő ciklust 303 m-ben kagylóhéj törmelékes eróziós felszín szakítja meg, melyet 30 m vastag homok sorozata követ. Ezt kb. 5 m vastagságban növényi törmelékes, szerves detrituszban gazdag, gyökérkonkréciós homok fedi. Erre újabb héjtörmelékes eróziós felszínnel középszemcsés-, és aprószemcsés-homok, aleurolit és lignit csík 13 m vastag felfelé finomodó sora települ. Az alsó 35 m egy bevágódott völgy és komplex kitöltése, mely a tóvízszintjének nagyobb esését, majd kisvízi emelkedését jelzi. A legfelső meder valószínűleg már nem a völgykitöltés része, hanem a következő kimélyülést követően épülő delta völgy fölé

átöröklődő fő ága lehet. A kimélyülési felszín a többi fúrásban is korrelálható, de azokban a völgykitöltés nem jelentkezik. Ezt az eseményt nagyon hamar követi a vízszinten zajló üledékképződés, így 250-155 m között uralkodóan deltasíksági öböl- és mederfeltöltődésekből származó homok, aleurolit, szervesdús vagy lignites rétegekkel záródó kisciklusok jelzik a kisebb vízszintingadozásokat. Az őslénytani vizsgálatok alapján 197 m-től litorális zónában képződött üledékek kora 7,7-7,3 millió év. 150-119 m között a deltafront alsóbb részére, 119-70 m között inkább a front felsőbb, torkolati zátonyokkal, medrekkel váltakozó részére tolódott, természetesen több 12-25 m-es ciklusban az üledékképződés térszíne. A 119-102 m közötti meder esetleg kisebb völgykitöltés is lehet. A fúrás pannóniai szakasza 70-15 m között ismét deltasíksági kifejlődésekkel, – brakkvízi faunás öböl és kicsiny mederfeltöltések, ezúttal lignit helyett tarka, mészcsonós aleuritokkal, – zárul. A rétegsor nem jut el az alluviális síkság megjelenéséig.

A PAET-27 az előzőtől 28 km-re, a Tolnai-magaslaton, a kutatási terület DNy részén helyezkedik el. A fúrás ca. 400-293 m közötti szakaszán vékony homokbetelepüléses aleurolit, vagy homokos aleurolit a jellemző, kissé vastagabb (4-10 m) homoktestekkel, melyek az Algyői Formáció egy speciális alacsony lejtőjű kifejlődését képviselhetik (221. ábra). E felett az üledékképződés alapvető vonásaiban nem változik, de 293 m-től gyakoribbak a homokbetelepülések és tipikusabb deltaépülés veszi kezdetét. Itt a vastagabb homoktestek már a deltafront disztális zátonyai lehetnek, míg a sorozat tetején nemcsak a torkolati zátony proximális része, hanem a zátonytető hullámveréssel átdolgozott üledéke is kifejlődött. A fáciesek durvuló/növekvő rétegvastagságú sorozatai átlag 15-35 m vastagok. 251-190 m közötti szakaszon ismét elsősorban a prodelta és a front disztális részére utaló aleurolit és homok váltakozásából áll az üledék, a ciklus vékony hullámveréses zátonytetővel zárul. Ezt alátámasztják az őslénytani vizsgálatok eredményei, ami alapján partközeli környezetben rakódtak le ezek az üledékek és édesvízi hozzáfolyás történet. 190-163 m között, a kimélyülést követően megjelennek a deltasíkság öbleit jelző kisciklusok, szervesanyag felhalmozódással, a ciklust a TG görbén is kiugró, első, középszemcsés homokkal induló mederkitöltés (7m) zárja. Egy valószínűleg vető miatt csonka ciklust a fúrásban észlelhető egyik legnagyobb fácieseltolódást eredményező kimélyülés követ, melynek eredményeképp ép és töredékes puhatestűeket tartalmazó agyag ülepedett (141-137 m). 146-80 m között két – deltafront-torkolati zátony, deltafront-torkolati zátony-deltasíkság – ciklus keletkezett. 78-62 m között ismét hullámveréses zátonytestek mutatják a kisebb kimélyülést, melyre következő nagyobb mélyülés prodelta üledékeket eredményezett. A fúrás 48-26 m közötti szakaszán öbölkitöltő üledék és egy nagyobb, vagy egymásba harapózó több meder homokja zárja az Újfalui Formációt (221. ábra). A szelvényben 3-4 nagyobb kimélyülési esemény követhető nyomon, melyek 80-100 m vastag szakaszokat zárnak közre, ugyanakkor markáns vízszintesésre utaló völgykitöltés, talán a legfelső 17 méteres homoktestet leszámítva nem fordult elő.

A PAET-27-től csupán 12-7 km-re helyezkedik el a PAET-29, -30 és -35 fúrások. Rétegsoraik a lyukgeofizikai görbék összevetésével is érzékelhetően hasonlóak. Az Algyői Formációra itt is főképp pélites, csupán vékonyabb homokbetelepülésekkel tarkított szakasszal következik az Újfalui Formáció. Az alsó 200 m-ben valószínűleg a prodelta és a deltafront alsó részének üledékei jellemzők, fejlettebb torkolati zátonytestek csupán az intervallum tetején jelentkeznek. A PAET-29-ben 260-165 m, a PAET-30-ban 185-95 m között legalább négy felfelé durvuló vaskos homokkal záruló deltafront építési ciklus figyelhető meg. Ezzel párhuzamosan a PAET-27 korrelálható szakaszán deltafront, torkolati zátonyok és valamennyi deltasíksági üledék jellemző. Tehát itt is laterális fáciesváltozékonyság tanúi lehetünk. A PAET-29 fúrásban 165-125 m között két, esetleg három 10-15 m-es mederkitöltés is jól kirajzolódik, melyek között feltehetőleg deltasíksági

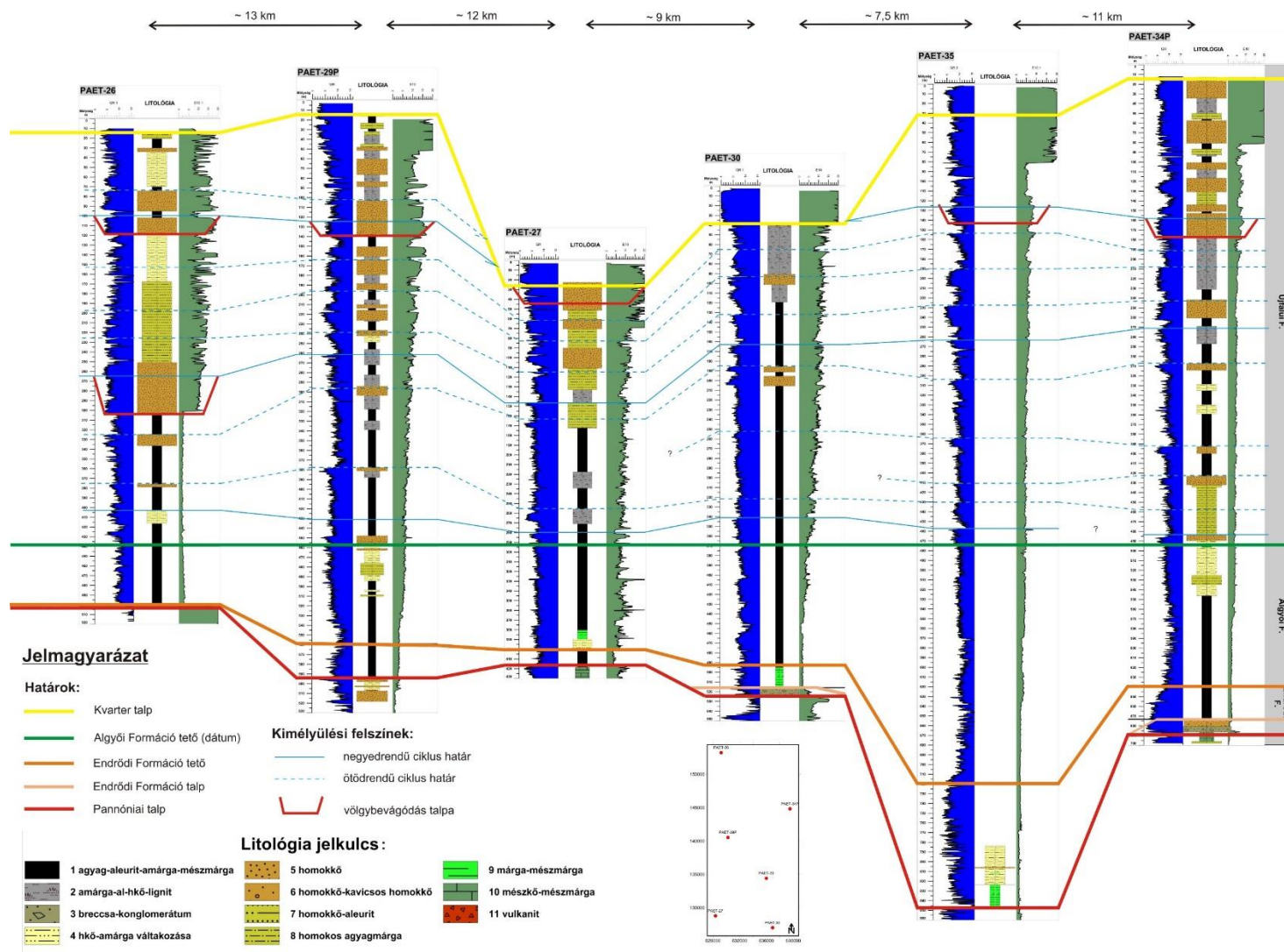
kifejlődések találhatók. Az sem kizárt, hogy a 138-125 m közti homoktest a távoli PAET-26/119-112 m völgykitöltéssel korrelál, nem fizikailag, hanem időben, eseményként. Ezt támasztaná alá az is, hogy a PAET-34/175-160 m-ben és a PAET-27/43-26 m-ben is hasonlóképp jelentkezik. A PAET-29 finomhomokos kőzetliszt, kőzetlisztes agyag és agyag váltakozásából deltasíksági rétegekkel zárul. A PAET-30 felső deltasíksági szakaszán a szokásos brakkvízi molluszkahéj-töredékek mellett előkerült egy levélmaradvány is, amely *Salix varians* GÖPPERT, ez alacsony ártéri, illetve mocsári környezetet jelez és a pannóniai üledékekből már több helyről előkerült (Hably 2013 szóbeli közlése).

Meglepő módon a PAET-34 fúrás karotázsa a nagyobb távolság ellenére is elég jól korrelál többek között a PAET-30 fúrásával (221. ábra). A formáció alsó szakaszán akárcsak a PAET-29-ben egy kisebb torkolati zátony megjelenésével záruló ciklussal kezdődik a rétegsor. Ezt követően hosszabb prodelta-alsó deltafront váltakozásából álló szakasz következik, melyben többször megjelenik a torkolati zátony kifejlődése is (~425, ~395 m). A vízszint emelkedés következtében felette kisebb, prodelta-alsó deltafront ciklusok azonosíthatóak, kitartó aleurit-agyag-agyagmárga sorozatok formájában. Akárcsak a szomszédos fúrásokban a 330-210 m intervallumban felfelé durvuló deltafront sorozatok következnek. A legfiatalabban és a rákövetkező szakaszban a deltasíksági öblök és medrek üledéke uralkodó. A fentebb említett nagyobb meder/völgykitöltéssel kezdetét veszi az a sorozat, mely a PAET-29 120-20 m közötti szakaszához hasonló üledékek váltakozásából áll: jelentős vastagságú torkolati zátonyok, nagyobb medrek és a deltasíkság finomszemű üledékei alkotják.

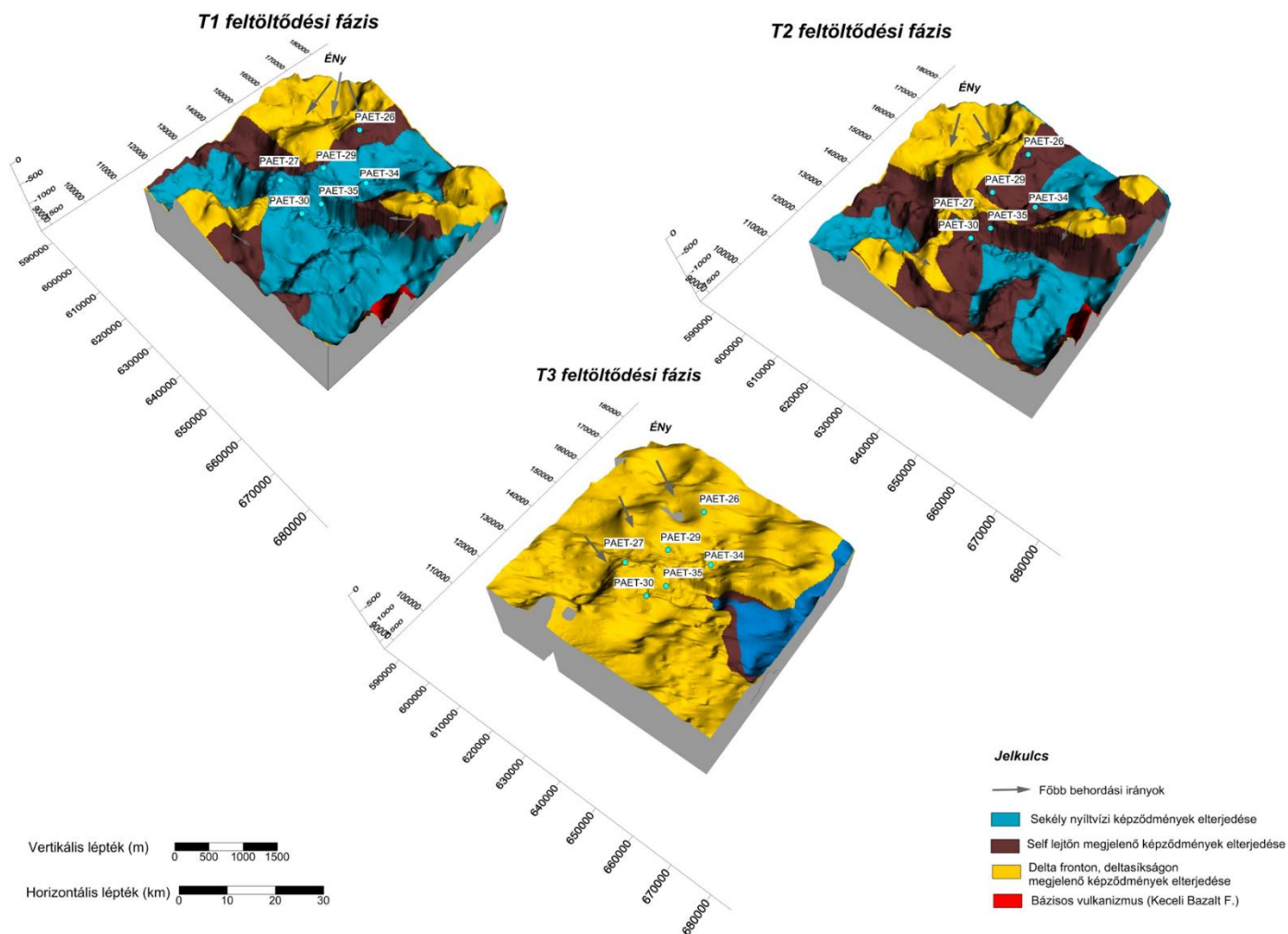
A PAET-35 fúrás esetén nincs maganyag az értelmezéshez csak a karotázis jelalakot és a környező fúrásokkal való korrelációt tudtuk alapul venni. A 470-250 m intervallumban az üledékciklusok hasonlóak a PAET-34-ben tapasztalhatóhoz. 250-175 m között néhány nagyobb homoktest váltakozik pélitek, homok, lignit váltakozásából álló sorozattal. 160-80 m között a ciklusok ismét egyeznek a PAET-30 és -29 kifejlődésével (221. ábra). A PAET-34 fúrásban 160-80 m közötti mélységintervallumban található üledékek kora az őslénytani vizsgálatok alapján 6-7 millió év. A legfelső 40 m esetleg pélitesebb kifejlődésű, de ártéri üledékekre még itt sem számítunk.

Mivel a pannóniai harántolt fúrások mindegyikében kevéssel a kvarter talpa alatt még előfordultak a tavi környezet vissza-visszatértére utaló ősmaradványok a **Zagyvai Formáció** jelenlétét a vizsgált fúrásokban kizárhatjuk. A kissé keletebbre eső Duna-Tisza közti területek fejlődése [154] [199] alapján is valószínűsíthető, hogy itt az Újfalu képződése a 6.8 millió évvel ezelőtti szerkezeti mozgásokig tarthatott, majd a Zagyvai csak ezt követően képződhetett. A PAET-26 rétegtani vizsgálatából kapott üledékképződési rátával ugyanerre a következtetésre juthatunk. Ezért a Zagyvai Formáció jelenlétére legfeljebb a tágabb kutatási terület DK süllyedékeiben számíthat.

A **pannóniai rétegek felső határán** található legfiatalabb azonosított biozónák valamennyi fúrásban a *Galeacysta etrusca* dinoflagellata zóna (8 millió évnél fiatalabb) és a *Prosodacnomya vutskitsi* litorális puhatestű zóna (kb. 7,2 millió évnél fiatalabb). Sajnos mind a mikroplankton, mind a puhatestű zonációban jelentkező hiányosság az egész Pannon-medencére vonatkozóan, hogy ezeknek a zónáknak a legfiatalabb korát nem ismerjük. Az alföldi kifejlődésekkel való szeizmikus korreláció alapján azonban feltételezhető, hogy a miocén legvége és a pliocén nincs képviselve üledékekkel a kutatási területen (valószínűleg lepusztult), így reálisnak tűnik az a feltételezés, hogy a paksi pannóniai rétegsor legfiatalabb része is idősebb 6 millió évnél [372].



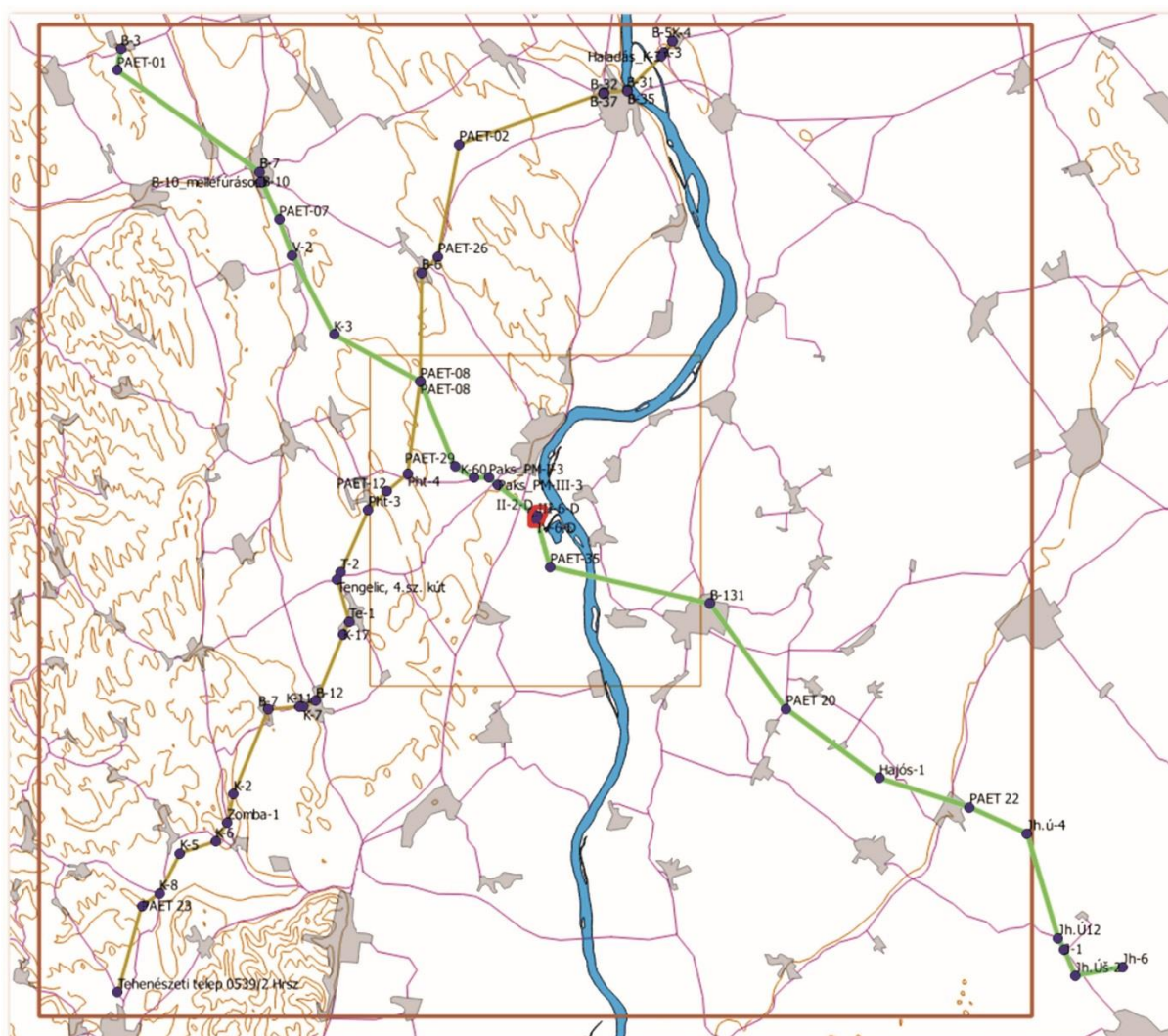
221. ábra Mélyfúrások szelvényeinek korrelálása



222. ábra A pannóniai kor során a különböző képződmények térbeli változásának szemléltetése három egymást követő feltöltődési fázisban (a térképek alapját adta a 15, 16, 17, 16, 24, 25, 26 mellékletek)

3.1.1.6.3 Negyedidőszak fejlődéstörténet

A 60x60 km-es, un. tágabb kutatási terület negyedidőszaki földtani- és szerkezeti fejlődéstörténetéről alkotott ismereteket nagymértékben pontosította a jelen kutatási program terepi, geofizikai, laboratóriumi elemzési és térképi adatainak együttes értelmezhetősége. A kvarter képződmények horizontális kifejlődéseinek, neotektonikus képeinek pontosításához két új, nagy részletességű szelvény készült el (223. ábra). Az eddigi ismeretek mellett az elkészült részletes, ill. reambulált térképek jelkulcsi elemei és területi adatai, ill. az új szelvényadatok segítségével elkészült a terület fiatal fejlődéstörténetét keretbe foglaló elvi rétegoszlop (224. ábra). Emellett a szelvények nyomvonalán lehetővé vált a rajtuk észlelt szerkezeti elemek összevetése az egyéb kutatási módszerekkel kimutatott neotektonikai adatokkal is.

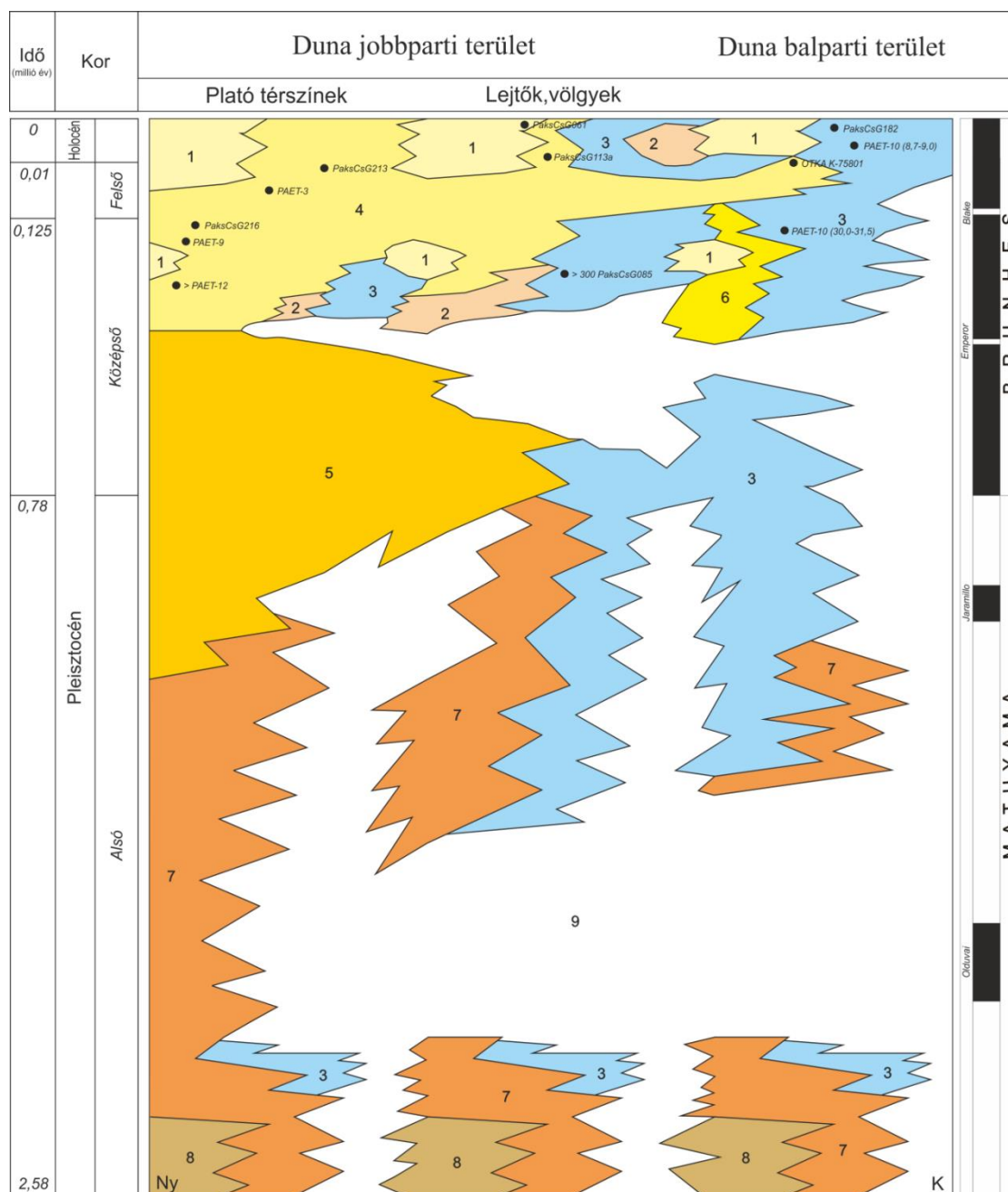


223. ábra Kvarter földtani szelvények nyomvonala Barna vonal: 1. szelvény; zöld vonal: 2. szelvény

Elvi rétegoszlop

A kutatási terület negyedidőszaki elvi rétegoszlopát a szárazföldi üledékek térképezésére legalkalmasabb időhatárig, 2,58 (2,4) Ma-ig készült el (224. ábra). A rétegoszlop a kutatási terület három jellemző kifejlődési területét, a Duna bal partját, továbbá a Duna jobb partján a dombsági plató térszíneket, valamint a lejtők, völgyoldalak, völgyek

területét ábrázolja. Az ábrán megjelölésre került a jelen kutatás során, ill. a közelmúltban mért abszolút kor mérési adatokat [332]. A paleomágneses határok az INQUA vonatkozó adatai szerint lettek feltüntetve [99]. A paleotalajok kínai lösz-szelvényekkel, ill. a tengeri oxigénizotóp skálával korrelált adatai a kutatási területen mélyült Udvari U–2a fúrás, ill. a térség udvari fúrással összevetve kerültek megadásra [164] [220]. A löszrétegsor fedőjében kialakult recens talaj ebben az értelmezésben a Löss Formáció része. A folyóvízi (különösen a Duna bal parti) rétegsorok tekintetében Kretzoi M., Krolopp, E. [179] munkája adta a kiindulási alapot, mely összevetésre került a folyóvízi képződményekben mért abszolút kor adatokkal [332] [136].



224. ábra Elvi rétegszlop. A kutatási terület képződményeinek fő negyedidőszaki kifejlődései

1=futóhomok; 2=suvadásos, szoliflukciós és lejtőképződmény; 3=folyóvízi összlet; 4=Fiatallöss-sorozat; 5=Időslöss-sorozat; 6=löss (általában); 7=Tengelic-i Vöröscsúcs Formáció; 8=Nagyalföldi Tarkaagyag Formáció; (Pontok jelentése: abszolút kor meghatározási adatok)

Az elvi rétegoszlopon nyolc földtani egység szerepel. Legidősebb képződmény a Nagyalföldi Tarkaagyag Formáció (8). A terület fúrási rétegsorai főként Mezőszilas, ill. Dunaföldvár-Solt térségében arról tanúskodnak, hogy a Nagyalföldi és Tengelici (7) Formációk összefogazódnak. Gyalog [119] szerint ennek ideje a pleisztocén alsó részébe is átnyúlik.

A Tengelici Vörösagyag Formáció térségbeli legidősebb szakasza Beremend környékén 3,2 Ma-nak adódott [217]. A Formáció a Hegyhát területén 1,2 Ma környékén valószínűleg folyamatosan megy át a Lössformációba [164]. A kutatási területhez közeli Mórággyi-rög területén a Tengelici Formáció képződése a PD-Talajkomplexum képződési idejéig (0,8 Ma) igazolható volt [165] [219].

A Paksi Löss Formáció rétegtani egységei közül az Idős Lössorozat (5) az 1,2-038 Ma közötti időszakot, a Fiatal Lössorozat (4) a 0,38 től jelen ideig tartó időszakot fedi le, melyből a recens talaj 12 Ka [164] [220]. A Duna bal parti területek löss rétegsorai jelenleg nem tagolhatók a jobb partéhoz hasonló részletességgel (6).

A fő negyedidőszaki képződményei közül a futóhomok összletek (1), a suvadásos, szoliflukciós és lejtőképződmények (2), és a folyóvízi összletek (3) nem rendelkeznek formáció szintű besorolással. A kutatási terület ilyen típusú üledékeinek közelebbi besorolása az elvi rétegoszlop időskálája alapján lehetséges.

Földtani szelvények

A szelvények 1:10.000-es léptékben készültek, 25-szörös magassági torzítással. A felszínközeli mintegy 300 m-es szakaszon települő rétegek korrelációjában a fúrási rétegsor leírások mellett fontos szerepe volt a mélyfúrás-geofizikai adatoknak is.

A rendelkezésre álló alapadatok segítségével a szerkesztéssel a negyedidőszaki összletek közül a Tengelici Formációt, a Paksi Löss Formációt ill. különböző folyóvízi és futóhomok testeket lehetett elkülöníteni. A jobb áttekinthetőség miatt a reambulált földtani térkép felszíni képződményeit összevontan. A terület ÉÉK-i részén a rendelkezésre álló adatok azt valószínűsítik, hogy a Nagyalföldi Tarkaagyag Formáció összefogazódik a Tengelici Vörösagyag Formációval. Ez összhangban áll Gyalog L. [119] munkájában közölt rétegtani definíciójával, miszerint a Nagyalföldi Formáció egyes medence területeken a pleisztocénbe is átnyúlik.

A fiatal földtani fejlődéstörténeti események, szerkezeti mozgások értelmezéséhez ahol erre a karotázis adatok alkalmasak voltak, elvégezték a Pannóniai fekvő rétegsorok párhuzamosítható szakaszainak szelvények menti követését is. A pannóniai összletek követhető szintjei alapján, több helyen igazolható volt a pannóniai képződmények vertikális elmozdulása. A negyedidőszaki szerkezetek helyének, idejének pontosabb lehatárolásához a fúrási rétegsorok legalább horizont szintű tagolására volna szükség.

1. sz. földtani szelvény (Bonyhád–Dunaegyháza)

A szelvény hegyháti szakaszán PAET-23 és Zomba-1 fúrások rétegsorában jól korrelálhatók a pannóniai, tengelici és löss képződmények. Közöttük három zombai vízkutató fúrás rétegsora egy süllyedéket mutat a Hidas-patak térségében. A süllyedés folyóvízi kitöltésének a Fiatal Lössorozat alsó része alkotja a fedőjét. A süllyedéket kialakító

szerkezeti mozgás a fenti adatok alapján legfeljebb a középső pleisztocénig tartott. Ny-i oldala egybeesik az itt kimutatott vetővel (225. ábra).

A szelvény Harc, Medina, Szedres, Tengelic szakasza, különösen a Sió-völgy térségében a kimutatott vetők alapján erősen tektonizált. A szerkezeti mozgásokat követő térszíni kiegyenlítődést jól jelzi, hogy a pannóniai képződmények erősen differenciált paleomorfológiájú felszíni süllyedékeit elsősorban tengelici képződmények töltik ki. A Medina B-7 ill. Szedres K-7, K-10 fúrások között a pannóniai fekü szintjében látszó különbség jól korrelál egy itt kimutatott vetővel (225. ábra).

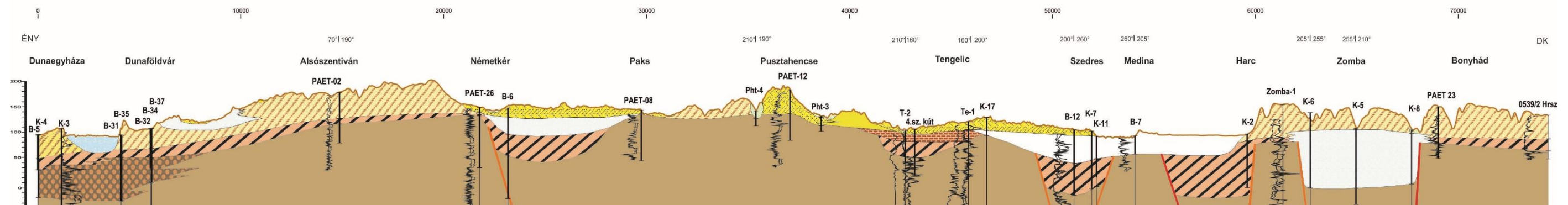
A Tengelic-Dunaföldvár szakaszon a felszíni, felszín közeli képződményeket lösz- és futóhomok rétegek alkotják, melyek egymással, ill. folyóvízi homok testekkel is összefogazódnak. Németkér környékén is a pannóniai felszínén lévő morfológiai mélyedést tengelici rétegek töltik ki. A Pannóniai rétegek szelvény menti vetületben enyhén DNy-ra dőlnek, s a PAET-8 és PAET-26 fúrások pannon rétegei között horizontális elmozdulás is kimutatható, amit azonban geofizikai vetőkutatási adatok nem erősítenek meg.

Dunaföldvár és Dunaegyháza között jól nyomozható a Nagyalföldi és a Tengelici Formációk összefogazódása, ill. a „dunántúli típusú” képződmények a Duna által eróziósan roncsolt foszlányainak bal parti települése.

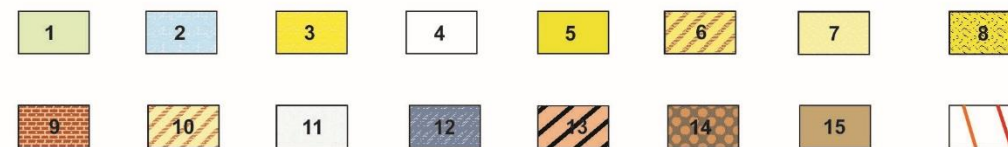
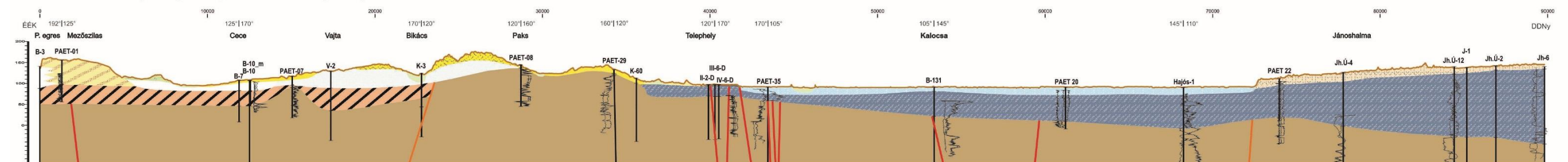
2. sz. földtani szelvény (Mezőszilas–Jánoshalma)

A szelvény ÉNy-i részén Mezőszilas, Pusztaegres környékén 30-50 m lösz települ részben folyóvízi rétegekkel összefogazódva. Alattuk több, mint 50 m vastag Tengelici típusú képződmény települ. Ez a vastag összlet DK-felé a Sárvíz-völgye alatt is folytatódik, amit a Cece B-10 fúrás igazol. A pannóniai fekü a PAET-7 fúrásban rövid szakaszon megemelkedik, majd Vajta és Bikács között (Vajta V-2 és Bikács K-3 fúrások) a pannóniai fekü morfológiában mutatkozó süllyedéket is Tengelici Vöröscopyag, tarkaagyag tölti ki, melyre vastag folyóvízi képződmények települnek. A Vajta-Bikács közötti süllyedék szerkezeti meghatározását mérések nem igazolták (225. ábra).

A Paks 1. szelvény Magassági torzítás 25x (mBF)



A Paks 2. szelvény Magassági torzítás 25x (mBF)



225. ábra Az 1.sz. és 2 sz földtani szelvények (Bonyhád–Dunaegyháza; Mezőszilas Jánoshalma)

A szelvényeken szereplő képződmények jelkulcsa: 1 = Folyóvízi üledékek – újholocén; 2 = Folyóvízi üledékek – holocén; 3 = Futóhomok – újholocén; 4 = Folyóvízi üledékek – felső-pleisztocén—holocén; 5 = Futóhomok – felső-pleisztocén—holocén; 6 = Löss – felső-pleisztocén; 7 = Futóhomok – középső–felső-pleisztocén; 8 = Futóhomok – felső-pleisztocén—holocén; 9 = Deluviális képződmények – felső-pleisztocén; 10 = Löss – középső–felső-pleisztocén; 11 = Folyóvízi képződmények – középső–felső-pleisztocén; 12 = Folyóvízi képződmények – pleisztocén; 13 = Tengelic Formáció; 14 = Nagyalföldi Formáció; 15 = Újfalu Formáció; 16 = Vetők: narancs – fúrásokból szerkesztett vetők, piros – geofizikai és kutatóárok méréseiből szerkesztett vetők

A szelvény Paks–Kalocsa szakaszán a PAET–8, Kalocsa B–131 fúrások között a pannóniai rétegek egymással jól korrelálható, jellemző karotázis görbe szakaszaik alapján jól követhető, közel szintes településű, igen enyhén DK-re dőlő összletei települnek. A telephely környezetében a PAET–29, PAET–35, IV–6–D, ill. a bevetített Paks–2, Paks–3 fúrások karotázisgörbéi alapján megfeleltethető szakaszai között jellemzően inkább fácies különbségek, kisebb részben vertikális szintkülönbségek is mutatkoznak. A telephely környezetében a pannóniai fedőn települő kavicsos dunai hordalék fekü morfológiájában mutatkozó néhány m-es eltérés megmagyarázható a folyam oldalazó eróziójával. Ebből a 0-30 m közötti kavicsos folyóvízi összletből szerkezeti mozgásokat igazoló, rétegkorrelációra alkalmas mélyfúrás-geofizikai adatsor, földtani rétegleírás nem áll rendelkezésre. Fentiek alapján a tárgyalt szakaszon szeizmikus és más geofizikai módszerekkel kimutatott szerkezeti elemek alapján inkább horizontális elmozdulás feltételezhető.

A Duna üledékei Pakstól Hajós-felé 20-30 m-től közel 100 m-re kivastagszanak. A PAET–22 fúrás rétegsora nem párhuzamosítható sem Hajós, sem Jánoshalma irányába. Ez valószínűsíti a Solti-síkság-Kiskunság határán keresztező vetők létét. A szelvény DK-i szélén a jánoshalmi fúrásokban jól párhuzamosíthatók a pannóniai formációk, a 150-200 m-re kivastagodó pleisztocén folyóvízi összlet és a rajta települő futóhomok.

A negyedidőszaki fejlődés szakaszai

A térképezési területnek a posztpannóniai regionális kiemelkedést és denudációt követő pleisztocén fejlődéstörténete négy nagyobb szakaszra tagolható.

1. *Pliocén – kora- és középső-pleisztocén szakasz* — a regionális denudációt követő domborzati kiegyenlítődésnek, a Tengelici Vörösagyag Formáció keletkezésének időszaka, gyenge dinamikájú folyóvízi üledékképződéssel.

2. *Kora- és középső-pleisztocén szakasz* — az Idős Löszsorozat, kiegyenlített térszíni lösz–paleotalaj képződésének szakasza, gyenge dinamikájú folyóvízi üledékképződéssel.

3. *Középső-pleisztocén szakasz* — a középső-pleisztocén kiemelkedés és domborzati tagolódás szakasza, erősödő dinamikájú folyóvízi üledékképződéssel.

4. *Középső- és késő-pleisztocén–holocén szakasz* — a Fiala Löszsorozat, futóhomok és lejtőképződmények keletkezése, fiatal földtani fejlődés, reliefenergia-csökkenés és térszíni kiegyenlítődés szakasza dinamikus folyóvízi üledékképződéssel.

Pliocén kora- és középső-pleisztocén (Tengelici F. –Paks Dupla) szakasz

A tágabb térképezési terület és környezete pleisztocén fejlődéstörténetének első szakasza lényegében Tengelici Vörösagyag Formáció képződési idejét öleli fel, a területen meginduló löszképződés kezdeti szakaszáig.

A Paksi Lösz Formáció elsődleges bázisképződményének, a Tengelici Vörösagyag Formációnak területi kifejlődése, vastagsági eloszlása is arra utal, hogy pliocén-pleisztocén folyamán a Dél-Mezőföld térsége a szomszédos tájegységekkel, így a Szekszárdi-dombsággal, Hegyháttal, Sárközzel igen hasonló egységet alkotó terület volt ([2] 82 p.) [160] A vörösagyag, tarkaagyag képződés kiterjedt a Solti-síkság területére is, amit a területhez közeli Dunaegyháza B–2, K–3, ill. PAET–4 fúrások is igazolnak.

A szüntelenül változó, szakaszos mállás–denudáció–lejtő menti és gyenge folyóvízi akkumuláció akár egymillió évnél is hosszabb ideig tarthatott. Tekintve, hogy ezen típusú – éghajlathoz kötött – üledékképződés potenciális feltételei a pliocéntól adottak voltak, így valószínű, hogy a térképezési területen pliocén korú üledék is megmaradt. Földtani kor tekintetében jelen kutatások erre az időszakra nem adtak új abszolút koradatot. Erre vonatkozóan az Udvari–2A fúrás paleomágneses adatai (2,2-0,78 MA) fedik le leginkább ezt az időszakot [161] [164].

A negyedidőszaki aljzatmorfológiai és vastagság térkép (3.1.1.4 fejezet) azt mutatja, hogy az enyhén tagolt domborzat fő elemei átöröklődtek, s relatív szintkülönbségei a mainál kisebbek, vagy ahhoz hasonlóak voltak.

A kvarter üledékek vastagsági elrendeződése, aljzatmorfológiája, ill. terepi és fúrási adatok, jelenségek alapján a jelenlegi völgyhálózat jelentősebb völgyeinek előképei mai nyomvonalukkal közel egyező pályán — enyhébb esésviszonyok mellett — nagy valószínűséggel a kora-pleisztocénben is megvoltak.

Ebben az időszakban a mállási, lepusztulási termékek areálishan, kisebb részben vonalas úton az előtérben, esetleg a központi rész lokális süllyedékeiben akkumulálódtak. Ez a domborzati kiegyenlítődés felé tartó morfológiai fejlődés azt eredményezte, hogy teljesen denudált pannóniai térszinek szomszédságában közepesen, erősen mállott, vastag vörösayagos felszíneket (Tengelic–2, Udvari–2A, PAET–12 fúrások) távolabb tarkaagyagos málladékkal, vörösayag-lencsékkel fedett részeket találunk (PAET–1 fúrás). A védett, neutrális térszineken bolygatatlan szerkezetű vörös, vörösbarna paleotalaj keletkezett, alatta esetenként fejlett mészkumulációs mállási zónával (Dunaföldvár térsége, Diósberény Db–1A fúrás, Kölesd, Kistormás, Kakasd, Szekszárd térségi feltárások).

A terület denudációs térszíneiről nagyjából elszállított mállástermékek a peremek, lokális üledékgyűjtők felé 40-90 m-ig is kivastagodnak (pl. Zomba K–4, Szedres K–10, B–8, PAET–12; [163]). Az előtéri akkumuláció lassú voltát mutatja, hogy a mállástermékek áttelepítésével felhalmozódott tengelici képződményekben, ha van is, alárendelt a törmelék mennyisége (pl. Tengelic–2 fúrás; [126]). Ez a felszínfejlődés nemcsak hosszú ideig tartott, hanem szakaszos is volt, amit jól mutat pl., az Udvari–2A fúrás 4 szakaszra osztódó tengelici rétegsora [163]. A formációt tagoló paleotalajok a területen elsődlegesen pannóniai alapközeten, annak áttelepített hordalékain, ill. részben lehordott tengelici üledéken is kialakulhattak.

A kutatási terület mélyedéseit a kora-pleisztocén vége felé nagyobb részben tengelici vörösayag, tarkaagyag, kisebb részben az egykori völgyhálózathoz kötött vonalas anyagszállítási termékek (állandó vagy időszakos vízfolyások, szárazvölgyek folyóvízi, folyóvízi-proluviális, folyóvízi-deluviális és proluviális-deluviális üledékei) töltötték ki. Ezek az eltérő vastagságú és kifejlődésű üledéktípusok lényegében az egész területen, a magaslatokon vékonyabb, a mélyedésekben vastagabb kifejlődésben érintkeznek, helyettesítik egymást, és össze is fogazódnak.

Jelen kutatás fúrásai nem tártak fel igazolhatóan ebbe az időszakba sorolható folyóvízi képződményt. A Tengelici Vörösayag Formáció és a vékonyréteges, finomszemcsés, kvarter molluszkákkal jellemzett folyóvízi üledékek érintkezése, összefogazódása látszik pl. a Hegyhát É–ÉNy-i részén Tolnanémedi, Pincehely, Belecska térségében, valamint az M-6 autópálya mentén, Paks környezetében [203].

Kérdés, hogy ehhez az időszakhoz köthetők-e Paks, Földespuszta és Vajta környékén feltárt lamináris- és kereszttrétegzett folyóvízi homokok testek (MI-07, 4166, 4290-feltárások).



226. ábra Kereszttrétegzett folyóvízi homok Paks környezetében a 4166 feltárásban

(mértékléc: 115 cm)

A Tengelici Vörösayag Formáció képződési idejét jellemző mozaikos, egyik részén pusztuló, másik részén épülő felszínfejlődéssel magyarázzuk, hogy a tágabb térségben azonosított idősebb löszhorizontok nem tudtak minden területrészen megtelepedni.

A Tengelici Formáció képződése végére a térségi felszínt a reliefkülönbségek fokozatos kiegyenlítődése jellemezte, s adataink alapján az L12 Löszhorizont a térképezési terület legidősebb igazolt korú löszképződménye (Diósberény Db–1A), amely lokálisan tudott csak megmaradni. Az L12 és a Paksi Dupla talajkomplexum (Ps7) képződési időszakában párhuzamosan folyt a Paksi Lösz Formáció és a Tengelici Vörösayag Formáció felhalmozódása, az utóbbi fokozatos háttérbe szorulásával. A Paksi Dupla Talajkomplexum (Ps7) már lényegében az egész területen meg tudott maradni.

Valószínűsíthető, hogy az üledékképződés jellegének ez a változása, vagyis a vörösayag–tarkaagyag képződésének fokozatos megszűnése és a löszképződés uralomra jutása a területen elsősorban nem klimatikus, hanem nagyrészt felszínfejlődési, geomorfológiai okokra vezethető vissza. A két formáció L8–Ps7 képződési ideje alatti párhuzamos fejlődését a Szekszárdi-dombságban paleomágneses mérési eredmények is igazolják [188] [221].

Kora- és középső-pleisztocén (L8–Mende Bázis) szakasz

Az Idős Löszsorozat felhalmozódási szakasza a Mendei Bázis Talajkomplexum (Ps5) képződésének végéig, megközelítően a középső-pleisztocén kiemelkedés kezdetéig tartott.

A ciklikus lösz–paleotalaj-képződés tehát a kutatási területen mintegy 1,2 MA évvel ezelőtt a kiegyenlített felszínek fokozatos térnyerésével indult meg, és a PD2 paleotalaj idejére általánosan jellemzővé vált. A terület legidősebb löszképződményét az L12 Löszhorizontot a Diósberény Db–1A fúrás tárta fel. A Paksi Lösz Formáció a tágabb térségben is a legteljesebb ismert 97,0 m vastag rétegsora a globális korreláció szerinti Ps10 paleotalajjal kezdődik [218] [164]. Ez a fejlődési szakasz a középső-pleisztocénben megközelítőleg a Mendei Bázis Talajhorizont (Ps5) képződésével ért véget.

83. táblázat A Paksi Lösz Formáció térségi kifejlődéseinek korrelációja a tengeri oxigénizotóp skálával [164].

Kolozsár & Marsi (2010)			Pécsi (1995)	
Horizon	Marine Isotope Stage	Age (ky)	Paleosol	Age (ky)
recent soil	1	0–12	recent soil	0–11.3
L1	2	12–30		
Ps1	3	30–60	h1+h2	16–32
L2	4	60–70		
Ps2	5	70–130	MF1+MF2	45–105
L3	6	130–190		
Ps3/1+Ps3/2	7	190–240	BD1+BD2	120–170
L4	8	240–280		
Ps4	9	280–330	BA	195–230
L5	10	330–380		
Ps5	11	380–410	MB1+MB2	280–360
L6	12	410–460		
Ps6/1-hiány	13	460–500	Phe1+Phe2	360–460
Ps6L	14	500–550		
Ps6	15	550–620	Mtp1+Mtp2	480–500
L7	16	620–670		
Ps7/1	17	670–710	PD1	565–585
Ps7L	18	710–730		
Ps7/2	19	730–790	PD2	600–630
L8	20	790–800		
Ps8/1+Ps8/2	21	800–870	PDK	750–765
L9	22	870–900		
Ps9	23+24+25	900–960		
L10	26	960–990		
Ps10	27–32	990–1100		

Az Idős Löszsorozat lényegében az egész terület belső, eróziótól védett, lankás térszínein közel szintesen, a dombság peremi részei felé enyhén lejtő térszínre települt.

Az Idős Löszsorozat löszhorizontjai erősebben mállottak, mint a fiatalok. A mállottság az agyagtartalmuk növekedésében tükröződik, és egy-egy horizonton belül is felfelé fokozatosan csökken. A löszhorizontokat a fekü paleotalajtól átmeneti talajzóna választja el, ami meginduló és fokozatosan felgyorsuló löszképződés eredménye, amikor a gyors üledék-felhalmozódással a talajosodás nem tudott lépést tartani [219] [220] [379]. Az idős lösz- és

paleotalaj képződmények itt vázolt és a Hegyháti, ill. Bátaapáti kutatások során részleteiben igazolt tulajdonságait a PAET-jelű kutatófúrások vonatkozó karotázis-görbéi is jól mutatják (pl. PAET–8, PAET–11, PAET–12 stb.).

Az alapvetően hideg stadiálisokban folyó löszképződés mellett az interstadiálisokban mintegy 700 000 évtől kezdődően megváltozott a talajképződés jellege. A fentebbi fúrások, ill. feltárások (Paks, téglagyár, Dunakömlőd, Dunaföldvár, Hegyhát, stb.) adatai alapján kitűnik, hogy a korábbi talajképződési szakaszban a vörös Paksi Dupla Talajhorizontot kialakító száraz, mediterrán klíma helyett enyhe, nedves klímát jelző barna erdőtalajok képződtek. Ezeknek két fő horizontja, a Paksi Homokos Talajhorizont (PH) és a Mendei Bázis Talajhorizont (MB) fejlődött ki a területen (1. táblázat).

Az Idős Löszsorozat képződési idején is voltak lepusztulási folyamatok a területen. Ez több PAET-jelű fúrás PD2 alatti szakasza is jól mutatja.

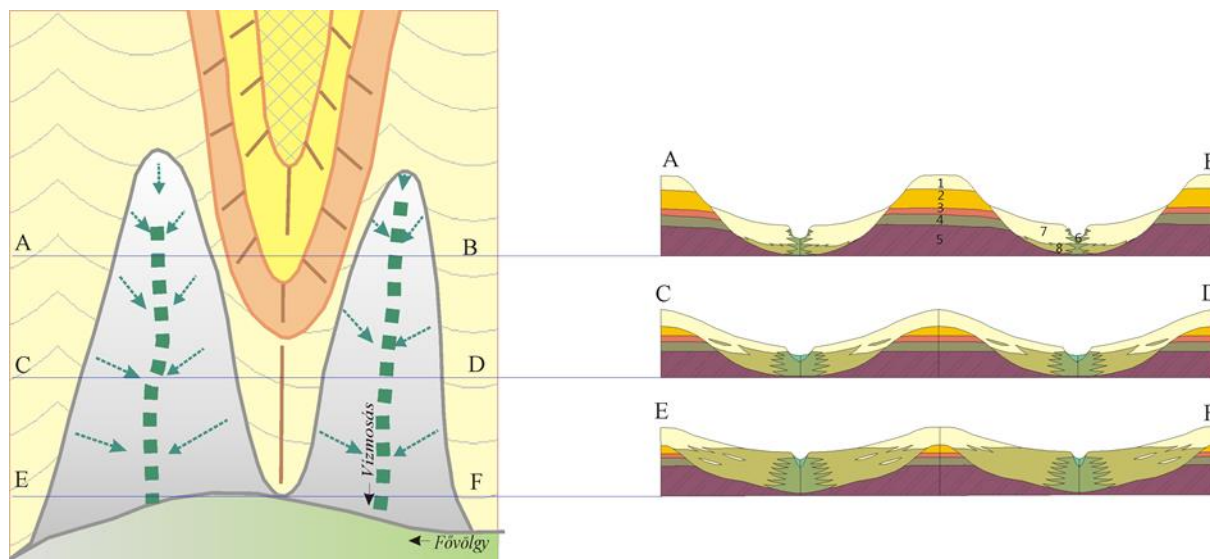
A földtani kor megállapítása szempontjából az Udvari–2A fúrás adatai jó kiegészítést adnak a Bátaapáti adatok. Ott a malakológiai adatok alapján az L6 vagy L7 Löszhorizontot lehetett kimutatni. Ez megerősíti, sőt pontosítja a palinológiai vizsgálatok által valószínűsített középső-pleisztocén kort [217].

A térképezési területen Löszformáció lerakódása mellett tovább folytatódott a folyóvízi üledékképződés is. A fentebbi fejezetben bemutatott folyóvízi kifejlődések a jelen fejlődéstörténeti szakasz lösz- és paleotalaj képződményeit is helyettesíthetik.

Középső-pleisztocén (L6–L4) szakasz

A középső-pleisztocén kiemelkedés, az ezt követő erőteljes lepusztulás, domborzati tagolódás és kiterjedő folyóvízi üledék-felhalmozódás, az L6–L4 Löszhorizontok képződési idejének szakasza.

A kutatási terület mai morfológiai képét leginkább meghatározó történések a középső-pleisztocénben, megközelítőleg az idős és fiatal löszképződmények határán érték a területet. Ebben az időszakban olyan szerkezeti mozgás kezdődött, ami nagymértékben differenciálta a térség kistájainak hasonló földtani, morfológiai tulajdonságait. A térképezési terület, összhangban a tágabb térség szerkezeti feldarabolódásával ([2] 82 p.) három fő kifejlődési típusra tagolódott. Úgy, mint védett centrális dombsági területrészek, előtéri, völgyoldali lejtős térszínek, ill. folyóvízi akkumulációs síksági térszínek (227. ábra).



227. ábra Védett dombsági és völgyoldali lejtős területek fejlődése

1=Fiatal Lössorozat; 2=Idős Lössorozat; 3=Tengelici Formáció; 4= Finomszemcsés fekképződmények
5=Durvaszemcsés fekképződmények; 6=Ielenlegi alluvium; 7=Fiatal lösz, lejtőlöss; 8=Cszuzamlásos, szoliflukciós és lejtőképződmények

Az első két kifejlődési típusba tartoznak a tágabb térképezési terület dombvidékeinek (Tolnai-Mezőföld, Szekszárdi-Domság, Hegyhát) denudációtól védett belső részei, ill. az övező változékony, szabdaltságtól védett lejtős területek. A Solti-síkságon, Paks-Tolna közötti síkvidéki pásztaban, ill. Sárközben — valószínű már ebben a szakaszban — markáns folyóvízi üledékképződés kezdődött (227. ábra).

A Hegyháti és Bátaapáti kutatások bőséges információt szolgáltattak a dombvidéki térszínnek középső-pleisztocén kiemelkedést követő fejlődés-menetéről [163] [20]. A térségi morfológiai emelkedés egyik fő bizonyítékának azt tartjuk, hogy a Fiatal Lössorozat fekmorfológiája erőteljesen eltér az Idős Lössorozat kiegyenlített, nyugodt, az előtér felé enyhén lejtő településétől. Az eltérés úgy jelentkezik, hogy a löszformáció csak az eróziótól védett platósínteken tekinthető folyamatosnak, a pusztulásnak kitett völgyoldalak, völgyek felé fokozatosan növekvő eróziós diszkordancia tapasztalható.

A védett centrális területek felől a lejtők, fő völgyek felé haladva, a platóterületeken a löszrétegsor folyamatos kifejlődésű, a Fiatal Lössorozat a fekü löszképződményekhez hasonló, nyugodt településű, legfeljebb lokális különbségeket mutat (Udvari–2A, Mórágymó–12, Üveghuta–22 fúrások). Lejtőirányban az idős lösz tetején, ill. a fiatal lösz alján egyre erőteljesebb hiány tapasztalható a rétegsorokban (226. ábra). A felületi eróziós lejtők alján — a nagyobb völgyoldalak mentén — helyenként jól nyomon követhető fekü eróziós, nyesett felszínek.

A reliefenergia radikális növekedése miatt mély és intenzív völgybevágódás kezdődött. Ez a bevágódás nagyon erőteljes letarolódáshoz, a domborzat nagyarányú tagolódásához vezetett. A terület meglévő völgyhálózatát kimélyült és hátravágódott. Az új geomorfológiai helyzetben gyorsan megindult a völgyoldalak felszabdálódása, és egy új, sűrű vízmosáshálózat alakult ki, ami erőteljes lejtőlehordást indukált. A nagy reliefenergia miatt az állandó és időszakos vízfolyásokban, szárazvölgyekben gyors volt a vonalas anyagszállítás és a hozzájuk kapcsolódó területi erózió is. A domborzati tagolódáshoz ezek mellett nagyban hozzájárult, hogy a kiszélesedett fővölgyek oldalain, valamint a mellékvölgyekben, azok hátravágódását mintegy követve hatalmas csuszamlások keletkeztek. A mellékvölgyek

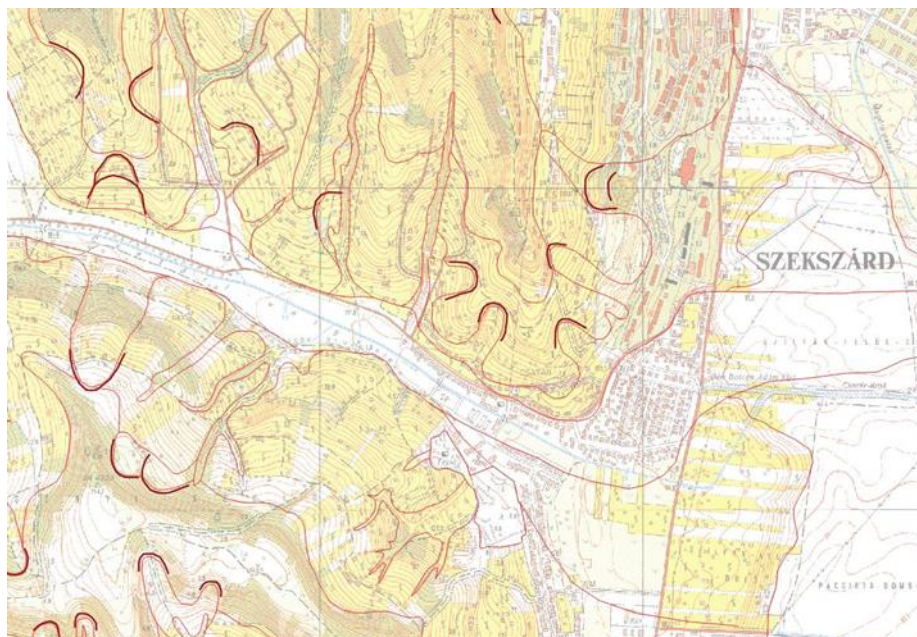
kijáratából kezdetben gyorsan lehordódott anyag felszabadította a helyet újabb suvadásos tömegek számára, miáltal azok is elszállítottak vagy lejtőképződményeké váltak.

A felszíni völgy- és vízmosás hálózat vizsgálatából kitűnik, hogy vízmosások jellemző hossza 300–600 m között váltakozik. A vízmosásokhoz kapcsolódó areálishan pusztuló lejtők 200-300 m-es sávja összességében a táj területének több mint felét elfoglalja. Ezeket a térszíneket ebben az időszakban már nem kiegyenlített térszíneken történő típusos löszképződés, hanem elsősorban letarolás és lejtőfejlődés jellemzi. A dombsági térszinek kiemelkedését követő csuszamlásos, szoliflukciós és lejtőfolyamatok által áttelepített anyag egy része tehát eltávozott a folyóvízi üledékekkel, beépült azokba, másik részük a lejtők alján maradt és lokálisan elegyengetődtek. Erre az egyengetett hepehupás felszínre települtek a következő fejlődési fázis, a Fialtal Löszsorozat képződményei. A rétegsorban mutatkozó réteghiány pedig jól becsülhető adatot ad a lejátszódott események idejéről. A szerkezeti elmozdulás idejét a maradványfelszín alatti rétegsorban még megmaradt legfiatalabb azonosítható horizont és a kiemelkedést követő üledékes sorozatban felismerhető legidősebb horizont kora határolja be.

A Bátaapáti kutatási adatok alapján a térség kiemelkedésének leghosszabb lehetséges ideje az L6–L4 horizontok, a legrövidebb pedig az L5 horizont által lefedett időszakban lehetett [20]. Hegyhát területén, míg az eróziótól védett helyzetben mélyült Udvari–2A fúrás löszrétegsora szinte teljes, addig a Kapos-völgy közelében mélyült Diósberény Db–1A fúrás 25,8–32,7 m közötti szakaszán a PH-talajhorizont és az L3 Löszhorizont között a Löszformáció rétegeit folyóvízi és fluvioeolikus képződmények helyettesítik [218] [164].

Ugyanebben az időszakban zajlott folyamatokra világít rá a Paksi téglagyár klasszikus feltárásai fölötti tetőn mélyített PAET–9 fúrás rétegsora is. A 30,0–35,0 m közötti szakaszon pangóvízes, glejes lejtőképződmények települnek a BA Talajhorizont és az L5 Löszhorizont helyén. Dunaföldvár térségében a 4315, 4319 feltárások rétegsorai arról tanúskodnak, hogy folyóvízi képződmények települnek fiatal löszképződmények alatt. A folyóvízi üledéket mindkét feltárásban Ramann-féle barna erdőtalaj zárja, így ez a szakasz az Idős Löszsorozat Felső Összletét, nagy valószínűséggel az MB Talajhorizontot (Ps5) képviseli. A folyóvízi üledékre települő lösz-paleotalaj sorozatban a löszhorizontokat csernozjom barna erdőtalaj tagolja, azaz a Fialtal Löszsorozat Alsó Összletébe tartozik.

A tágabb térképezési terület egyes dombsági térszínein jól elkülöníthető a denudációtól védett, központi blokkok, valamint a hiányos rétegsorú lejtők völgyperemek un. két lépcsős morfológiája (228. ábra) Ilyen felépítésű pl. lényegében az egész Szekszárdi-dombság, valamint a Hegyhát É-i része Simontornya környékén (60x60 km-es földtani térkép).



228. ábra Suvadásokkal szabdaltnak jellegzetes „két lépcsős” domborzat Szekszárd környékén

(a szomszédos koordináta rácspontok távolsága 1 km)

Valószínű, hogy ebben a fejlődéstörténeti szakaszban alakultak ki egyes dombvidékek aszimmetrikus völgyei is. A völgyek relatíve kiemelt, meredek D-DK-i oldalain rendszerint idősebb képződmények (Újfalvi Formáció, Tengelici Vörösagyag Formáció rétegei, ill. a Paksi Löss Formáció Idős Lössorozata) tárulnak fel, melyeket markáns csuszamlásos és más lejtőfolyamatok kísérik. A laposabb, lankás É-ÉNy-i oldalakon általában nyugodt településű fiatal löszképződmények nyomozhatók.

Az ilyen aszimmetrikus völgyek főként a Hegyháton, kisebb mértékben a Szekszárdi-dombságban, Kakasd térségében jellemzőek. Ebbe a típusba tartozik pl. a Kapos völgy Belecska – Tolnanémedi térségében, a Donát-patak völgye (4216, 4217 feltárások), a Hidas-patak völgye Kölesd és Kistormás környékén (4128, 4131 feltárások) és Kéty környékén (4250, 4252 feltárások), a Rák-patak völgye (4150, 4152, 4153 feltárások), valamint a Völgységi-patak (4176–4180 feltárások).

A kutatási terület fejlődéstörténete szempontjából kiemelkedő szerep jut a Duna-menti tájaknak, s az É-D-i irányú Duna-völgy kialakulásának. Erdélyi [72] Pécsi ([256] 345 p.) ill. Rónai [285] szerint a folyó medre a Würm, ill. Riss–Würm folyamán terelődött a jelenlegi irányába.

Kretzoi [178] vizsgálatai nyomán „günz” utáni regionális peremhegységi kiemelkedést valószínűsít. Ez a nagymértékű reliefenergia növekedést követően a kiemelt részekben letarolódást eredményezett, míg a medencében üledék felhalmozódás forrása lett.

Kretzoi, Krolopp [179] nagyszámú alföldi negyedkori molluszka vizsgálat alapján a terület posztpanóniai üledékeit 3 egységekre — pliocén jellegű, günz–mindel, valamint felső-pleisztocén komplexumokra — tagolta. Kimutatták, hogy a günz–mindel interglaciális jelző középső komplexum *Viviparus böckhi*-s szintje az egész Duna–Tisza-közén általánosan elterjedt. A Duna–Tisza-köze DNy-i részén, de különösen a Duna-völgyben Miskén és

Dávodon megismert leletek egyértelműen bizonyítják, hogy a Duna a gүнz–mindelben már a mai helyén folyt.

A Duna alföldi hordalékkúpjának részletes vizsgálata nyomán [232] is arra a következtetésre jutott, hogy a Duna folyó, Duna–Tisza közti átlós irányú folyását a gүнz–mindel interglaciálisban hagyta el, és foglalta el a mai É–D-i irányú helyét.

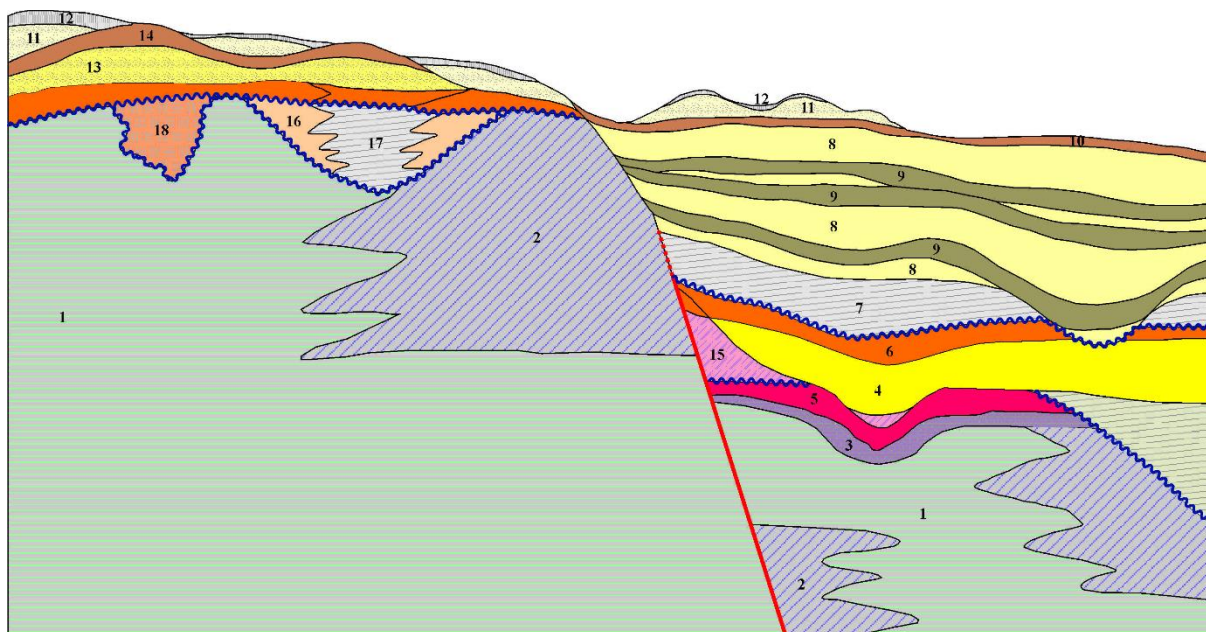
Ádám ([2] 82 p.) szerint a Sárköz elkülönülése a Szekszárdi-dombságtól, s a terület jelentős süllyedése — minden bizonnyal — a középső-pleisztocénben zajlott regionális szerkezeti mozgásokhoz köthetően kezdődött.

Thamó-Bozsó [332] jelen kutatás során mért abszolút kor adatai is ez utóbbi álláspontot erősítik. Az Akasztó közelében mélyült PAET-10 fúrás 93,0 m-ig a Duna által felhalmozott durvatörmelékességet harántolt. A fúrás 31,1 m mélységéből vett minta kora $188,3 \pm 19,1$ ezer évnek adódott. A reliefenergia csökkenésével, így az üledék felhalmozódás sebességének csökkenésével számolva megalapozottnak látszik, hogy a területen a dunai eredetű üledék felhalmozódása a gүнz–mindel interglaciálisban kezdődött. Ez az adat összhangban van a térség, s benne kutatási terület dombsági részein a löszrétegsorban egyértelműen kimutatott L4-L6 Löszhorizontok képződési idejére tehető réteghiánnyal, ill. fácies-változásokkal.

Az érintett terület vastag folyóvízi összletének a „Kalocsai-üstben” lerakódott alsó szakaszát Pécsi ([256] 345 p.), Rónai [285] a Sió hordalékának tartották. PAET-10 fúrás fúrás rétegsorában a folyóvízi üledék folyamatos, végig egyveretű, azaz egy közeg, a Duna által felhalmozott. A képződmény dunai eredetét támasztja alá az is, hogy a PAET-jelű kutatófúrások a kutatási terület Ny-i részén, így Sió-völgy környezetében sem tártak fel a PAET-10 rétegsorához hasonlító kőzetet.

Középső-pleisztocén–holocén (L4-6–Recens Talajhorizont) szakasz

A földtani fejlődésnek a fiatal, a jelenkorig tartó záró fejlődési szakaszát a dombvidékeken (229. ábra) a reliefenergia fokozatos csökkenése és a morfológiai kiegyenlítődés irányába ható felszínfejlődési folyamatok, az üledékgyűjtőkben folyóvízi üledék-felhalmozódás jellemzik. A közölt elvi szelvény leginkább a Dél-Mezőföld ÉNy-DK-i irányú hosszanti völgyeire merőleges metszetben jellemző földtani felépítést vázolja. A fentebbi pontok alapján látszik, hogy földtani szempontból ez a fejlődéstörténeti szakasz is átfedésben van az előzővel, mivel egyrészt legtovább az L4, de lehet, hogy csak az L5 képződési időszakával bezárólag folytatódik a regionális kiemelkedés, másrészt az ép platórészekben a kiemelkedés ellenére az L5–L4 szakaszban is folyamatos a Paksi Lösz Formáció fejlődése.



229. ábra Domsbágyi térszínnek jellemző kifejlődései (elvi szelvény) A Dél-Mezőföld ÉNy–DK-i irányú hosszanti völgyeire merőleges metszetben jellemző földtani felépítés.

A szelvény függőlegesen mintegy 100 m rétegsort reprezentál. 1= pannóniai homok; 2= pannóniai agyag, aleurit; 3=Tengelici Formáció; 4=idős lösz; 5 mediterrán talaj; 6= Ramann féle barna erdőtalaj; 7= folyóvízi képződmény; 8=fiatal lösz; 9=csernozjom barna erdőtalaj; 10=mészlepedékes csernozjom talaj; 11=fiatal futóhomok; 12=humuszos homok talaj; 13=idős futóhomok; 14=csernozjom jellegű homok talaj; 15=suvadásos és lejtőképződmény; 16=tarkaagyag; 17=idős folyóvízi-proluviális képződmény; 18=idős lejtőképződmény

A térképezési területen a völgyek folyóvízi üledékképződését, a lehordás, felhalmozódás alakulását és ehhez kapcsolódóan a lejtőfejlődést alapvetően a Duna-üledékek időbeli- és szintváltozása határozta meg.

Az Akasztó-Kalocsa térségében 100 m-t is megközelítő Duna üledék a területen alapvetően egy süllyedéket kitöltő hordalékkúp síkság. Az üledéksorban a legidősebb képződmények nem a teraszokon, hanem alul helyezkednek el, s a fő tendenciát tekintve felfelé fiatalodnak. A kutatási terület felszínén is nyomozható Duna üledékei egy markáns övzátányívekkel rendelkező fonatos alluviális övet, valamint ehhez Ny-felé egy futóhomokkal változékonyan fedett teraszszintet alkot (lásd. 3.1.1.1. Fejezet). Ez utóbbira épült az atomerőmű. A fonatos alluviális ártér (90,0-92,0 m) és a futóhomokkal fedett terasz területén (98,0-100,0 m.) a tényleges Duna üledékek tetőszintjei nem térnek el lényegesen egymástól. A teraszt borító futóhomok nélkül szinte alig van magasságkülönbség a két kifejlődés között. A dunai durvatörmelékes mederüledékek a tárgyalt területen mért kora középső–felső-pleisztocén. A legidősebb kor a PAET–10 fúrásban volt (31,1 m; 188,3 ezer év). Az erőmű területén a Paks 881. fúrásban (25,6 m; 40,0 ezer év, ill. III–6-D fúrásban 18,7-19,2 m; 29,0 ezer év), a paksi kikötőben (1,9 m-ben 15,5 ezer év) [136] [332]. A hordalékkúp abszolút koradatai alapján az látszik, hogy a folyó legalább 40 ezer évvel ezelőtt morfológiai, vagy szerkezeti okokból Ny-ra terelődött, majd a futóhomokkal fedett terasz területét felhagyva, az óholocén folyamán foglalta el a mai fonatos alluviális ártérét.

A tágabb térség földtani térképén látszik, hogy Sió-völgyben is a Dunával megfeleltethető alluviális szintek nyomozhatók, azaz: kis kanyarulatokkal jellemzett újholocén alacsony ártér, övzátányíves magas ártér és futóhomokkal fedett felső-pleisztocén

terasz. Ezen kívül egy, nagyrészt a löszformáció üledékeivel fedett, terasznak minősíthető ártéri színlőt is sikerült azonosítani (Sárszentlőrinc környéke).

A Balla et al. [20] igazolták, hogy a kutatási terület közelében a nagyobb patak völgyek holocén üledékei alatt felső–pleisztocén hordalék települ. Kismórágy és Mórágy közötti kutatófúrások (Mórágy Mó-I és Mó-II) rétegsora alapján kb. a Basaharci Dupla talaj (Ps3) keletkezési idejéhez köthető annak a lejtőfejlődési szakasznak kezdete, melynek során a terület fokozatosan csökkenő reliefenergiája következtében a völgyoldali lejtőkön egyre gyakrabban megmaradhettek a különböző lejtőképződmények. Ezek kifejlődés, rétegtani és morfológiai helyzet szerint is elkülönülnek.

Balla et al. [20] kutatásai arra is rávilágítottak, hogy a nagy völgyoldalak lejtős térszínein főként a löszképződési időszakokban keletkeztek a szoliflukciós üledékek, s ezeken az interglaciálisokban, interstadiálisokban ugyanolyan genetikájú talajok keletkeztek, mint a platótérszínek típusos löszein. Ezek a rétegsorok arról is tanúskodnak, hogy a lejtők regionális kiegyenlítődése a térségben legkésőbb a Basaharci Dupla Talajhorizont képződési ideje előtt megkezdődött.

A Fialat Löszsorozat Alsó Összletének képződése idején a talajképződési szakaszok éghajlata kissé szárazabbá vált, mint az „öreg lösz” felső szakaszán. Itt a barna erdőtalajokkal szemben erdőssztyepp talajok keletkeztek, alulról felfelé a Basaharci Alsó (Ps4), a Basaharci Dupla (Ps3) és a Mendei Felső (Ps2) Talaj–horizont. A löszkötegek a karotázsgörbéken alapuló becslés alapján közepesen agyagosak, és az egyes rétegek agyagtartalma általában felfelé haladva fogy.

A Fialat Löszsorozat Felső Összletének löszhorizontjai a típusos fakósárga, állékony würm löszök. A formáció löszei közül legkisebb az agyagtartalmuk, legkevésbé mállottak. Nagy területen egy-egy fiatal glaciális horizonton belül jellemzőek a fokozatos lösz-futóhomok átmenetek.

A Fialat Löszsorozat tehát csak a platóterületeken teljes, ott települ folyamatosan az idős löszre. A lejtőkön, völgyoldalakon hiányos, eróziós diszkordanciával települ a nyesett, gyakran ívelt, lejtős felszínű fekére, kiszélesedett völgyoldalakra. Részben összefogazódik más lejtőképződeményekkel, lejtőlösz változatokkal, és a fokozatosan kiegyenlítődő lejtőkön egyre teljesebb.

A dombsági lösz- futóhomok vidékek területének földtani fejlődése a középső pleisztocén végétől tehát alapvetően a domborzati kiegyenlítődéés irányába mutat (229. ábra). Az erózió, ill. akkumuláció menetét a futóhomok- és löszképződési, valamint az enyhe, csapadékos talajképződési szakaszok ciklikus váltakozása szabja meg, amit mára az antropogén folyamatok is erőteljesen befolyásolnak.

3.1.2 Geomorfológiai értékelés, jelenkori földtani és tektonikai folyamatok

A kutatási terület fiatal (poszt-pannóniai) fejlődéstörténetének, valamint jelenkori felszínalakító (aktuálgeológiai–geomorfológiai) és tektonikai folyamatainak megismerése több szakterület eredményeinek együttes értelmezésével lehetséges. Ez a fejezet a geomorfológiai és morfortektonikai térképezés és a hozzájuk kapcsolódó adatfeldolgozás, valamint a kvarter vetőaktivitás megismerésére mélyült Pa-21 kutatóárok eredményeinek integrált értékelését adja fejlődéstörténeti keretben, támaszkodva a geomorfológiai és földtani térképezés alapadataira és a geofizikai vizsgálatok eredményire (3.1.1. fejezet) is.

3.1.2.1 Felszínalakulás, fejlődéstörténet

A kutatási terv elsősorban a kvarter fejlődéstörténet vizsgálatát kívánja meg a geomorfológiai munkarészekben. Ennek megértéséhez azonban célszerű az értékelést valamivel korábbról, a Pannon-tó feltöltődésével kialakuló, igen enyhe domborzatú térszín létrejöttétől kezdeni, és az ezt a követő folyamatok felszínformáló hatását a geomorfológiai értelmezésbe bevonni is.

3.1.2.1.1 Késő-miocén–pliocén

A Pannon-tó feltöltődését követően a Kárpát-medence jelentős részén a tavat feltöltő folyóvízi rendszer üledékei rakódtak le, melyeket a Zagyvai Formációba sorolunk. A kutatás keretében mélyült fúrások nem harántoltak a formációba tartozó képződményeket (3.1.1.1.4 és 3.1.1.6.2 fejezetek). A Zagyvai Formáció hiánya a területen két irányba mutathat. Lehetséges, hogy a Pannon-tavat feltöltő folyóhálózat fő ágai elkerülték a területet. Ez esetben a terület emelkedése, ami ebben az időszakban a medenceinverzió megindulásával magyarázható, már a tavi összlet képződésének a végén, a miocén legvégén el kellett hogy kezdődjön. A másik lehetőség szerint a már lerakódott folyóvízi összlet még a Tengelici Formáció képződését megelőzően lepusztulhatott, ami valamivel később kezdődő neotektonikus inverzióval lenne magyarázható. Mindkét esetben a kiemelkedés valamilyen szinten már tagolt domborzat hozhatott létre a negyedidőszak kezdetére.

3.1.2.1.2 Pliocén–kora-pleisztocén

A pliocén–kora-pleisztocén felszínformálódásra a Tengelici Formáció részben eluviális, részben deluviális, áthalmozott üledékei nyújtanak támpontot: váltakozóan nedves-száraz, meleg klímán hosszán tartó talajképződés folyt. A mállást elősegítő éghajlat hosszú uralmát mutatják a projekt keretében mélyült fúrások akár több 10 m vastag, több talajszintet tartalmazó rétegsorai. A domborzat tagoltságára lehet következtetni a fúrásokban a Tengelici Formációba sorolt szakaszok változatos litológiája alapján. Ezt erősítik meg a Pa-21 árkot előkészítő sekélyfúrások, ahol hasonló közettani felépítésű, erős málláson átesett homokos sorozat redukív, mélyebb térszíni és oxidált, magasabb térszíni kifejlődése egymás közvetlen közelében fordul elő. Egyetértve [216] Marsi I. (2016) véleményével, a Tengelici Formáció kora valószínűleg nem korlátozható a kora- és középső-pleisztocénre, képződése a pliocénban elkezdődhetett már. [261] Pécsi M 1991 a Tengelici Formációt „Dunaföldvári formáció” néven írta le, korát a kora-pleisztocén és a pliocén egészét átfogóan értelmezte. [161] Koloszar L. 2004 szerint azonban nincs egyértelmű bizonyíték a Tengelici Formáció dombvidéki összletének pliocén korára, azonban jelen mű rétegtani fejezetében (3.1.1.1 fejezet) nem zárja ki a pliocén kor lehetőségét sem.

3.1.2.1.3 Idős pleisztocén vízhálózat

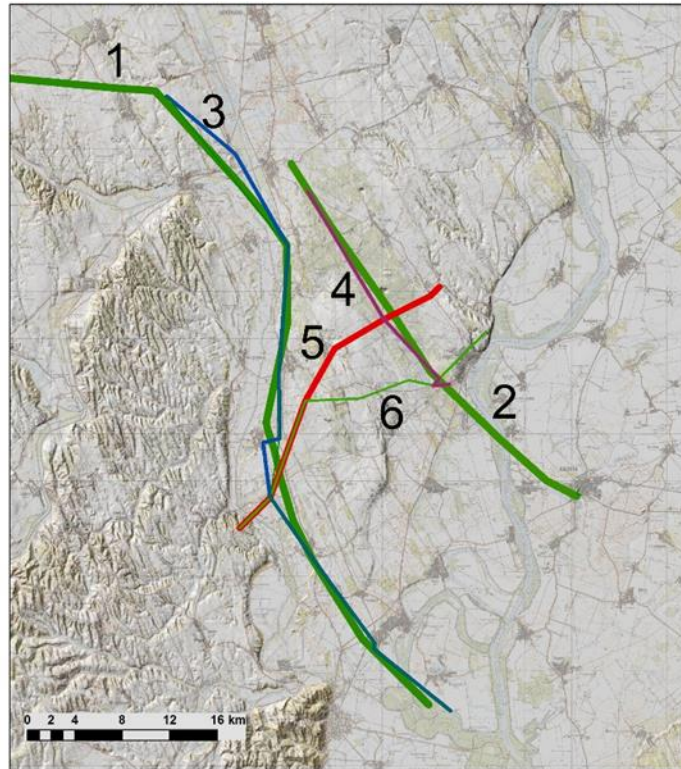
A pleisztocén első felében a térszín a Tengelici Formáció képződésének végén kiegyenlítettebbé vált [216] szerint. Ebből az időszakból már több helyen ismerünk folyóvízi üledékeket. Idős, kora-pleisztocén folyóvízi homokot korábban számos feltárás rétegsorában említett [4] a Hegyháton. Kora- és középső-pleisztocén folyóvízi összleteket a Mezőföldön is több szerző leírt [212][320][5]. A mai futóhomokfelszínekkel nagyjából megegyező mezőföldi területen a kora-pleisztocénben törmelékkúpot [212], a későbbi szerzők hordalékkúpot írtak le. Jelen kutatás során igazolhatóan pliocén–kora-pleisztocén korú folyóvízi rétegek felszíni feltárásból nem kerültek elő. A legidősebb folyóvízi homok az M6 Paks-déli kijárata melletti homokbányából ismert, az OSL mérések eredményeként annyi

állapítható meg róla, hogy 300 ezer évnél idősebb [333]. Fúrásban a PAET-1 rétegsorában a lösz fekéjében települő, előzetesen a Tengelici Formációhoz sorolt összlet egy része utal folyóvízi, ártéri környezetre.

A kutatási terület idős folyóvízi képződményei a tágabb környezet ismerete alapján értelmezhetők. A kutatási terület és a Dunántúli-középhegység között régóta ismertek faunával datált folyóvízi üledékek. Az ún. kenese–városhídvégi meder szabadhídvégi, legdélebbi felszíni előfordulásának faunáját [182] vizsgálta. A késő-villányi (2,2 – 2,1 Ma körüli) korú fauna ökológiai jellege feltöltődő folyómederre utal. Az ugyancsak régóta ismert kislángi feltárások folyóvízi, kevert korú faunát tartalmazó üledékének kora [183] szerint ugyancsak késő-villányi. [224] erősen kevert, többszörösen áthalmazott faunaként értékelte a leleteket, azonban beosztásában a legfiatalabb faunaelemek közelítően megerősítik a korábbi korolást, a fajok jelentős részének kora 1,6 – 2,0 Ma közé tehető. A villányi/bihari határ korát 2,1 Ma körül adta meg. Az idős pleisztocén, esetleg pliocén folyóvízi üledékek nyomozásával e folyók lefutása feltételesen megrajzolható alsóbb szakaszaikon is (230. ábra).

A teljes kutatási területen [148] ismertette számos fúrás faunáját és az ezek alapján megadható korokat. Szedres, Tengelic, Mözs, Bogyiszló és Kalocsa környékéről származó faunák a szabadhídvégi, kislángi faunával egyező kort igazoltak. A kalocsai fúrás közelében mélyült Búza téri fúrásban (feltehetően a K-43 fúrás) [73] leírása alapján a kora-pleisztocén faunát tartalmazó folyóvízi összlet fekéjében Tengelici Formáció települ. [212] Alsórácegresnél fúrásban 15 m lösz alatt a 32 m-es talpig folyóvízi rétegsort említ, Györköny mellett 3,5 m lösz alatt vastag folyóvízi összletet ír le, amiben áthalmazva feltehetően a Tengelici Formációból származó vörösagyag is települ. A rétegeket részben a kenese–városhídvégi meder, részben az „Ős-Sárvíz” üledékének tekinti, korát kora- és középső-pleisztocénként írja le (230. ábra). Ugyancsak hasonló korú szerinte a Németkér környéki hordalékkúp.

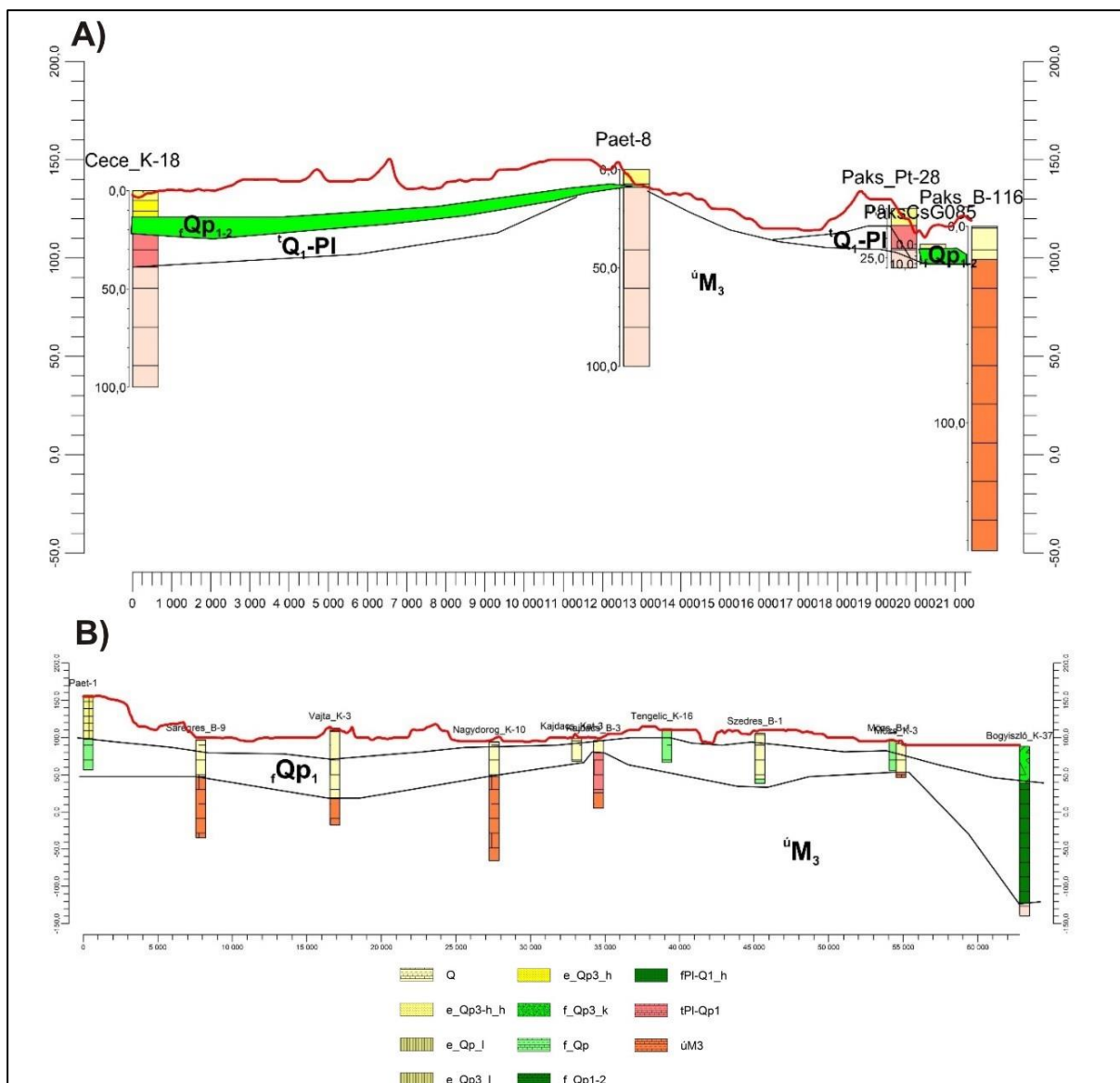
A fentiek alapján két, Cecétől DK-re közel párhuzamos, jelentős méretű folyóvölgy léte feltételezhető a Mezőföld DNy-i részén a kora-pleisztocén során. A keleti völgy a Kisláng–Németkér vonalon haladó Ős-Sárvíz völgye volt, ehhez tartozhatott az M6 Paks-dél kijárata melletti homokbánya 300 ezer évet meghaladó, tehát legalább középső-pleisztocén korú [333] folyóvízi homokja. Vitatott a PAET-8 fúrásban 7,3 – 9,1 m között harántolt kissé csillámos finom homok idetartozása, amit Csillag folyóvízi üledékként értelmezett, míg Marsi (3.1.1.6 fejezet) véleménye szerint a kvartert csak futóhomok képviseli a fúrásban. A nyugati a kenese–városhídvégi meder folytatása lehetett, ami Szabadhídvégtől Cece, Szedres, Tengelic, Mözs irányban követhető a Bogyiszló K-37 fúrásig. Ennek nyomvonalát jelzi a PAET-1 fúrás is. Az elkülöníthetőnek tűnő medrek, valamint a két egykori folyó erózióbázisának, a Dunának a távoli helyzete alapján megkérdőjelezhető az évtizedek óta használt, eleinte törmelék-, majd hordalékkúp minősítés a mezőföldi folyóvízi üledékek esetében. A kora-pleisztocénben a Duna jóval keletebbre, Jánoshalma környékén folyt [83], a középső-pleisztocénben jelent meg a mai Duna-völgy Kiskunság és a Tétel-halom–Kalocsa vonal közötti részén. A többi, szórványos, számos helyen leírt, de részletesen nem vizsgált folyóvízi homok előfordulás értelmezése további vizsgálatokat igényel.



230. ábra A kora-középső-pleisztocén folyók feltételezhető nyomvonala

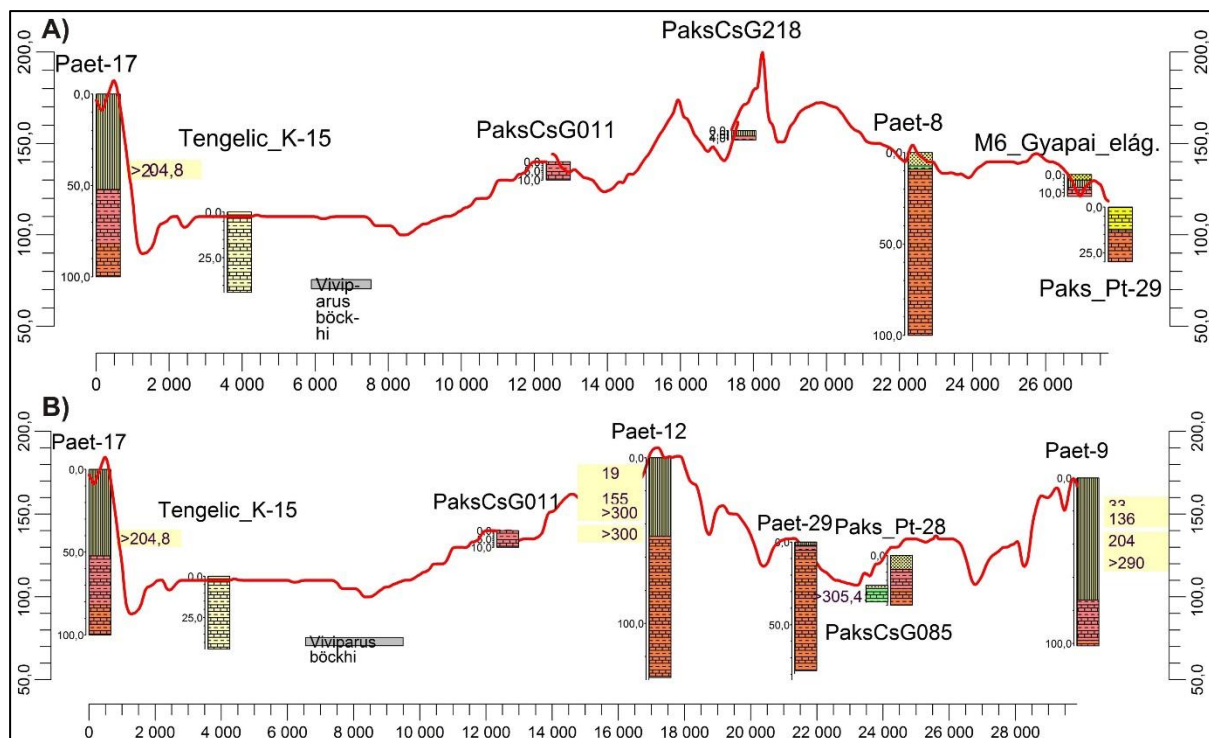
1: kenese-városhídvegi meder; 2: Ős-Sárvíz; 3: 231. ábra B szelvény nyomvonala; 4: 231. ábra A szelvény nyomvonala; 5: 232. ábra A szelvény nyomvonala; 6: 232. ábra B szelvény nyomvonala.

Az idős pleisztocén folyóvízi képződmények helyzetéből függőleges tektonikus mozgásokra is tudunk következtetni. Az a tény, hogy ezen üledékek feltárásai ÉNy-on felszínen vannak, míg a jelen kutatási területen eltemetve, a kutatási terület dunántúli részének a Közép-Dunántúlhoz viszonyított, nem túl nagy mértékű relatív süllyedésére utal a negyedidőszak során. Ezen túl a két egykori meder mai helyzete között is különbség van (231. ábra). A nyugati meder a mai Sió-Sárvíz völgy közvetlen környezetében, a völgy szintje alatt nyomozható. Ezzel szemben a keleti folyó, az Ős-Sárvíz üledéke 50-60 méterrel magasabb helyzetben van (232. ábra A, PAET-8 a Tengelic K-15-höz képest). Emellett erősebben lepusztult, foszlányosan fordul csak elő, tehát a keleti meder területének emelkedése még a pleisztocénen belül, a löszösszlet lerakódása előtt kellett történjen. Az emelkedés hatására a folyó elhagyta eredeti, Németkér felé vezető, viszonylag egyenes útvonalát, és a Györkönyi-hát megkerülésével nyugatra helyeződött át, a Sió-völgybe torkollott bele. Ez a nyomvonalváltás a németkéri völgyben Alsószentiván mellett lerakódott, 130 - 140 ka korú [249] futóhomok-paleotalaj sorozat lerakódása előtt kellett végbemenjen, azaz a középső-pleisztocén végén, összhangban [212] korábbi véleményével. A völgyhálózat mai formája a késő-pleisztocénben alakult ki.



231. ábra Az Ős-Sárvíz (A) és a kenese-városhídvégi meder (B) területén mélyült fúrások rétegsorai

A szelvények lefutását az 230. ábra mutatja. Jelmagyarázat: Q – kvarter általában, nem átértékelt fúrás alapján; e_Qp3-h_h – felső-pleisztocén–holocén futóhomok; e_Qp3_l – felső-pleisztocén lösz; e_Qp3_h – felső-pleisztocén futóhomok; f_Qp3_k – felső-pleisztocén folyóvízi kavics, kavicsos homok; f_Qp – pleisztocén folyóvízi összlet; – f_Qp1-2 – alsó- középső-pleisztocén folyóvízi összlet; fPl-Q1_h – plicén–alsó-pleisztocén folyóvízi homok; tPl-Q1 – Tengelici Formáció, úM3 – Újfalui Formáció.

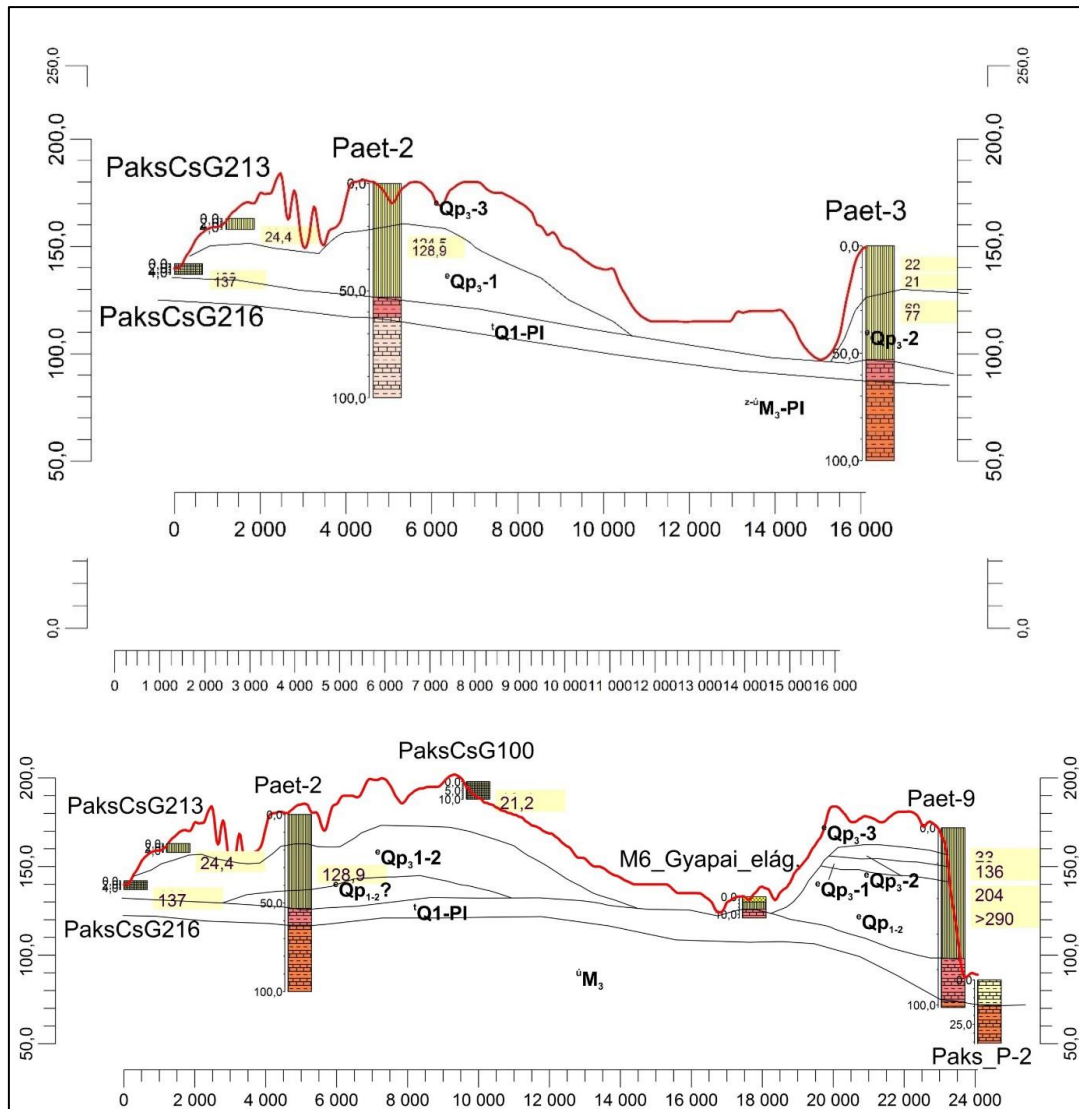


232. ábra A Tengelic Formáció és a fedő kvarter képződmények helyzetét mutató fúrási és feltárásszelvények a Mezőföldön.

A szelvények lefutását az 230. ábra mutatja.

3.1.2.1.4 Középső–késő-pleisztocén és holocén felszínformálódás

A középső–felső-pleisztocén képződményeket a dombsági területeken túlnyomórészt lösz-paleotalaj sorozatok képviselik. A löszsorozatot számos lepusztulási szint tagolja, ezt igazolják az OSL kormeghatározások, különösen a viszonylag részletesen vizsgált PAET-9 és PAET-12 esetében ([137] 38 p.) (233. ábra). Ebből részben az eolikus felszínformálódás túlsúlyára következtethetünk az adott időszakban, részben pedig feltételesen időszakos emelkedésre és lepusztulásra. A Dunántúlon másutt mért korokhoz [334] képest a kutatási területen a legfiatalabb löszök is viszonylag idősek: Németkér és Alsószentiván határában vagy a PAET-3 és PAET-12 fúrásokban is 20 ezer év körüliek ([137] 38 p.) [249][333]. Alig kisebb mélységben azonban máris sokkal idősebb löszök találhatóak, 70-150 ezer év közötti korról. Például a PAET-12 esetében a késő-pleisztocén végi (11,4 m: 29 ka, késő-würm) lösz alatt néhány méterrel (17,3 m) 155 ka korú középső-pleisztocén végi (riss) lösz települ.



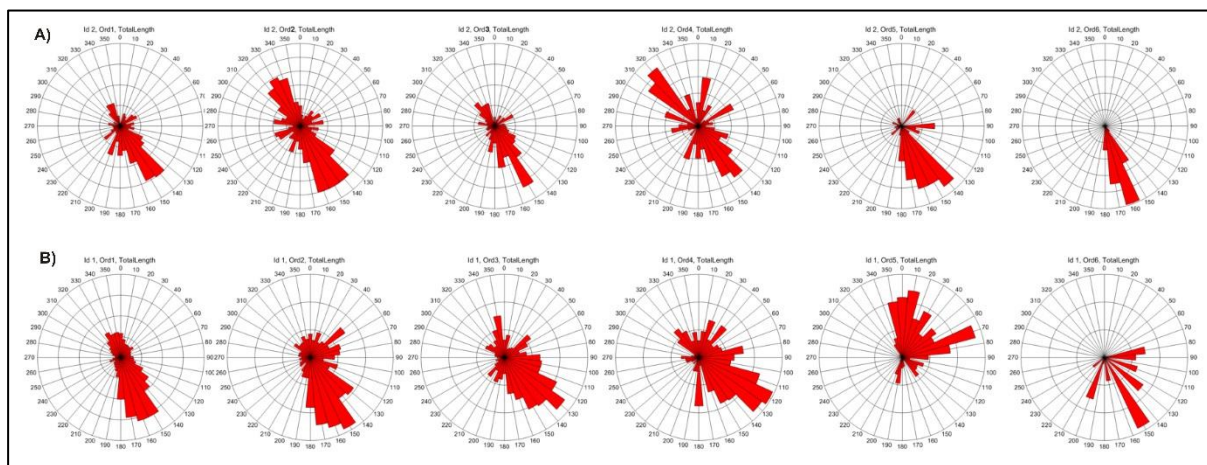
233. ábra A Mezőföld löszösszletének helyzete.

eQp-1 középső-pleisztocén és idősebb lösz az OSL mérések alapján; eQp-2 idős felső-pleisztocén lösz; eQp3-3 fiatal felső-pleisztocén lösz. OSL korok ([137] 38 p.) és [249] szerint.

A fiatal, 20-30 ezer éves lösz fedí a felszínt tetőkön, lejtőkön egyaránt; a völgyoldalakon csak ritkán kerülnek felszínre akár lejtőüledék formájában is paleotalaj-maradványok. Ez azt jelenti, hogy a legfiatalabb lösz egy, a maihoz igen hasonló felszínre települt, kissé kiegyenlítve a tagoltságát. A mai domborzat ezen a fiatal löszfelszínen alakult ki, ritkán átvágódva rajta.

A mai domborzat jellege és a legfiatalabb löszök hiánya a felszín jelentős, szélérozíóval történt átforgalmazásával magyarázható. A jellegzetes ÉNy–DK-i irányitottságot széles, lapos mélyedések és háta váltakozása mutatja számos területen; az egyik legjobb példa Alsószentiván környéke. Ugyancsak a szélérozíó alakította ki a mezőföldi löszfelszíneken a lapos, gyakran ugyancsak ÉNy–DK irányban megnyúlt tengelyű, lefolyástalan mélyedéseket is. Számos mai eróziós völgy is ezt az irányitottságot mutatja. Különösen igaz ez a Mezőföldre, ahol a Tolnai-dombsággal ellentétben nem csak a legkisebb, hanem bármilyen rendű vízfolyások statisztikai irányeloszlásában az uralkodó értékek megegyeznek a pleisztocén (és holocén) uralkodó szél irányával [330] (234. ábra). Ennek oka, hogy az

eolikus felszínformálódási szakaszokat követően a lineáris erózióval alakuló völgyek a már létező pályákat követve kezdtek bevágódni és alakultak (és jelenleg is alakulnak) át szélcsatornákból deráziós, majd eróziós völgyekké.



234. ábra Völgyirányok megoszlása vízfolyás-rendűség szerint a kutatási terület dombsági részein, elsőrendűtől a hatodrendű vízfolyásokig [330]

A) Mezőföld; B) Tolnai-dombság

A deflációs események korát megadják a futóhomokon mért lumineszcens korok [249], [333]. A legidősebb futóhomokok Alsószentiván határában található egy paleotalajokkal tagolt szelvényben, koruk 137-139 ka. Késő-pleisztocén közepi futóhomok található Nemesnádudvaron (54-55 ka), a Kiskunság peremén, míg a németkéri vízválasztón lévő feltárásban a löszbe települt futóhomok kora 21 ezer év. A Mezőföldön nagy területet fedő futóhomokdűnék kora 19,4 ka (Nagydorog) és 14,4 ka (Bölcske) között van. A holocén legelejéről egyetlen adatunk van a Dunától Ny-ra, az M6 Paks-dél elágazása melletti homokbányából (11,1 ka). A futóhomok mozgása a holocén során többször ismétlődött, ennek nyomait azonban a kutatási területen csak a Duna keleti oldalán találjuk meg. A dunaegyházi homokbányában a Solti-halom felszínét alkotó futóhomok kora 10,9–11,1 ka; a Duna holocén árterén gyakori a futóhomok; a kiskunsági homokhátság felszínén a közelmúltig mozgott a homok. A Kiskunság peremén a sükösi feltárásban mért 12,8 ka kor egyelőre nehezen értelmezhető, mivel a futóhomok fedőjében lösz települ.

3.1.2.1.5 A Duna fejlődéstörténete

A Duna a kora-pleisztocénben a kutatási terület keleti határának közelében folyt, amit a Jánoshalma Jh–2 faunás rétegsora igazolt [83]. A középső-pleisztocénben a kutatási terület keleti részén nagy területen rakta le üledékeit, amit a PAET-10 31,0 – 31,5 m közötti szakaszának lumineszcens kora (190 ka) is megerősít. A Mezőföld ekkor a mai helyzeténél jóval keletebbre terjedhetett ki, Solttól és Kalocsától néhány kilométerre keletre húzódnak a határa. A Tengelic Formációval jól azonosítható képződményeket írt le ugyanis [73] a Tétel-halom területén és a kalocsai Búza tér fúrásában. Ettől a vonaltól nyugatra már csak felső-pleisztocén dunai üledékek ismertek.

A késő-pleisztocénben a Duna 10 - 20 kilométert oldalazott nyugat felé. Ebben az időszakban rendkívül nagy területet járt be, mintegy 30 - 40 km szélességben rakta le üledékeit. Ez alapján a nyugat felé történő vándorlás többé-kevésbé folyamatos lehetett. Avulziók (hirtelen mederváltások) megtörténte utalnak ugyanakkor az idősebb pleisztocén,

sőt kiemelt helyzetben lévő pannóniai üledékek foltszerű előfordulásai (pl. Solti-halom, Tétel-halom, illetve a Pa-22 fúrások rétegsora), amelyeket megkímélt a folyó eróziója. A felső-pleisztocén Duna-üledék vastagsága Ny–DNy felé valamelyest nő: a kutatási terület ÉK-i szomszédságában a kerekegyházi és kunadaci alapfúrásokban max. vastagsága 20 körüli, a PAET-10-ben 14 m, a mai Duna környezetében 25-50 m között változik. Az összlet talpa is egyre mélyebb helyzetben van ebben az irányban, 80 m tszf. magasságról (PAET-10) Paks és Fácánkert környékére 60 - 75 m tszf. magasságra, a Szekszárdi-dombság előterébe érve pedig 40 – 50 m-re csökken.

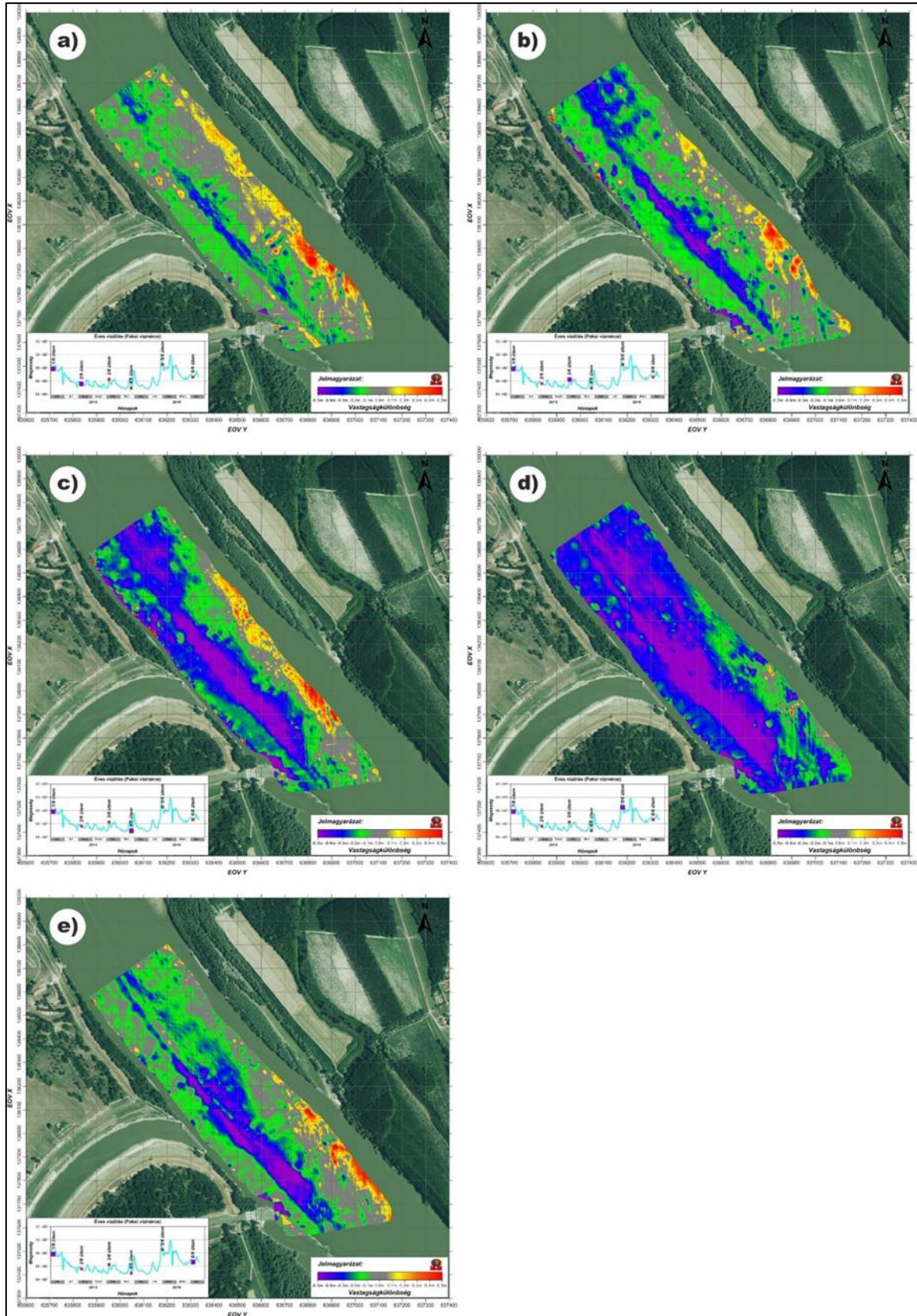
Koradatok a felső-pleisztocén dunai üledékből a PAET-10 fúrásból (8,7 - 9,0 m-ben 25,1 ka, [333]) és a telephely környékéről állnak rendelkezésre. A telephelyet is hordozó Paks környéki felső-pleisztocén terasz [136] szerint 40 ezer évnél idősebb. A vizsgált radiokarbon-minta az erőmű területén mélyült 881. számú fúrás 20,5 méteréből származik, a dunai összlet fekéje 27 m körül lehet. A jelen kutatási program során mélyült III-6-D telephelyi fúrás 18,7 – 19,2 m közötti szakaszán mért OSL-kor 30,4 ka [333].

Pakstól északra a madocsi öblözetben, valamint Pakstól délre a kutatási terület déli határán túl is a folyó elhagyta a mezőföldi peremet és az említett teraszt, és kelet felé húzódott/húzódik a medre. A terasz területén a telephely közelében és délebbre a PAET-27 és -18 fúrásokban is magának a dunai üledéknek a tetőszintje nemigen tér el a ma aktív Duna-ártér tengerszint fölötti magasságától (fölötte már futóhomok települ) (l. 3.1.2.3.2. fejezet). A kelet felé húzódásnak ezért nem a terasz és a jobb part emelkedése, inkább a keletkebbi terület enyhe süllyedése (vagy esetleg autociklikus folyamat) lehet az oka. A teraszt fedő futóhomokba mélyült Pa-21 árok molluszkamintáinak 14C-kora 30 ezer év körül adódott, bár erős bizonytalanságokkal terhelt (3.1.2.3.2. fejezet); a lumineszcens kormérések folyamatban vannak. Amennyiben az OSL-eredmények megerősítik ezt a kort, úgy a terasz kialakulása – a Duna-üledékek lerakódása, majd a folyó általi elhagyása – és lefedődése futóhomokkal igen rövid idő alatt végbement.

3.1.2.1.6 A Duna jelenlegi mederváltozása a tervezett telephely előterében

A Duna jelenlegi mederváltozását vizsgálta a tervezett telephely előterében elvégzett szeizmo-akusztikus medermonitorozás. Ennek során egy éven keresztül kéthavi gyakorisággal, összesen hat alkalommal végezték el ugyanannak a mederszakasznak a felmérését. Az első mérési ütem 2015. június 9-én, a hatodik mérési ütem 2016. április 15-án történt meg, a mérések részleteit [129] ismerteti.

A méréssorozat egy éves időtartama alatt a 2015. júliusától 2016. januárjáig tartó időszak tartósan szokatlanul alacsony vízállással volt jellemezhető, középvíz csak 2016. februárjában érkezett. A tartósan alacsony vízállású, mintegy 7 hónapos időszak alatt a vizsgált Duna-szakaszon a meder folyamatosan mélyült. Ezt a folyamatot mutatja az 6. ábrán bemutatott térképsorozat. Az egyes különbségtérképek a 2015. június 9-i első referenciaméréshez viszonyított különbséget mutatják azonos színskála alkalmazásával. A választott színskála $\pm 0,5$ m különbségtartományt fog át. A negatív különbségértékek (zöld és kék színek) azt jelzik, hogy üledékelhordás, medermélyülés történt, míg a pozitív különbségértékek (sárga és piros színek) üledéklerakódást, mederfeltöltődést jeleznek. Szembetűnő, hogy egészen az 5. ütem 2016. február 8-i méréséig, a középvíz megérkezéséig a felmért mederszakasz folyamatosan mélyült (235. ábra a), b), c) és d) térképek). A meder mélyülése a méréssorozat egy éve alatt a felmért Duna-szakasz jelentős részén meghaladta a 0,5 métert. Üledékutánpótlás csak a magasabb vízállással érkezett, visszatöltődés a 6. ütemben volt tapasztalható (6. ábra e) térkép).



235. ábra Az egy éves időtartamú, kéthavonkénti medermonitorozás során tapasztalt mederváltozások az első, 2015. június 9-i felméréséhez viszonyítva.

3.1.2.2 Morfotektonika

A morfotektonikai vizsgálatok célja a terület neotektonikai viszonyainak, valamint fiatal felszínformálódásának a vizsgálata, ezek kapcsolatának tisztázása: a morfológiai elemekből következtetés a neotektonikai folyamatokra, illetve a tektonika hatásának azonosítása a felszínfejlődésben. Ezzel fontos információkkal járul hozzá a terület geodinamikai folyamatainak megismeréséhez. Ez a fejezet a jelenlegi domborzatra ható, illetve az abból – és a felszínalkotó fiatal üledékekből – kikövetkeztethető tektonikai folyamatokat (vetőaktivitás, földrengés, plasztikus deformáció, függőleges mozgások) tárgyalja.

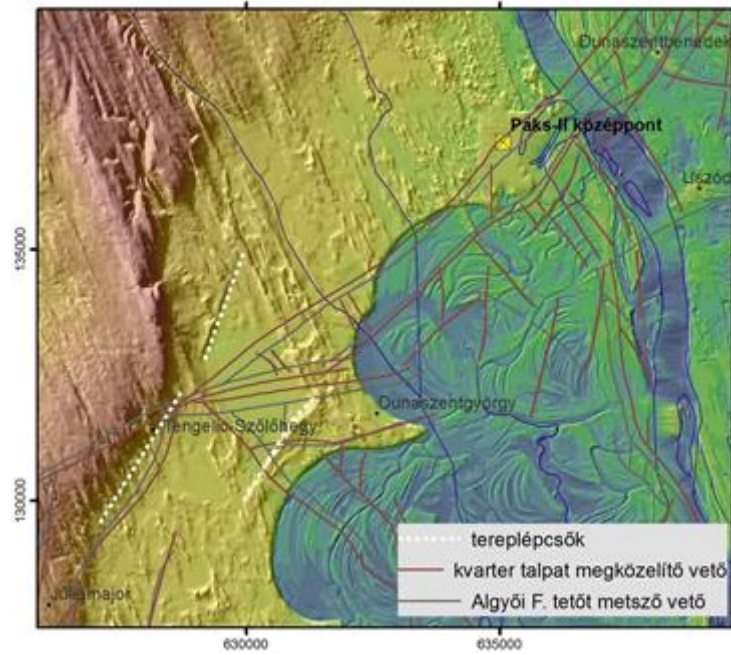
3.1.2.2.1 Vetőre utaló morfológia

A geomorfológiai-morfotektonikai térképezés során feltárásban konkrét vető nem volt észlelhető. Különböző kvarter képződmények utólagosan csak csuszamlások hatására kerültek egymás mellé.

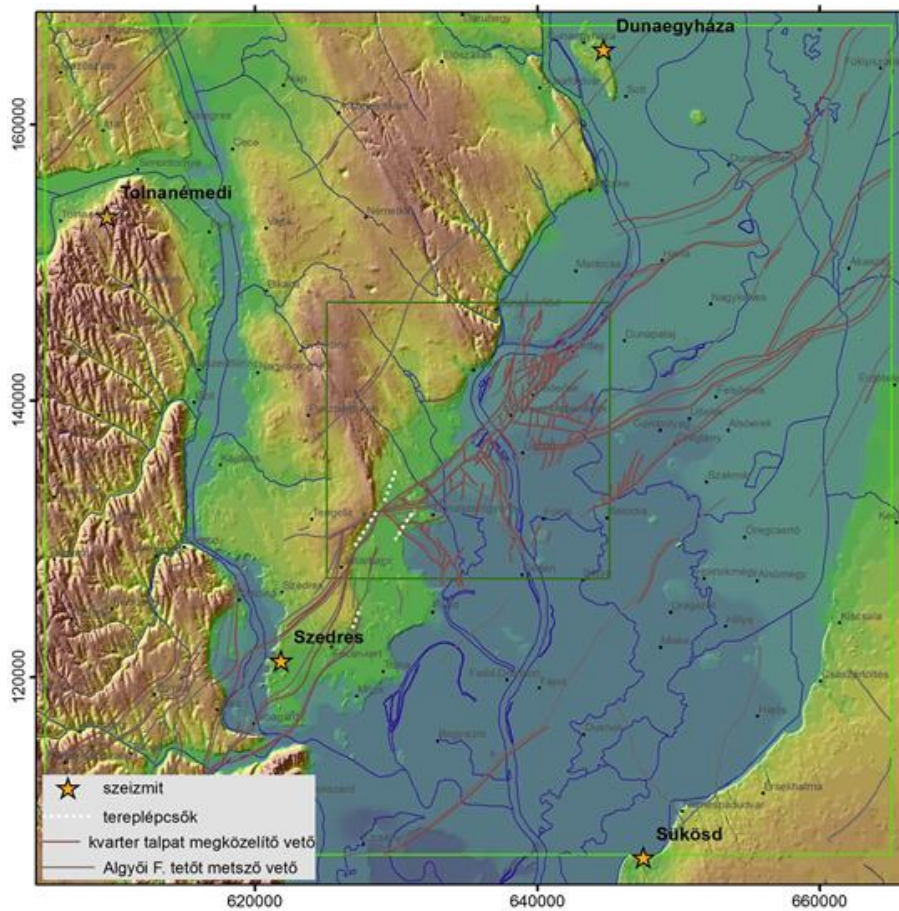
A domborzatot tekintve a morfotektonikai célú vizsgálatok, valamint a földtani térképezés során Tengelic községhatárában kerültek elő olyan formaelemek, amelyek kialakulása jelenleg nem magyarázható egyértelműen külső erővel, azaz jelezhetnek akár fiatal vetőaktivitást is.

Tengelic község Szőlőhegy településrésze és Dunaszentgyörgy között egy rombusz alakú mélyedés helyezkedik el (236. ábra). ÉNy-i határa egy kb. 2 km hosszú, egyenes tereplépcső, amely a műholdfelvételeken és domborzatmodellen is szembejövő. Anyaga homokos lösz. A tereplépcső DK-i oldalán a terep 6-8 m-rel alacsonyabb, mint az ÉNy-in. Terepi megfigyelés alapján a forma nem egyszerűen tereplépcső, hanem egy enyhén domború hát, amelynek gerincéhez képest a környező terep szintkülönbsége az egyik (ÉNy-i) oldalon jóval kisebb, mint a másikon. Az ÉNy-i oldalon jól megfigyelhető, részben eolikus erózióval (löszön), részben akkumulációval (futóhomok sávyszerű felhalmozódásával) keletkezett, 330-150° csapású keskeny, párhuzamos homok- és löszhátak a tereplépcső alacsonyabb, DK-i oldalán nem folytatódnak. A tereplépcső DNy-i folytatásában húzódik a tengelici szőlőhegy viszonylag meredek pereme. Itt az a szokatlan, hogy a domb tetejének eolikus pásztái a 25 m magasságkülönbség ellenére is folytatódnak közvetlenül a domb lába előtt, holott a perem előtt a visszaforgó örvények miatt ezen formaelemek megszakadása volna várható. A mélyedés DK-i határát szintén egy egyenes hát alkotja, amely a dunaszentgyörgyi Tsz-től indul DNy felé.

A részletes domborzatot a szeizmikus szelvények alapján kitérképezett vetőkkel [372] összevetve (236. ábra) a mélyedés tektonikus eredete nem igazolható. Ezzel ellentétben a tengelici szőlőhegy DK-i pereme, sőt délebbre a Fácánkerttől északra húzódó dombperem is (amelyen szintén keresztülhaladnak az eolikus pászták) (237. ábra) egybeesik kvarter talpat érintő vetővel. Eszerint ezen peremek kialakulása legalább részben tektonikus, és a kvarterben aktív, a kitérképezett vetőgeometria (ÉNy-ra dőlő vetősík) alapján feltolódásos összetevővel is rendelkező vetőkhöz köthető.



236. ábra Ismeretlen – potenciálisan szerkezeti – genetikájú egyenes tereplépcsők
(domborzat: [330]; vetőmintázat: [372])



237. ábra Feltárásokban észlelt szeizmitikék
(domborzat: [330]; vetőmintázat: [372])

Korábban széles körben elterjedt nézet volt, hogy a terület ÉNy-DK-i csapású nagy völgyei tektonikus eredetűek (pl. [5]). Mind ezeknek, mind az ugyanilyen irányú, de kisebb hátaknak és völgyeknek az eolikus eredete azóta bizonyítást nyert, ezt a 3.1.1.3. fejezet geomorfológiai része tárgyalja. Az eolikus $150 \pm 20^\circ$ iránytól eltérő orientációjú völgyek helyzetének elemzése [330] nem mutatott ki nyilvánvaló mintázatot a > 500 m, > 1 km és > 2 km hosszú völgyszakaszok esetében sem. A völgyhálózatnak a kiterképezett vetőkkel való összevetése is azt mutatta, hogy nincsenek a területen egyértelműen vetőhöz köthető völgyek.

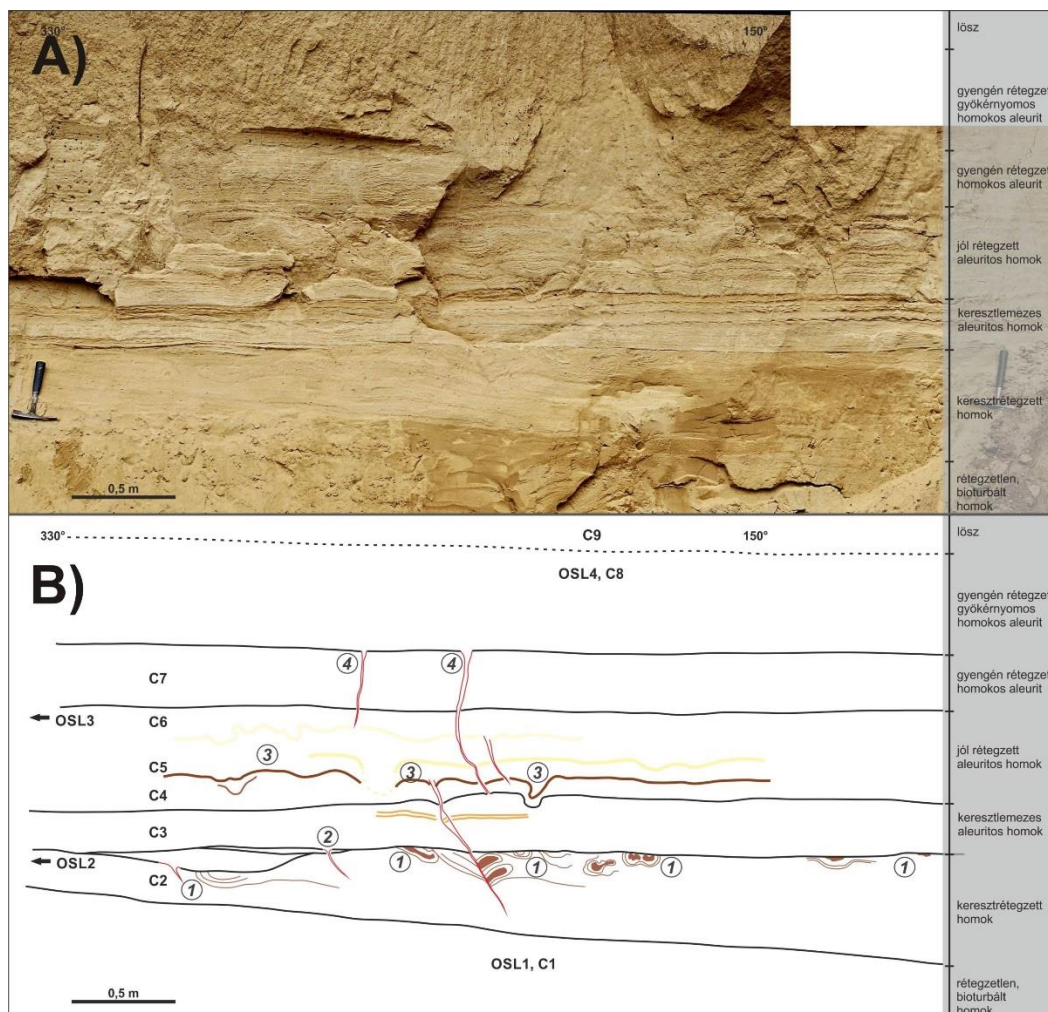
3.1.2.2.2 Szeizmitik

Vetőaktivításra utaló, kvarter üledékben megjelenő szerkezetek lehetnek a szeizmitik – földrengés hatására létrejött üledékszerkezetek –, valamint a törések. A geomorfológiai és morfolitektonikai felvételezés során több felszíni feltárásban lehetett szeizmitiként értelmezhető üledékszerkezeteket megfigyelni [4] (237. ábra).

Jelentős üledékfolyósodáshoz kapcsolódó injekciós telérek fordultak elő Dunaegyházától K-re, a Soltút Kft. homokbányájában 10. ábra. Itt mészkonkréciós löszbe nyomultak letről folyóvízi homok anyagú telérek. Orientációjuk nem mutatott szabályosságot. A lumineszcens mérések alapján a lösz kora $>185,5 \pm 15,0$ ka [337]. A telérekkel tagolt löszösszlet felső határa erodált. A rátelepülő futóhomok OSL-kora $11,1 \pm 0,4$ ka [337], azaz a szeizmikus tevékenység ennél idősebb.

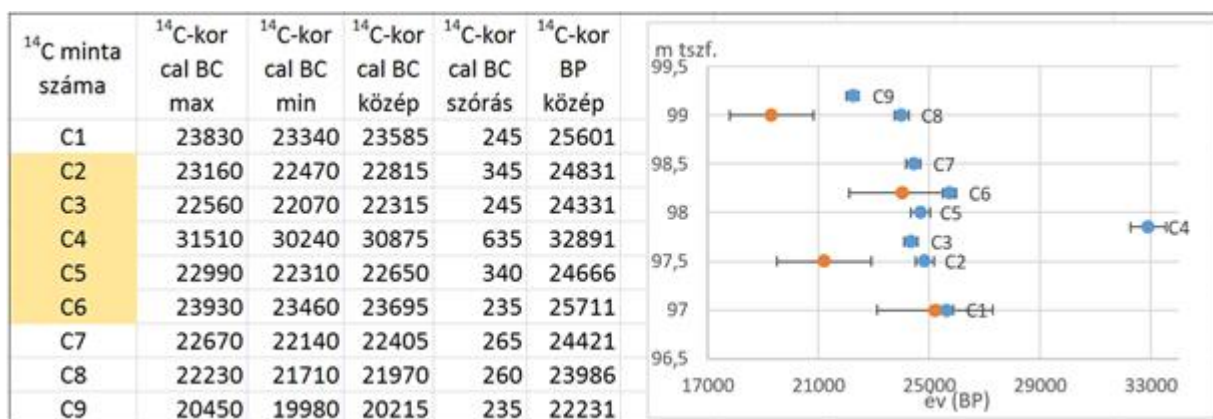
Plasztikus deformáció számos megjelenési formája (vízkiszökéses szerkezetek, konvolúció, gyüredezettség) volt megfigyelhető Szedres-Kajmádpusztától nyugatra a Sárvíz-völgy peremén, lösz fekéjében települő folyóvízi homokban (238. ábra A), valamint a Soltisik DK-i peremén, Sükösdtől északra szintén folyóvízi aleuritós homokban, futóhomok és homokos lösz alatt (240. ábra A). Szedresen ezekhez a szerkezetekhez meredek, helyenként aszimmetrikus, félárkoszerű (normál) látszólagos elvetésű hasadékok társultak, melyek orientációja megegyezett a Bonyhádi-vetőzóna lokális csapásával (237. ábra). Mindkét feltárásban több szintben fordultak elő deformációk.

Szedresen a deformált szintek felső határa eróziós volt, így külön szeizmikus eseményekhez köthetők, melyek az üledékképződés folyamán történtek (238. ábra B). Az üledék korolásával így ebben a feltárásban lehetőség nyílt a földrengés-visszatérési idő meghatározására. A rétegsor lumineszcens kora $19,3 \pm 1,5$ ka és $25,2 \pm 2,1$ ka között van (Thamóné Bozsó ex litt.), azonban a minták kora nem felel meg pontosan a rétegtani sorrendnek (239. ábra). A réteg szerint gyűjtött csigahéjakon mért radiokarbon-kor 23 830-23 340 és 20 450 – 19 980 év cal BC ($25,8-25,3$ és $22,4-22,0$ ka BP) közé esik [145] (239. ábra). A begyűjthető minták nem mindenhol tökéletes minősége ellenére az adatok viszonylag koherensek, mélység szerint ábrázolva egy egyenesre esnek (a folyóvízi összleten belül). A deformációk korát behatároló C2 és C8 minta időkülönbsége mintegy 850 év, négy eseménnyel számolva a földrengés- visszatérési idő így valamivel 200 év fölött van. Ha a gyengébb C2 helyett a jó minőségű C1 minta korával számolunk, akkor a visszatérési idő felső korlátjaként 400 évet kapunk. A jóval bizonytalanabb lumineszcens korok két szélső értékével számolva a visszatérési idő majdnem egy nagyságrenddel hosszabb, 1500 év körüli.



238. ábra Szedres-Kajmádpusztá, szeizmitek

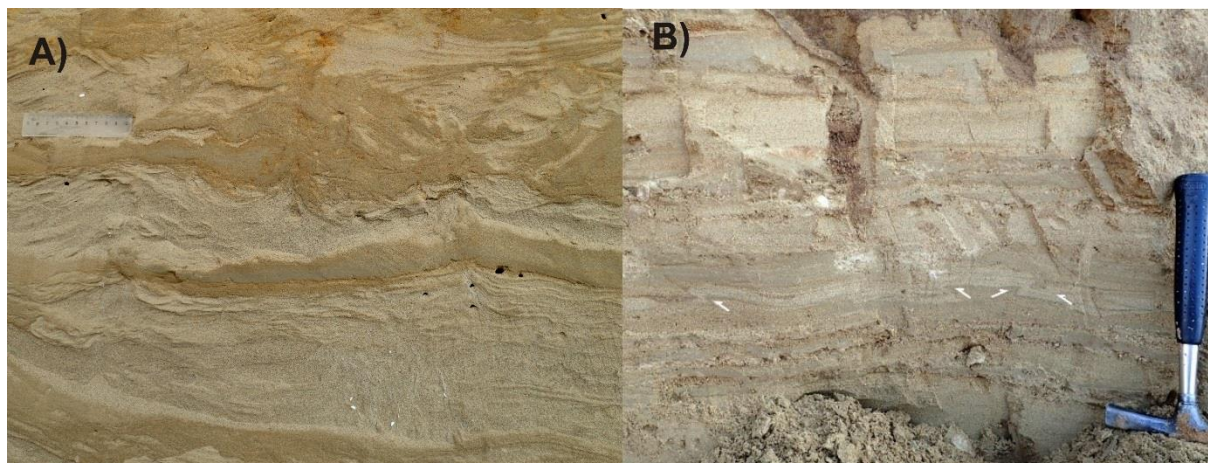
A) A deformált szintek fényképe; B) a deformációk értelmezése; a számok a szerkezeti eseményeket jelzik



239. ábra A szedresi feltárás koradatai

A kék jelzés: ¹⁴C; a piros jelzés: OSL. A színezett háttérű mintáknál a ¹⁴C-minta teljes tömege kevés volt és/vagy nagyon apró szemcsékből állt, ezeknél az eredmény bizonytalansága jelentősen nőhet.

Sükösdön a deformált folyóvízi üledék lumineszcens kora $15,3 \pm 1,4$ ka és $16,4 \pm 1,4$ ka közötti (Thamóné Bózsó ex litt.), a szeizmikus esemény ezzel egykorú, esetleg fiatalabb.



240. ábra Deformált kvarter üledékek

A) Sükösd, vízkiszökések folyóvízi sorozatban; B) Tolnanémedi, feltolódások eolikus kőzetlisztes homokban

Kompressziós szerkezetek, néhány cm-es elvetésű antitetikus feltolódások voltak láthatók a Tolnanémeditől keletre fekvő homokbányában, eolikus szállítású aleuritos homokban (240. ábra B), illetve Sükösdön a folyóvízi rétegsorban. Tolnanémediben a deformált réteggöteg teteje erodált, ez szinszediment deformációra utal. Itt a tárgyalt rétegek, egyben a deformáció kora lumineszcens mérések alapján $15,4 \pm 1,2$ ka [338].

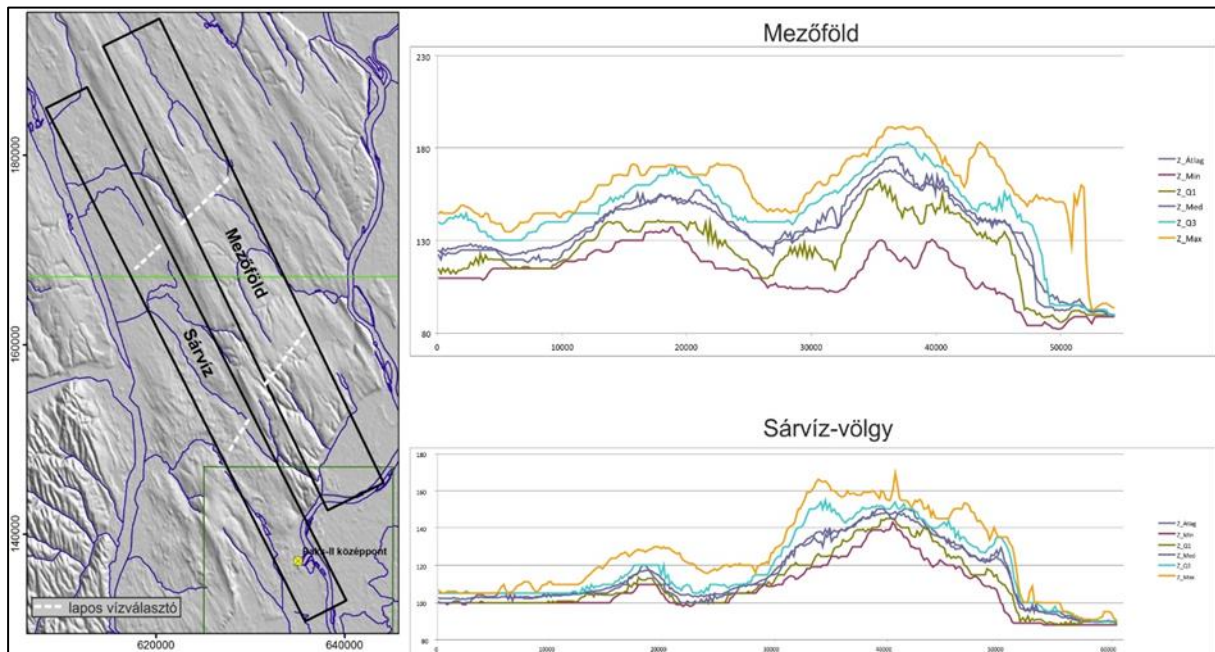
A tolnanémedi, amúgy is kissé bizonytalanul értelmezhető feltárás kivételével a felsorolt helyszínek szeizmikus szelvényen kitérkepezett vetők fölött helyezkednek el (237. ábra). A szeizmitik e vetők fiatal kvarter aktivitására, földrengés-generáló potenciáljára mutatnak.

3.1.2.2.3 Redőződésre utaló morfológia

Folyamatban lévő, a felszínt is érintő redőződésnek igen érzékeny indikátora a vízálózat. Ennek legfeltűnőbb anomáliái a Mezőföldön láthatók. A nagyrészt homogén litológiájú (laza kőzetekből álló) területen nem egyöntetű, a Duna, mint erózióbázis felé lejtő felszínt és vízrendszert látunk, hanem egyes szakaszainak ellentétes irányú (DK-i, illetve ÉNy-i) a lefolyása. A vízválasztók gyakran nem gerinceken, hanem völgyekben vagy lapos térszíneken húzódnak (241. ábra), ami felveti a tektonikai behatás gyanúját; ilyeneket láthatunk Alsószentiván vagy Mezőfalva mellett. Hasonló a vízrendszere a tágabb értelemben vett Sárvíz-völgy keleti felének, lapos, jellegtelen völgyi vízválasztókkal Németkér és Sárbogárd mellett. A tagolt domborzat általános jellegét kiemelő sávselvény-elemzés [330] két reprezentatív szelvény mentén megerősítette a vízrajzi megfigyeléseket (241. ábra): egymás folytatásába eső „hullámokat” láthatunk rajtuk. Az Algyői Formáció felszínével történő összevetés a „hullámok” tektonikus eredetét mutatja: a vízválasztók ott vannak, ahol az eredetileg közel sík Algyői tető magasán helyezkedik el (242. ábra). Ezek ma is fejlődő antiklinálisokként értelmezhetők. A sávselvények mély szakaszai képviselik azokat a helyeket, ahol a vízfolyások keresztezni tudják a meghatározó ÉNy-DK-i hátakat; igen közel található az Algyői felszín mélyebb részeihez. A lapos vízválasztóról Németkér mellett gyűjtött lösz lumineszcens kora $19,4 \pm 1,3$ ka volt [249], a benne található löszcsigák ^{14}C -vizsgálata pedig $18,2 - 18,0$ ka kort (BP, kalibrált kor) adott [144], Az Alsószentiván mellett szélerózió által kivésett hosszanti gerincből vett homokos lösz lumineszcens kora $19,0 \pm 1,2$ ka [249], ez megadja annak az eolikus meghatározottságú domborzatnak a korát, aminek széleróziós völgyei lineáris erózióval tovább tudtak fejlődni (3.1.2.1.4fejezet), létrehozva a

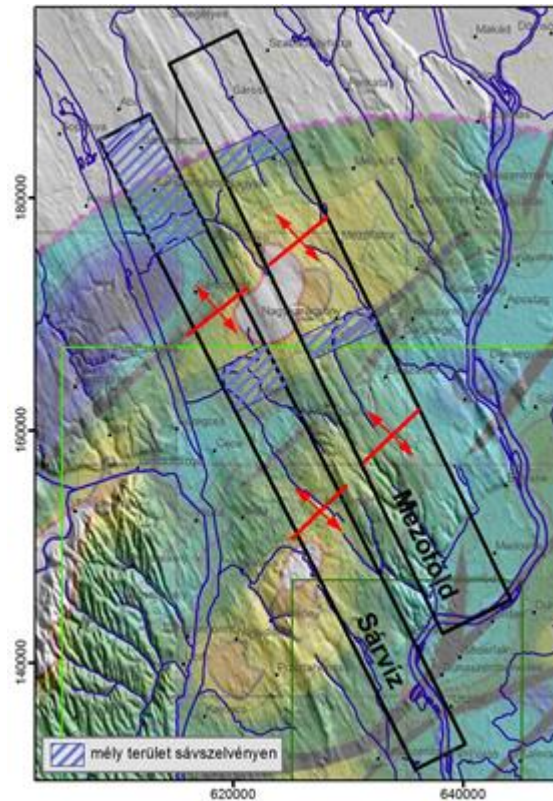
mai vízhálózatot. A felboltozódások alakulása tehát a pleisztocén végén – holocénben is zajlik. Ezt támasztja alá az északabbi boltozat DNy-i folytatásában a mai Sió-völgy beszűkülése is.

Korábbi történetéről a rétegtani adatok tanúskodnak. Az Algyői Formáció a délebbi boltozat fölött hiányzik ám a fedő Újfalui Formáció megtalálható itt, azaz a késő-miocén során volt emelkedés. Az alsó-pleisztocén folyóvízi ösztlet, amelynek talpa eredetileg DK felé monoton lejtő kellett legyen, szintén felboltozódott (231. ábra). A mozgás következésképp hasonló jelleggel a késő-miocén óta zajlik, több szakaszban.



241. ábra Sávsvölgyek a Mezőföldön

A Sárköz-völgyi sávsvölgy DK-i végének hirtelen letörése a telephely alatt is húzódo, futóhomokkal borított Duna-terasz pereme. Ez a perem a terasz nagy részén eróziós; a bemutatott szelvényben éppen egybeesik a 3D földtani modell [372] egy kvarter talpat érintő vetőjével, ám a vető kis hossza (2 km) miatt az elvetés várhatóan nem jelentős.



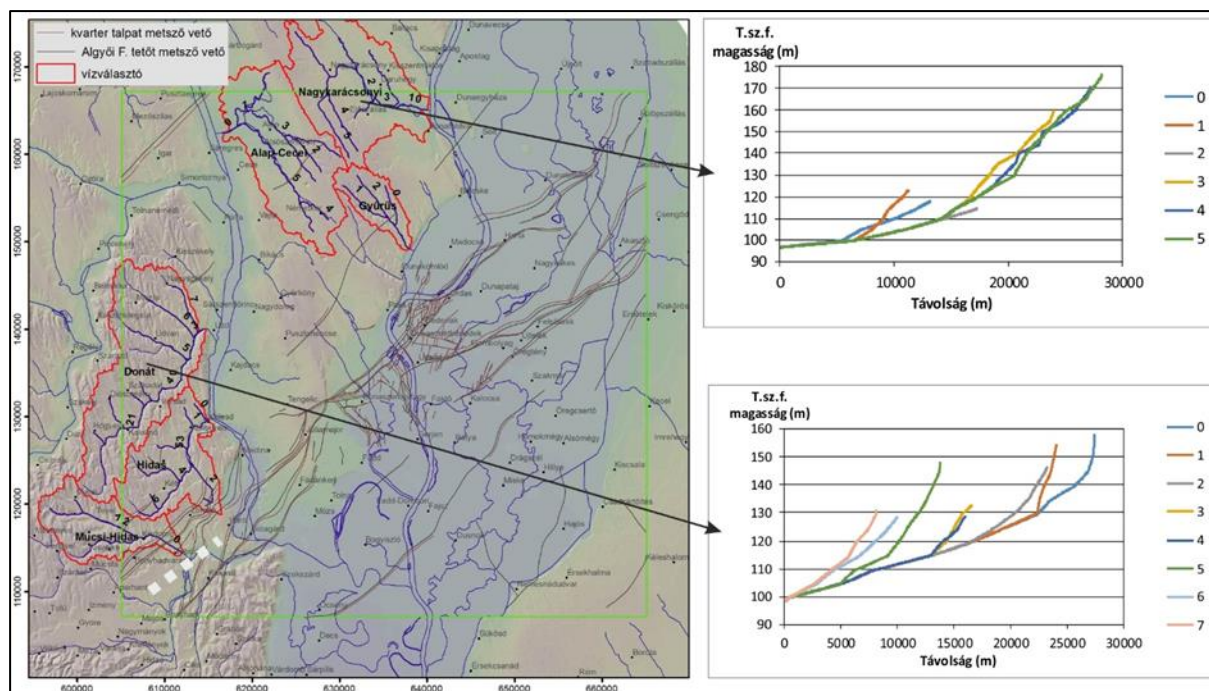
242. ábra A mezőföldi sávszelvények értelmezése

A színezett háttér az Algyői Formáció tetőfelszíne [372], a melegebb színek magasabb helyzetet jeleznek.

3.1.2.2.4 *Eltérő vertikális mozgású területek*

Tájegységi szinten szemlélve a kutatási terület nagy egységei közül (263. ábra) a Duna-völgy általánosságban süllyed, a másik három egység, a Tolnai-dombság, a Mezőföld és a Kiskunság stagnál vagy emelkedik. A részleteket illetően a domborzat, a vízhalózat és a kvarter rétegsorok adnak információt.

A két vizsgálható méretű vízhalózattal rendelkező nem alluviális régió, a Tolnai-dombság és a Mezőföld domborzata jelentősen különbözik. A felszintagoltság mellett a vízrendszerek esésgörbéi is utalnak az eltérő fejlődéstörténetre; jellemző vízgyűjtőket mutat be a 243. ábra. A Tolnai-hegyháton az esésgörbék kiegyenlítettek, a kisebb mellékágak a fővölgynél magasabban, fésűszerűen helyezkednek el. A Mezőföldön a mellékágak hosszúak, esésgörbéjük egybeesik a fő vízfolyásával; ez fiatalon alakuló, még nem érett vízhalózatot mutat.



243. ábra Jellegzetes folyó-esésgörbék

A Tolnai-hegyhát néven összefoglalt tájegység nem egységesen emelkedik. A Zombától DK-re húzódó 5-6 km széles sávban a Szekszárdi-dombságig kevésbé tagolt a domborzat (243. ábra, a sáv középvonala pontozott vonallal jelölve). Ez a sáv egybeesik a Bonyhádi-vetőzóna kiterképezett területével [372], azaz a morfológia itt szerkezeti hatásokkal magyarázható és a tárgyalt vetőzóna késő-kvarter aktivitását jelzi. A Bonyhádi-vetőzóna menti kis szerkezeti egységek nem csak függőleges mozgást végeznek, hanem billenés és/vagy plasztikus deformáció is történik – ez valószínűleg más egységekre is igaz. Ilyen például a Sióagárdot és Fácánkertet magába foglaló orsó alakú egység (a 243. ábra fehéren pontozott egységének ÉK-i szomszédjában): az ÉK-i fele emelkedni látszik (3.1.2.2.1fejezet), míg a DNy-i fele erősen süllyed (ez az Algyői Formáció tetőfelszínén is látszik). Ez a süllyedés lehet az oka annak, hogy a Sió-völgyön itt derékszögnél is élesebb kanyar alakult ki, a mélyedés magához vonzza a vízfolyásokat.

Jellegzetes lefolyástalan mélyedések találhatók Dunaföldvár mellett az egyébként eolikus háta és völgyek rendszere által uralt domborzatban (244. ábra). A ma már csatornázott területen eredetileg tavak voltak. A második katonai felmérés során a nagyobb tavat Sós-tó néven rögzítették, ez is a korlátozott vízforgalmat, lefolyástalanságot jelzi. Zárt mélyedések könnyen kialakulnak szélerózió hatására, ám az Algyői Formáció tetőfelszínével [372] összevetve a domborzatot látható, hogy itt tektonikus süllyedésről van szó, ami nemcsak az Algyői Formáció mélyebbre kerülését okozta, de a mai felszínre is kihat.



244. ábra Süllyedő terület Dunaföldvár mellett domborzatmodellen

A lefolyástalan területeket kék körök jelölik. Az első katonai felmérés (1763-1787) térképén, valamint az Algyői Formáció felszínmagasságának térképén (kisebb méretarányban).

A feltöltődő és ezért süllyedést jelző területek közül vitathatatlanul a Duna-völgy a legjelentősebb kiterjedését tekintve. A folyó hosszú távú helyváltoztatásait az autociklikus folyamatokon (pl. meanderövön belüli vándorlás) kívül a szerkezeti mozgások határozzák meg elsősorban. A folyó lefutását a vetőmintázattal, valamint az Algyői Formáció tetőtérképével [372] összevetve megtehető néhány észrevétel, noha a kérdés részletesebb vizsgálatot igényelne, hiszen a témáról létező, nem túl nagy számú irodalom (pl. [148]) ellentmondásokkal terhelt. Szinte biztosan a tektonika szabja meg a Duna Madocsa melletti ÉK-DNy-i csapású, mintegy 10 km hosszú egyenes szakaszának helyzetét: ez a szakasz pontosan a Dunaszentgyörgy-Harta-vetőzóna fölött, a virágszerkezetet határoló fővetők között helyezkedik el. Egyértelműnek tűnik a Dunaszentgyörgy melletti 3-4 km-es É-D-i, valamint a Gerjentől kezdődő mintegy 13 km-es, ugyanilyen irányú szakasz tektonikus meghatározottsága, ezek az eredetileg sík Algyői tető mai mélyedéseiben futnak. A telephelyet is hordozó, már említett késő-pleisztocén terasz elhagyását (3.1.2.1.4. fejezet) legalább részben okozhatta az, hogy ezek a süllyedések magukhoz húzták a folyót. A kutatási terület északi peremén, Dunaföldvárnál a Duna avulziójára – a medernek a Solti-halom keleti oldaláról a nyugatira helyeződésére – kézenfekvő és egyértelmű magyarázat az a tektonikus süllyedés, amely az előző bekezdésben leírt lefolyástalan területeket létrehozta. Nem magyarázható ugyanakkor szerkezeti okokkal a Duna kelet-nyugati helyzete a kutatási terület déli peremén, kiemelt Algyői tető fölött, távol a Szekszárdnál lévő süllyedéktől.

3.1.2.2.5 Vertikális mozgások számszerűsítése

Vertikális mozgások ütemének számszerűsítése a dombsági területeken nem volt lehetséges, mert nem voltak olyan korrelálható szintek, amelyek erre lehetőséget adtak volna. A kutatási terület alföldi részén korrelálható folyóvízi üledékek ugyan rendelkezésre állnak, ám süllyedési ráták számításához egy szelvényben több abszolút koradatra lenne szükség az egyes összefüggő üledéktestekből, ilyenek pedig sem a projekt során, sem korábban nem keletkeztek. A korábbi munkák (pl. [73], [148]) ősmaradványokra alapuló korbesorolásai intervallumot adnak meg, ám azt nem lehet tudni, hogy egy-egy üledécsomag az intervallum mekkora hányadában rakódott le. Számszerű adatok nélkül annyi állapítható meg, hogy a vizsgálati területen belül a hosszú távú (kvarter) süllyedési ráta viszonylag alacsonynak tetszik Magyarország más alföldi tájaihoz képest, és sem időben, sem térben nem egyenletes. Az általában alacsony süllyedési rátára utalnak a Duna-völgyben olyan, idősebb

képződményekből felépülő „reliktumok”, mint Solti-halom vagy a magasan elhelyezkedő pannóniai üledékek a Pa-22 sekélyfúrásokban.

3.1.2.3 A Pa-21-I és -II jelű kutatóárok eredményei

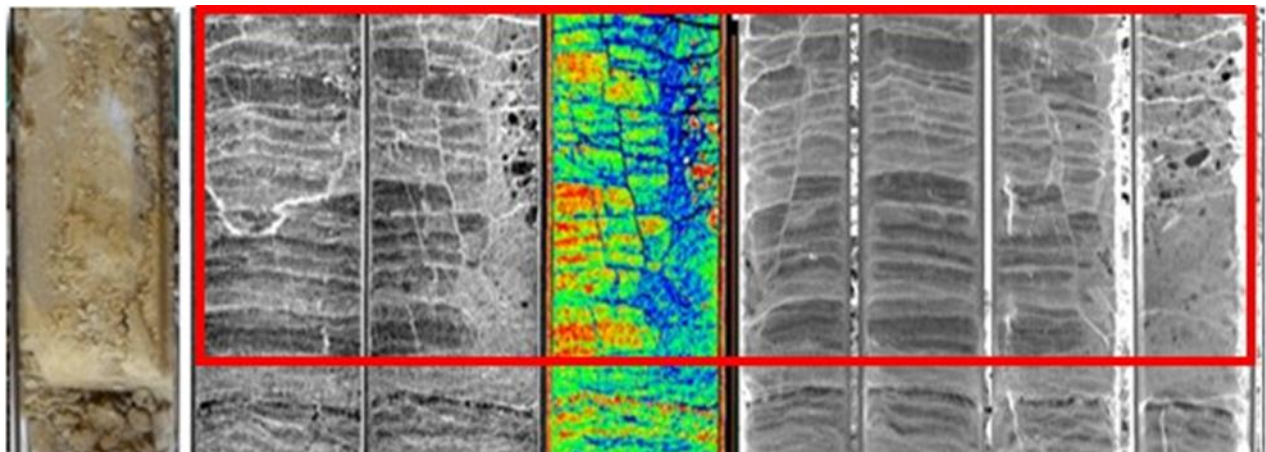
3.1.2.3.1 A kutatóárok telepítésének kutatási előzményei

A 3D szeizmikus kutatás eredményei megerősítették és pontosították a korábban kialakult szerkezetföldtani képet, amely szerint Paks környezetében több oldalelmozdulásos szerkezeti zóna található. Továbbra is kérdés maradt azonban, hogy ezek a szerkezetek harántolják-e a negyedidőszaki képződményeket? Ennek eldöntéséhez folyt a „sekélyföldtani kutatás” a felszínközeli anomáliák kimutatására alkalmas multielektródás és sekélyszeizmikus mérésekkel, vetőkutató fúrásokkal, majd árkolással.



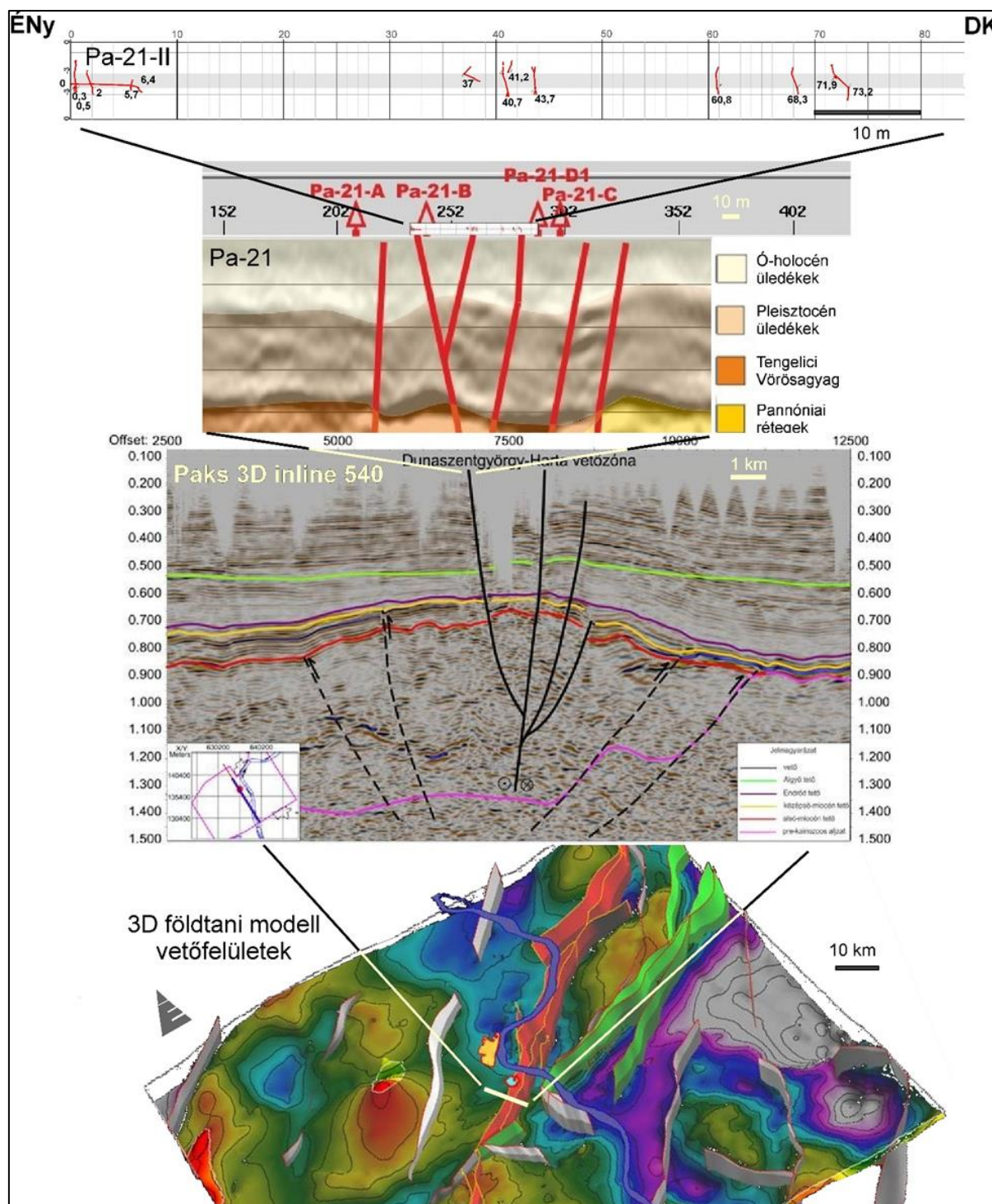
245. ábra A Pa-21-B fúrásban, 29 m környékén dokumentált, közel függőleges, jobbos eltolódás a Tengelici Formációban

Az elmozdulási karcok a jobb oldali képen piros vonalakkal jelöltek.



246. ábra A Pa-21-E jelű fúrás 1,75 – 2,0 m közötti maganyaga és annak CT felvétele

A pirossal keretezett szakaszon látható olyan elmozdulási felület, amely mentén a rétegek nem illeszthetők pontosan – ez eltolódásként is értelmezhető.



247. ábra A Pa-21-II árokban észlelt szerkezeti elemek kapcsolódása a Dunaszentgyörgy – Harta törésvonalhoz

A 3D földtani modell vetőfelületei [166] közül kivetítve látható a Paks 3D 540-es vonala mentén értelmezett szeizmikus időszelvény [353], mélységtartományának nagyságrendje km-es. Felette a Pa-21-S-Geomega S hullám értelmezett szeizmikus szelvény látható, mélységtartománya 100 méteres nagyságrendbe tartozik. Legfelül a Pa-21-II árok kiterített rajza, amelyen a jelenségek méteres nagyságrendben ábrázoltak.

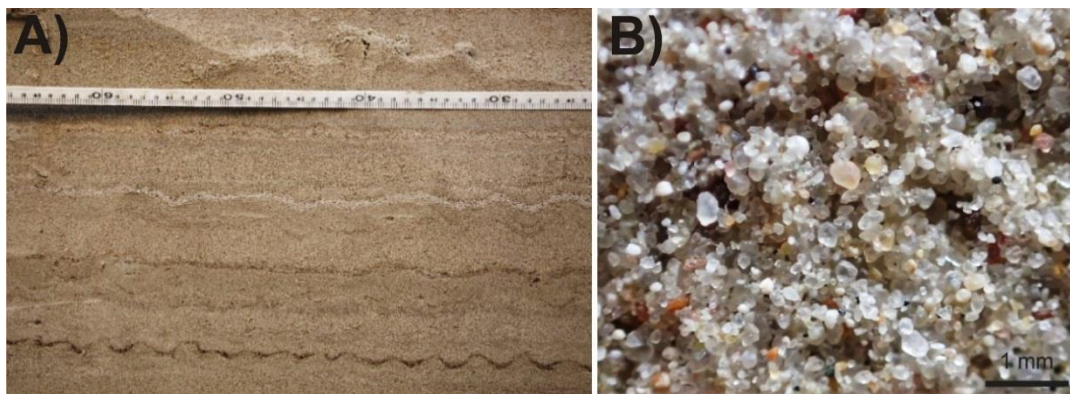
A földtani térképezés eredményei, geomorfológiai megfontolások, továbbá a sekélyszeizmikus P- és S-hullám mérések arra utaltak, hogy a 3D szeizmikus képből megismert vetők egyes területeken a felszínközelségbe hatolnak [378]. Ezeknek a területeknek a további szűrését szolgálták az újabb multielektrodás mérések [353]. Végül két olyan terület

volt kijelölhető, ahol az aljzatban kimutatott vetők a felszínközelen is nyomozhatók lehetnek: a Pa-21-es és -22-es sekélyszeizmikus szelvény nyomvonala [24]. A szerkezeti képet pontosítandó, 30-50 m talpmélységű „vetőkutató” fúrások mélyültek, részben maggal, részben teljes szelvényvel. A Pa-21 szelvényben mélyült hét fúrás (Pa-21-A, -B, -C, -D1, -E1, -F1, G4) rétegsorában mind a lyukgeofizika, mind a maganyag érékelése olyan különbségeket mutatott ki, amelyek a negyedidőszaki fekü határát is érintő tektonikus eseményre engedtek következtetni. Továbbá a Pa-21-B fúrás harántolta Tengelici Formációban 29,8 m mélységben eltolódást dokumentáltak (245. ábra) [82], az E1 jelű fúrásban a CT felvétel utalt tektonikus elmozdulásra – 1,7 m mélységben (246. ábra) [82]. Mindezek felderítésére mélyült a Pa-21-I és Pa-21-II kutatóárok. Utóbbi járt eredménnyel (247. ábra), 1,9 – 3 m mélységben tárt fel szeizmotektonikus szerkezeteket.

A 2 m mély kutatóárkok a tereprendezés során kialakított, az eredeti felszíntől 1 méterrel mélyebb felszínről indulva mélyültek, így talpmélységük az eredeti terepszinthez képest -3 méter volt. A mélységadatok minden esetben az eredeti terepszinthez viszonyítva értendők.

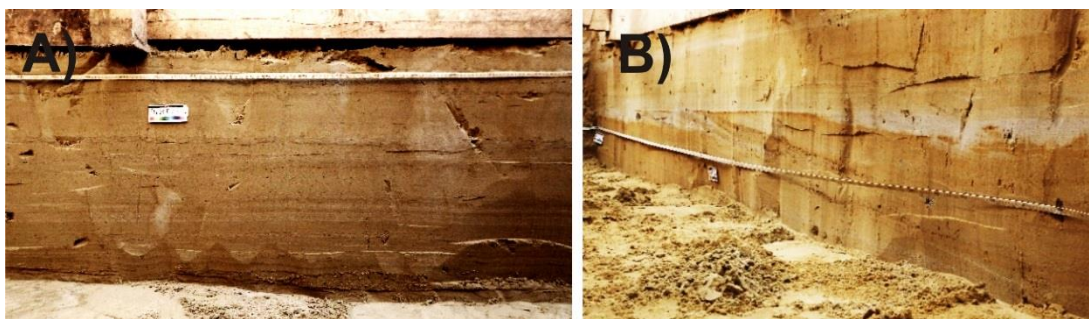
3.1.2.3.2 Rétegtani összefoglalás

Üledékes bélyegek



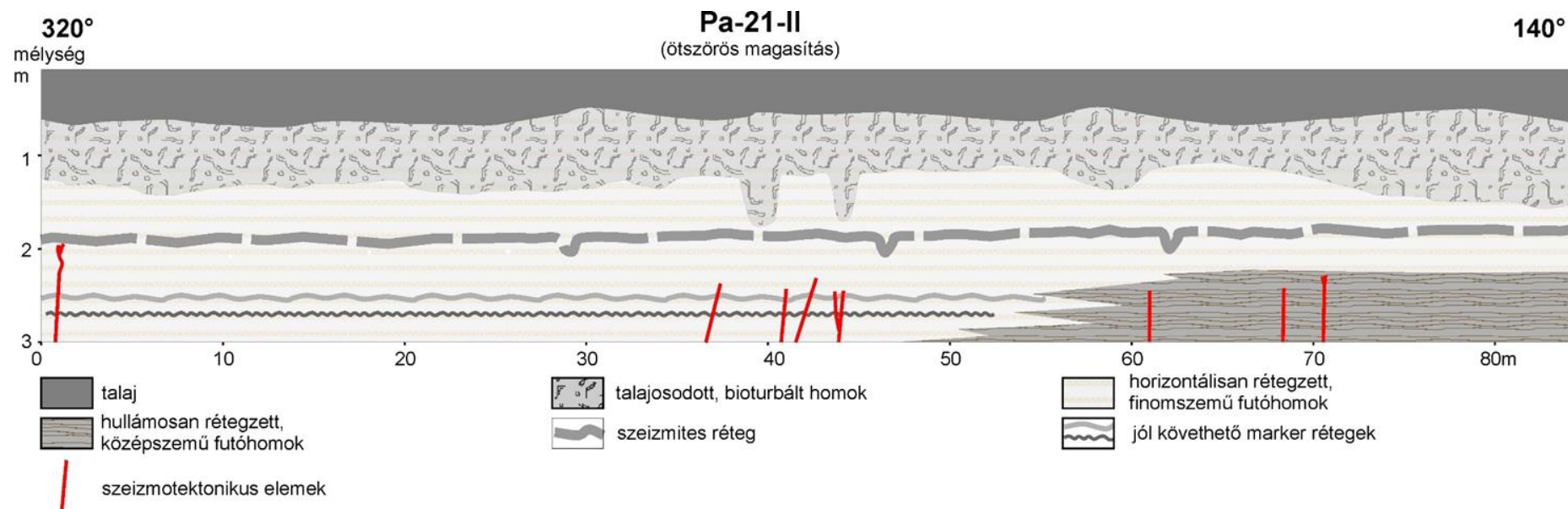
248. ábra A Pa-21-I. és -II. árokban feltárt kőzetösszlet szemcsemérete kőzetlisztől aprókavicsig terjed

A) Jól osztályozott, különböző szemcseméretű homokból álló rétegek; B) Közepesen-jól koptatott homokszemcsék (23,9 m, 2 m mélységben)



249. ábra A Pa-21-I. és -II. árokban feltárt rétegzési típusok

A) Az árok nagy részére jellemző vízszintes, párhuzamos rétegzés (Pa-21-II árok, 30 m, 3 m talp); B) Keresztrétegzés a Pa-21-I. árokban (Ny-i fal, 3 m talp).



250. ábra A Pa-21-II jelű árok K-i oldalának ötszörös magasítású földtani szelvénye

A Ny-i oldal ebben a léptékben pontosan megegyezik a K-i oldallal. A rétegsort futóhomok alkotja, felső részén erősen bioturbált, talajjal kevert, felette erdőtalaj települ (21. ábra, A, C kép). A szeizmites réteg a 22. ábra fényképein látható. A jól követhető, homokfodros marker rétegeket a 18. ábra (A) mutatja be. Az árok DK-i harmadában durvább szemű rétegek jelentkeznek, a rétegzés gyakrabban hullámos, lencsésen kiemelődő.

A Pa-21-I. és -II. árokban feltárt kőzetösszlet szemcsemérete kőzetlisztől aprókavicsig terjed, uralkodóan különböző szemcseméretű homok. A szemcseméret rétegről rétegre változik, az egyes rétegek jól osztályozottak (248. ábra A). Gradáció nem jellemző. A durvább szemcséjű rétegek rendszerint világosabb színűek, kevésbé festődnek. A szemcsék jellemzően koptatottak, nem ritkán matt felületűek (248. ábra B). Ósmaradvány nem került elő a feltárásból.

A feltárt összlet túlnyomórészt jól rétegzett. Az árkok legnagyobb részén a rétegzés párhuzamos, az egyes rétegek kitartóak, több 10 méteren keresztül követhetők (250. ábra; 249. ábra A). A rétegdőlés vízszintes, egyes helyeken legfeljebb néhány fok; a rétegek igen kis hajlásszöge és egyenetlen felszíne miatt pontosan nem mérhető. A párhuzamos rétegek közé ritkán vékony keresztarétegzett lencsék vagy kiékelődő rétegek települnek. Nagyobb léptékű keresztarétegzés csak az I. árokban volt megfigyelhető, itt a néhány dm vastagságban feltárt, lejtősen települt homokrétegek eróziós felszínére következik a vízszintes, párhuzamos rétegzésű összlet (249. ábra B).

A rétegek sík, kissé egyenetlen vagy hullámos geometriájúak. Gyakoriak a homokfodrok (248. ábra A, kép alja; 258. ábra, D). A hullámos rétegek sokszor egyenes vastagságúak, de egyes esetekben megfigyelhető, hogy a következő, durvább szemcseméretű réteg elsősorban a homokfodrok közti mélyedéseket tölti ki, a kiemelkedő részekre jóval vékonyabban települ (248. ábra A, kép alja). Az ároktalpakon vízszintes metszetben megfigyelhető homokfodrok mért csapásirányai $65-245^\circ$ és $110-190^\circ$ között változnak.

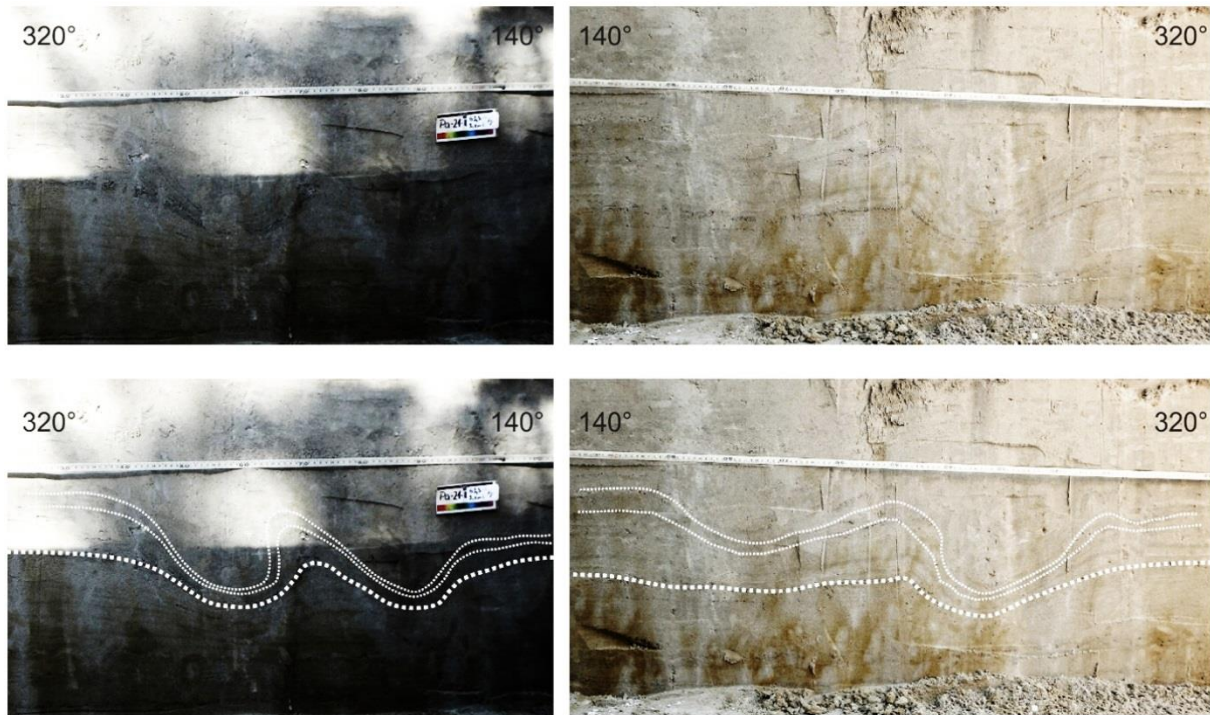
A másodlagos üledékszerkezetek közül gyakori a bioturbáció (251. ábra). A leggyakoribbak az 1-2 cm átmérőjű, legfeljebb néhány dm hosszú ásásnyomok, valamint az ilyen nyomok tömegéből álló, tölcser alakú szerkezetek (251. ábra A, B; 254. ábra). Több helyen megjelennek akár 10 cm átmérőjű, éles határú, szabálytalan alakú, jellemzően durvaszemű homokkal kitöltött foltok, ezek valószínűleg kistestű emlősök járatai, illetve lakóüregei lehetnek (251. ábra A). Ritkán, különböző színű kőzetanyagok határán megfigyelhetők olyan járatok is, amelyek óraüveg alakú kitöltéssel rendelkeznek (251. ábra C). Az élővilág hatásának szintén gyakori formáját jelentik a gyökérnyomok (251. ábra B). Legtöbbször függőlegesek, akár a 3 m mélyen kialakított ároktalpig lenyúlhatnak.



251. ábra Bioturbációs üledékszerkezetek a kutatóárokban

- A) 1-2 cm átmérőjű járatok tömege, néhány nagyobb méretű üreggel (krotovinával) (70 m, 1,66 m talp, K-i fal); B) függőleges gyökérszemcsék karbonátkiválással (X-szel jelölve) és 1-2 cm-es járatokból álló, V alakú bioturbációk (V) (24-36 m közt, 2,33 m talp, K-i fal); C) 1-1,5 cm széles, meniszkuszos kitöltésű járatok fölülnézetben (79 m, 1,66 m-es talp; a kép szélessége 15 cm); D) Talajos homokfoltok az árok 39 és 44 méterénél (talp 1,66 m, K-i fal).

Előfordult a fentiekén túl néhány olyan üledékszerkezet, amelyek genetikája kérdéses. A leglátványosabb az árok 62,3 m-énél, 2 m mélységben mindkét falban szimmetrikusan előforduló redők sorozata volt (252. ábra). A redők közül a legnagyobb átbuktatott, környezetében kisebb, aszimmetrikus redők jelennek meg. Az átbuktatott homokrétegek nyilvánvalóan nem rakódhattak le ebben a formában, és szinszediment folyamattal (pl. gravitációs megcsúszással) sem tudjuk magyarázni őket, hiszen a gyakorlatilag vízszintes, lerakódásakor nem víztelített összletben slump nem tud kialakulni. Ugyanebben a rétegcsoportban több helyen láthatóak további redők, közülük a 46,5 m-nél lévő az előzőekének megfelelő méretű. Geometriája is hasonló, D-i oldala a meredekebb. Úgy tűnik, hogy ez a 2 m körüli mélységben húzódó, 20-30 cm vastag rétegek egy olyan szintet képvisel, amelyet pillanatszerű deformáció érintett, és a deformáció kiváltó okaként a szeizmikus hatás tűnik legvalószínűbbnek.



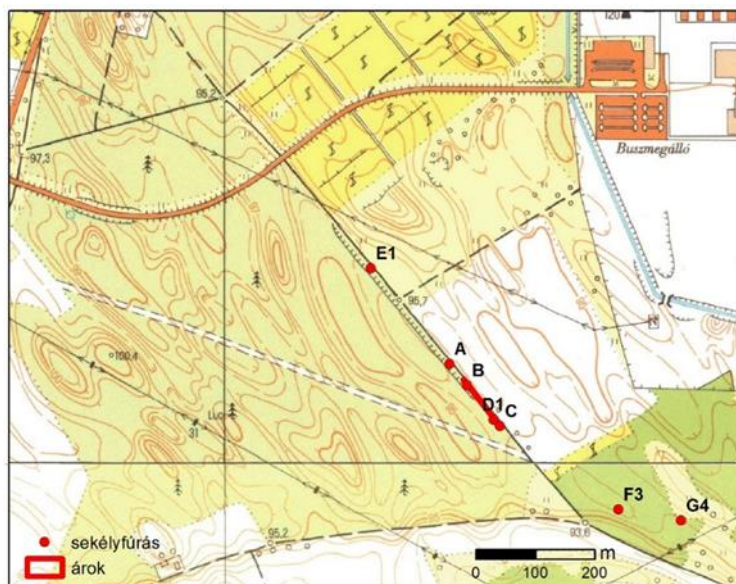
252. ábra Zavartalan rétegek között átbuktatott és kisebb aszimmetrikus redők a kutatóárokban

Csapás 235°-55°, helyzet 62,3 m, 2 m mélység, K-i és Ny-i fal.

Értelmezés

A jól koptatott, sokszor matt felszínű homokszemcsék, a változatos szemcseméretű, de jól osztályozott rétegek, valamint az eróziós felszínek és a gradáció hiánya vagy igen ritka előfordulása alapján a feltárt összlet eolikus genetikájúnak, futóhomoknak minősíthető.

Az árokban megfigyelhető kitaró és párhuzamos rétegződés az árok helyzetével magyarázható. A feltárás a felszínt alkotó, jórészt hosszanti típusú futóhomokbuckák tengelyével közel párhuzamos, egy bucka elülső részén helyezkedik el (253. ábra). Emiatt az árokban a homokdűne hosszmetzetét látjuk, a rétegek az egykori, közel vízszintes tetőfelszíneket képviselik. Az árok körüli buckák által mutatott szélirány illeszkedik a tágabb (60x60 km-es) kutatási terület eolikus felszínformái – hosszanti dűnéi, parabolabuckái, deflációs eredetű völgyei – alapján nyomozható (ld. 3.1.2 fejezet), valamint a tágabb környezetre megállapított [299] késő-pleisztocén-óholocén szélrendszerbe.



253. ábra Eolikus formák az árokban és környékén.

Az árok környezete topográfiai térképen. Jól látszik, hogy az árok közel párhuzamos a terepet alkotó futóhomokbuckák tengelyével

Az árokkal feltárt futóhomokösszlet a fúrásdokumentációk [47][48] szerint az árok déli végétől néhány méterre, annak folytatásában mélyült Pa-21-C sekélyfúrásban 8,57 m mélységig, míg az ároktól északra, a Pa-21-I árok helyszínén mélyült a Pa-21-E1 fúrásban 2,95 m mélységig terjed. Alatta az E1 fúrásban 3,55 m-ig óholocén folyóvízi homok után, a C fúrásban a futóhomok alatt közvetlenül a Duna kavicsos-homokos üledéke található.

Kor

Az árokkal feltárt üledék koráról közvetlen adat pillanatnyilag nem áll rendelkezésre. Az árok DK-i végében mélyült Pa-21-C fúrás 4,5 méteréből szeparált Gastropoda törmelék kalibrált naptári ^{14}C kora 28 890-28 040 év, a 2,3 m mélységből származó mintáé 36 630-35 030 év. Az izotóplabor jegyzőkönyve [233] szerint a minták tömege kevés volt és nagyon apró szemcsékből állt, ami az eredmény bizonytalanságát megnöveli, és fiatalabb (!) irányba tolja el. Mindenesetre az adatok megbízhatóságát, felhasználhatóságát tekintve óvatosságra int, hogy az alsó réteg kora több ezer évvel fiatalabbnak adódott a felsőnél.

A kutatási program során a futóhomokból mért legközelebbi minta a paksi homokbányából származik, az ároktól 4300 m-re ÉNy-ról. Itt az árok környezetéhez hasonlóan buckás domborzatot alkotó futóhomok van a felszínen, amelynek kora lumineszcens mérés szerint $10,3 \pm 0,9$ ka [336]. A futóhomok fekéjében az árok telepítése előtt lemélyült Pa-21-es sekélyfúrások és a telephelyi fúrások szerint is Duna-üledék települ 24 - 28 m mélységig. Ebben az összletben, amely összefüggő testet alkot az árok alatt megfúrt Duna-homokkal, az ároktól 1600 m-re ÉK-re mélyült III-6-D telephelyi fúrásból 18,7-19,2 m mélységből vett minta lumineszcens kora $30,4 \pm 2,5$ ka [337]. Az árokban feltárt homok kora tehát a fenti, részben közvetett adatok alapján legkésőbbi pleisztocén vagy óholocén.

Fejlődéstörténet

Az árokban feltárt futóhomok lerakódása az után kezdődhetett meg, hogy a Duna ezen a helyen elhagyta allúviumát. A fúrásokban leírt képződményhatárok alapján az árok alatti

Duna-üledék felszíne a Duna mai vízszintjéhez közeli tengerszint fölötti magasságban található (sőt a C fúrásban több mint 2 méterrel alatta), így ez az esemény nem a terület tektonikus emelkedésével, inkább a meder kelet felé tolódásával magyarázható. Mivel a terasz felszíne viszonylag sík és kis területű, hamar lefedődhetett, így az akár 8 m vastag futóhomokot minden valószínűség szerint a Mezőföldön ÉNy felől eolikusán szállító homokból származtathatjuk, nem a Duna árteréről.

A homokmozgás időszaka a fenti koradatok alapján a pleisztocén legvége (az utolsó glaciális maximum (LGM) környéke) vagy a holocén eleje. Ezek az időszakok a Kárpát-medencében ismertek az erős eolikus tevékenységről[362]. Ekkor a területen félig kötött futóhomokformák, elsősorban hosszanti dűnék, kisebb részben parabolabuckák vagy szabálytalan formák alakultak ki. A futóhomokmozgás időszaka után az éghajlat csapadékosabbá, az élővilág számára kedvezőbbé vált. A növényzet záródott a homokterületen, megkezdődött a talajképződés. A homokösszlet felső része talajosodott, az állatok és a növényi gyökerek tevékenységének hatására másodlagos üledékszerkezetek alakultak ki benne, fölfelé egyre nagyobb mértékben átkeveredett. Ez a folyamat az újholocénben emberi közreműködéssel folytatódott.

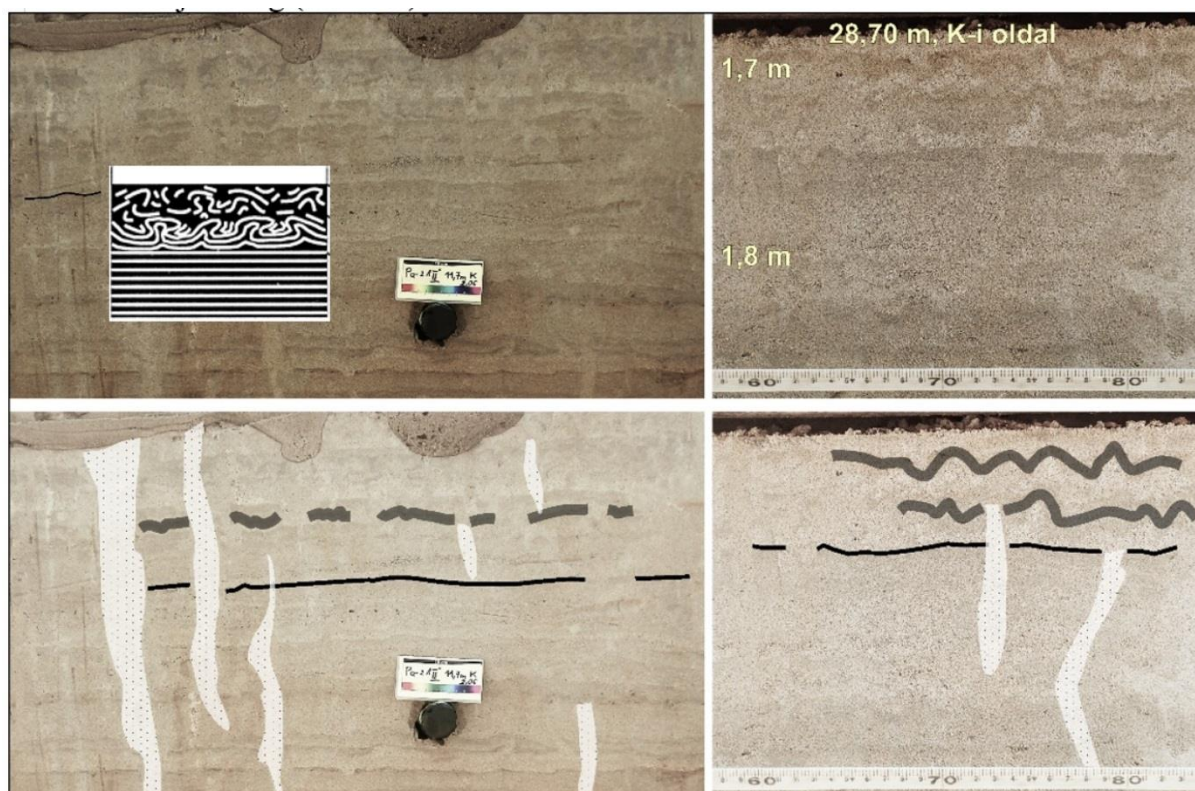
3.1.2.3.3 *Szeizmotektonikus jelenségek*

A Pa-21-I jelű árokban szerkezetföldtani jelenség nem volt észlelhető. A Pa-21-E jelű fúrás maganyagának CT vizsgálata során 1,75 méterben mutatkozó szerkezeti elem (246. ábra) az árokban nem jelentkezett, ezért azt technológiai eredetűnek minősítették. A Pa-21-II jelű kutatóárokban megfigyelt, szeizmotektonikus eredetűnek minősített jelenségek **első közelítésben** három csoportra oszthatók:

- a) földrengések hatására létrejött rétegdeformációkra (szeizmiték),
- b) benyomulások homoktelérekre és
- c) tektonikus elmozdulási felületekre.

A szeizmitnek mutató üledékszerkezetek egyértelmű meghatározását megnehezítik a bioturbáció (ásásnyomok és gyökérnyomok) hatásai. A kutatóárok 0 - 55 m közötti szakaszán, ~1,9 m mélységben követhető réteg (254. ábra) a bioturbáció mellett olyan deformációt mutat, amely szeizmikus hatásra alakulhatott ki. Fontos megjegyezni, hogy a homoktelérek illetve a törési felületek fölfelé legfeljebb eddig a zavart rétegig követhetők, így feltételezhető (legalább részben) az egyidejű kialakulásuk.

Ugyancsak szeizmikus hatás eredményének tekinthető a 32,3 és 62,3 méternél dokumentált jelenség (252. ábra).



254. ábra A kutatóárokban 0 – 55 m között követhető, 1,9 – 1,75 m talpmélységű réteg fényképe 11,7 és 28,7 méterből (fent), a zavart és a bioturbált rétegek kiemelésével (lent)

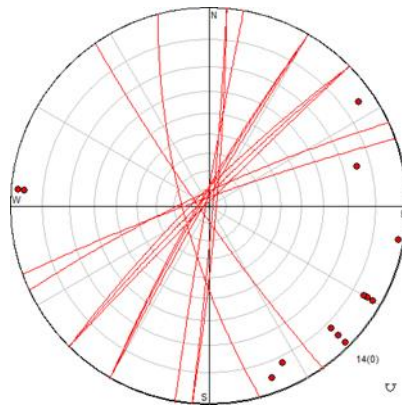
Hasonló szerkezetet laminált üledékek több fázisú szeizmikus deformációjáról ismertetett [227] (l. betét ábra)

A b) és c) pontban említett, egymástól esetenként nehezen megkülönböztethető benyomulós homoktelérek és törési felszínek (amelyeket egyaránt a kezdőponttól mért távolságukkal jelölünk, a 247. ábra számozásának megfelelően) jellemzői a következőképpen foglalhatók össze:

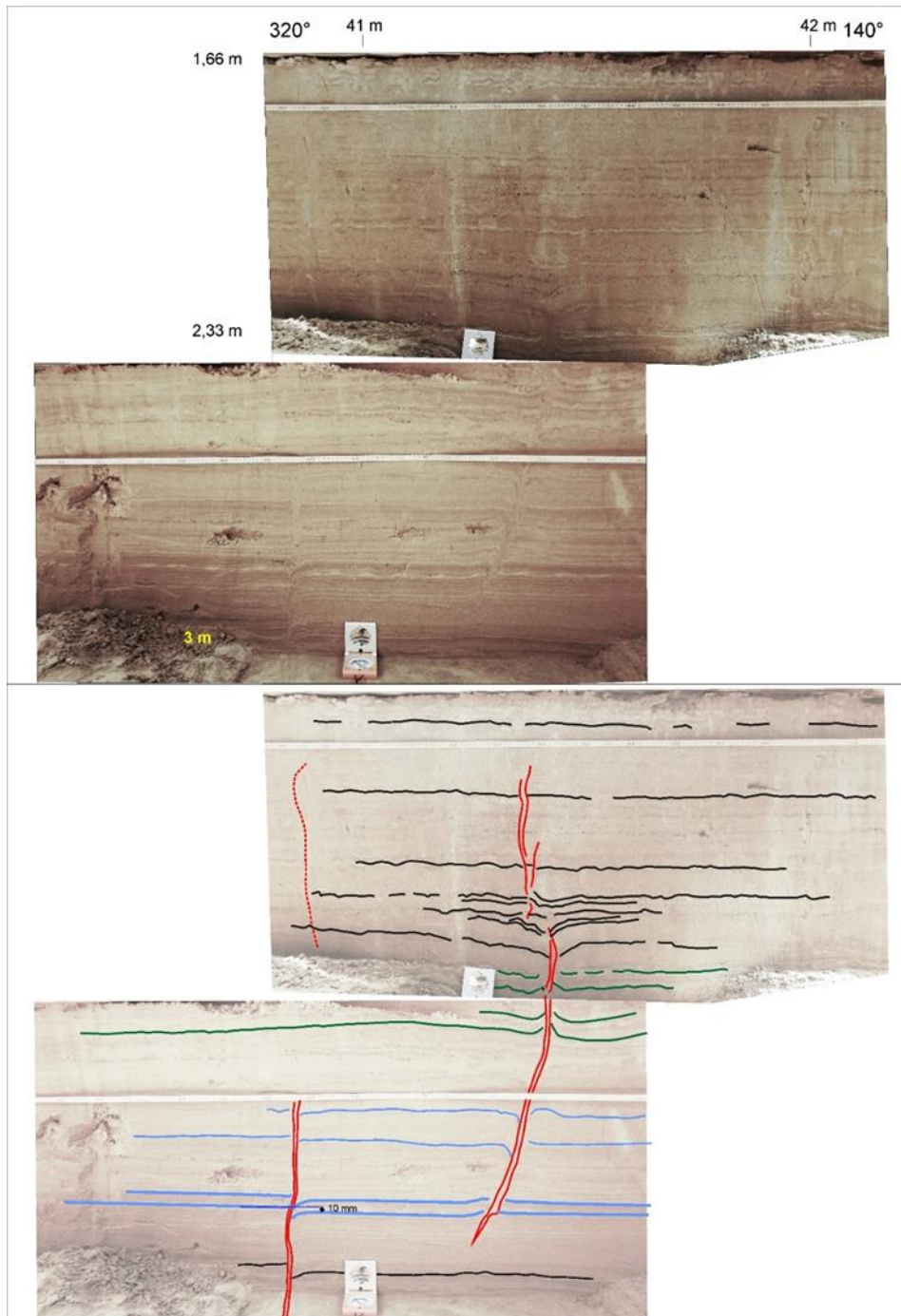
- 1. A 84 m hosszú, az eredeti terepszinttől számítva ~1+2 m mélységű árokban három csoportban jelentkeznek (247. ábra), csapásuk DNY–ÉK-i (a Dunaszentgyörgy–Harta törésövvel párhuzamos), dőlésük meredek, 75-90° közötti (255. ábra).
- 2. Felismerésük nehéz, mert a befoglaló homok rétegei csaknem azonos színűek, gyenge kontrasztot mutatnak. (Ezért a bemutatott képek hamisszínűek, erősen kontrasztosítottak. Az eredeti felvételeket a dokumentáció tartalmazza.) A szeizmotektonikai jelenségek az árok legalsó, legjobban rétegzett részén a legszembevetőbbek. Ennek a szakasznak a dokumentálásakor a felsőbb szakaszokat már a biztosító ácsolat takarta. Több esetben a legalul felismert, dokumentált tektonikai elem folytatása fölfelé már csak utólag, a fényképeken volt kimutatható. Ennek következménye az is, hogy a hasadékok felső elvégződése alig dokumentálható, így rétegekhez köthető korolásuk alig megoldható. (Ebben szerepet játszik, hogy a rétegsorban fölfelé a rétegzettség egyre kevésbé kifejezett és a bioturbáció egyre erőteljesebb.) Az megállapítható volt, hogy legfeljebb csak a fentebb említett, szeizmikus behatást mutató, 1,75-1,9 m talpmélységű réteggig (250. ábra, 254. ábra) követhetők.
- 3. 41,3 méternél és 43,7 méternél olyan szerkezeteket tárt fel az árok mindkét oldalfala és talpa, amelyek csapásuk, meredekségük és normálvetős kísérő töréseik (258. ábra, B kép; 260. ábra) alapján egyértelműen az aljzatban megismert

virágszerkezethez kapcsolódó (transzteniós negatív virágszerkezet jellegű) oldalelmozdulások (257. ábra, A; 258. ábra, A, B; 259. ábra; 260. ábra).

- 4. A homoktelérek és az elmozdulási felületek közötti extenziós felnyílások oldalfalai zegzugos lefutásúak. Szélességük 0-8 cm, jellemzően 1-2 cm.
- 5. A homoktelérek fölfelé, lefelé és oldalirányban is kiékelődhetnek (256. ábra).
- 6. A felületek peremén a rétegek deformációt szenvedtek: a hasadékok kísérvé szimmetrikusan meghajolnak. Jellemzően lefelé hajlanak (256. ábra; 257. ábra, A, C), ritkábban fölfelé (256. ábra, zölddel jelölt rétegek).
- 7. A szeizmotektonikus felületek környezetében a rétegek néhol redőzöttek (257. ábra, B kép).
- 8. A hasadékok kitöltő anyaga a környező, illetve a fedő rétegekből származik (258. ábra, A), de ennek határozott kijelentéséhez nincs elegendő észlelési és vizsgálati anyag.
- 9. Elmozdulás 43,7 m-nél volt megfigyelhető egy 10 mm-es, feltolódásos összetevőjű oldalelmozdulás formájában (256. ábra). A vízszintes rétegekben a vízszintes elmozdulás kimutatása nehézségekbe ütközik, de annak hiánya a 258. ábra C és D képén látható esetben – ahol a homokfodrok vízszintes metszetén nem mutatkozik elmozdulás – megállapítható.
- 10. Egy esetben volt megfigyelhető balos nyírásra utaló en echelon mintázat (261. ábra), a 37 méternél észlelt hasadék vízszintesen ilyen módon „ékelődik ki”.
- 11. A frissen, eredeti nedvességtartalom mellett vizsgált homokfelületeken – a kőzetanyagból fakadóan – elmozdulási karc nem volt látható.

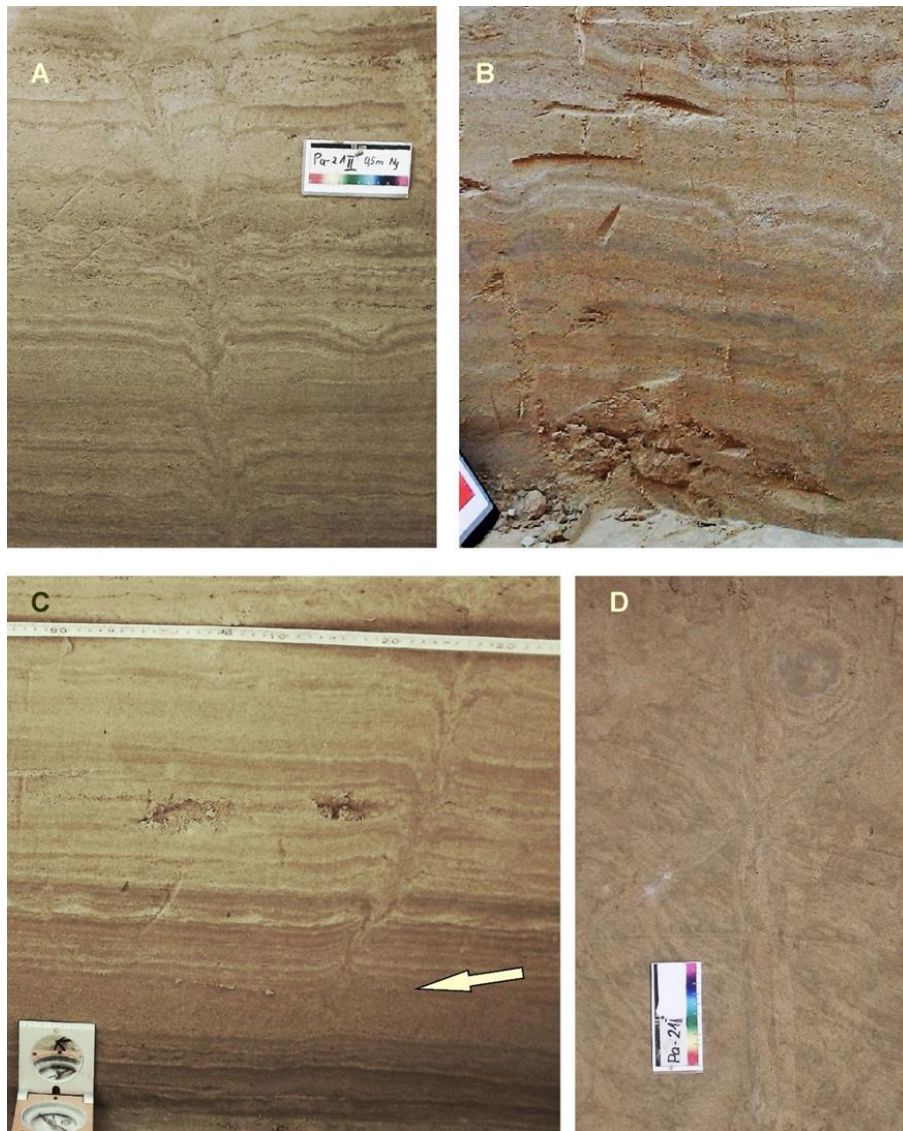


255. ábra Az észlelt hasadékok sztereogramja (14 adat)



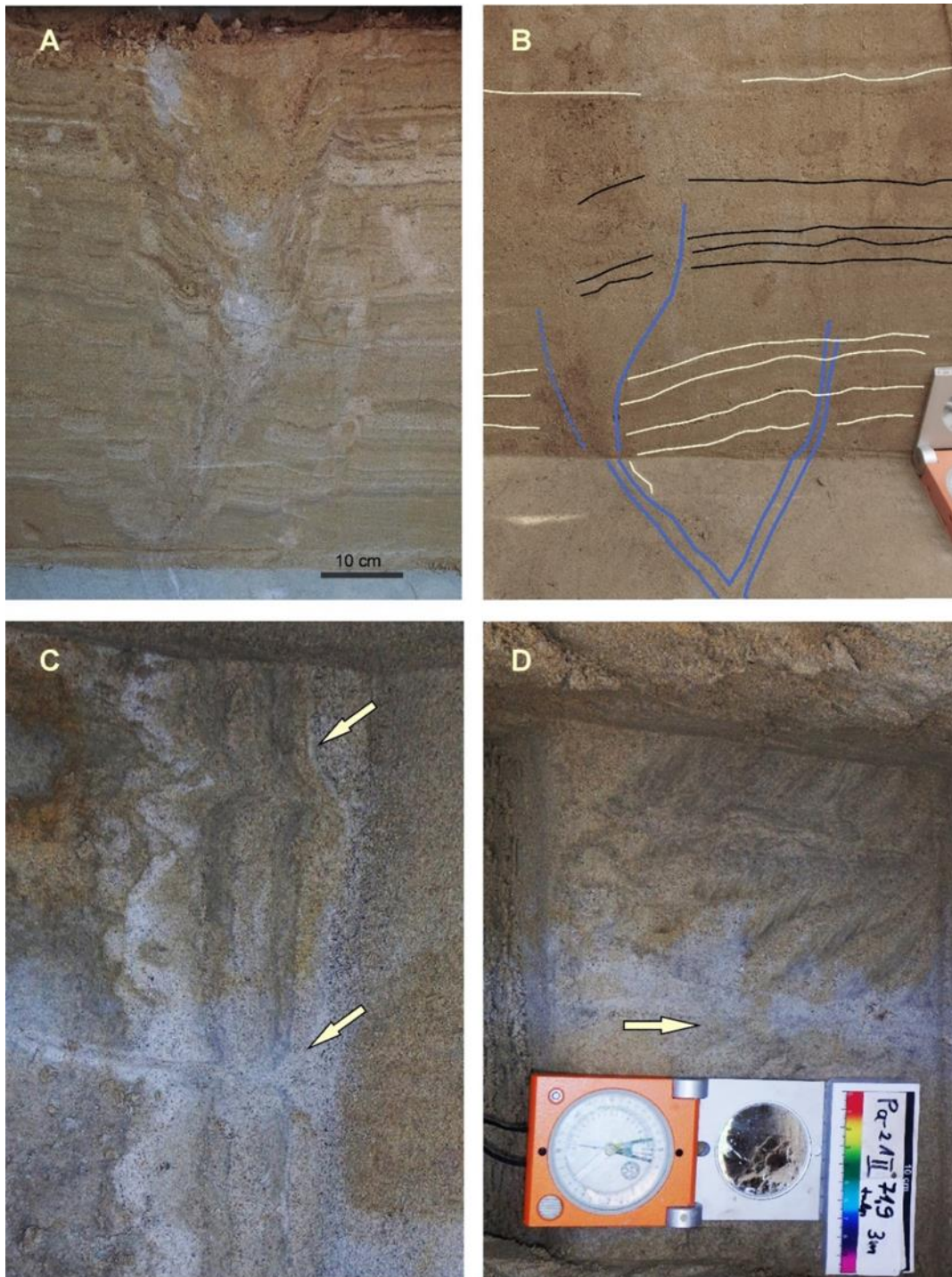
256. ábra Elmozdulási felszín és kiékelődő törés 41 és 42 m között, az árok K-i falában

Megfigyelhető a hasadékok kiékelődése mind fölfelé, mind lefelé. Peremükön a rétegek szimmetrikusan deformáltak. A kézzel jelölt rétegek lefelé hajlanak, a zölddel jelöltek fölfelé. A bal oldali hasadék mentén a kézzel jelölt alsó két rétegekben 10 mm-es elvetés mérhető. A rétegek helyzete alapján az elvetés feltolódás összetevőjű (a hasadék 88 fokkal ÉNy felé, a képen balra dől), ezzel nincs összhangban a rétegek meghajlásának (flexúráinak) iránya.



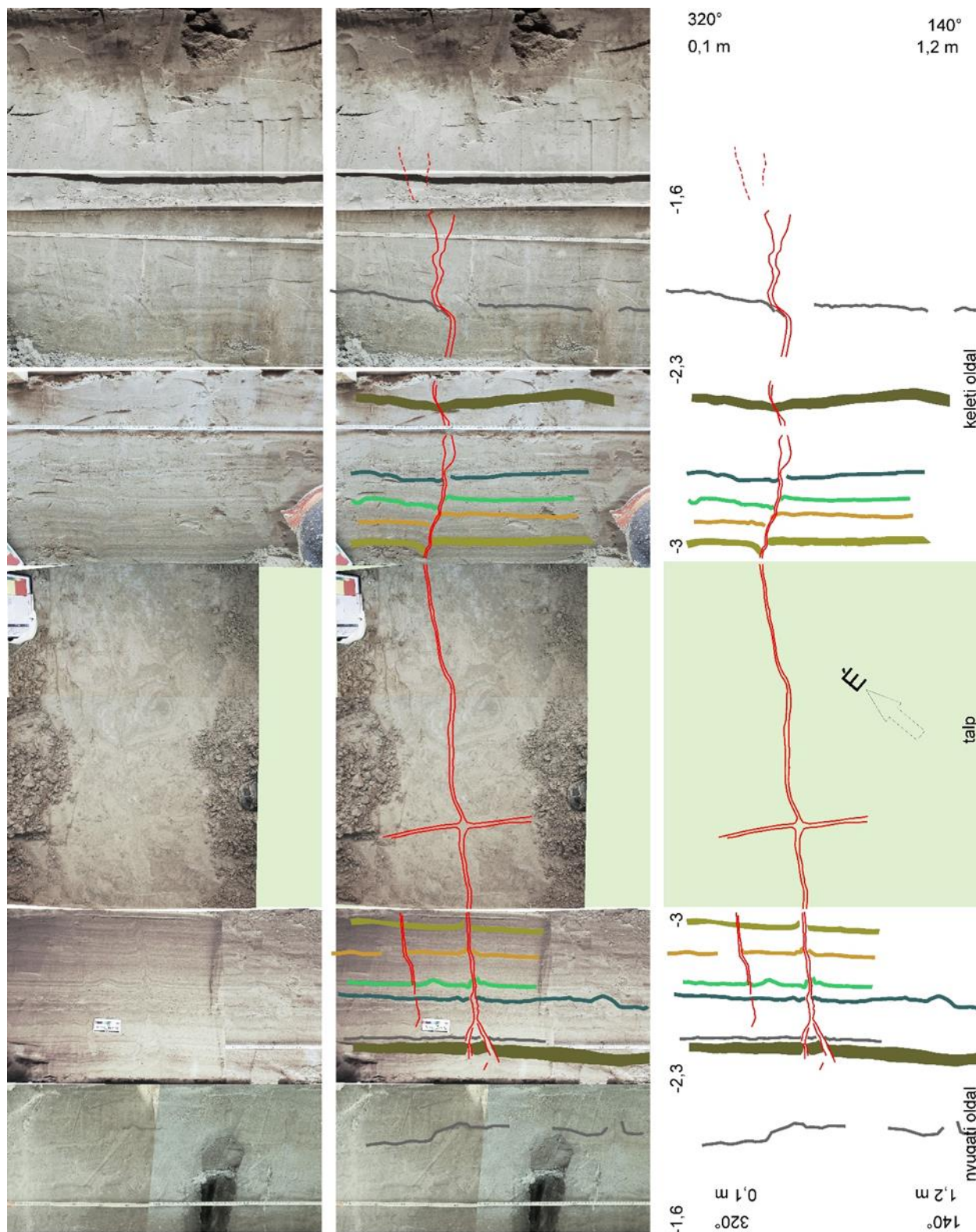
257. ábra A szeizmotektonikus elemek jellemzői

I. A: 0,5 méternél, a Ny-i oldalfalban észlelt hasadék (29. ábra) peremén a rétegek mindkét oldalon, szimmetrikusan lefelé hajlanak. Felső részén kettéágazik és normál vetős „árok szerkezetet” formál. B: az A képen ábrázolt hasadék megjelenése a K-i oldalfalban (a kép jobb szélén). Jól látható, hogy a hasadék közelében a rétegek gyüredeztettek. C: Hasadék kiékelődése (nyíllal jelölve) 41,7 méternél, 15 cm-rel a talp felett. (A 26. ábra jobb oldali hasadékának közelképe.) A fekvő rétegek zavartalanul települnek. D: a 0,5 m-nél és a 0 méternél észlelt hasadékok kereszteződése a 3 méter mély talpon. Nem vetik el egymást, a kitöltés homogén, egyidejűségre utal. Jobbra fent a koncentrikus mintázat a közel vízszintes rétegeknek a hasadékok közelében megfigyelhető deformációjából, redőződéséből adódik.



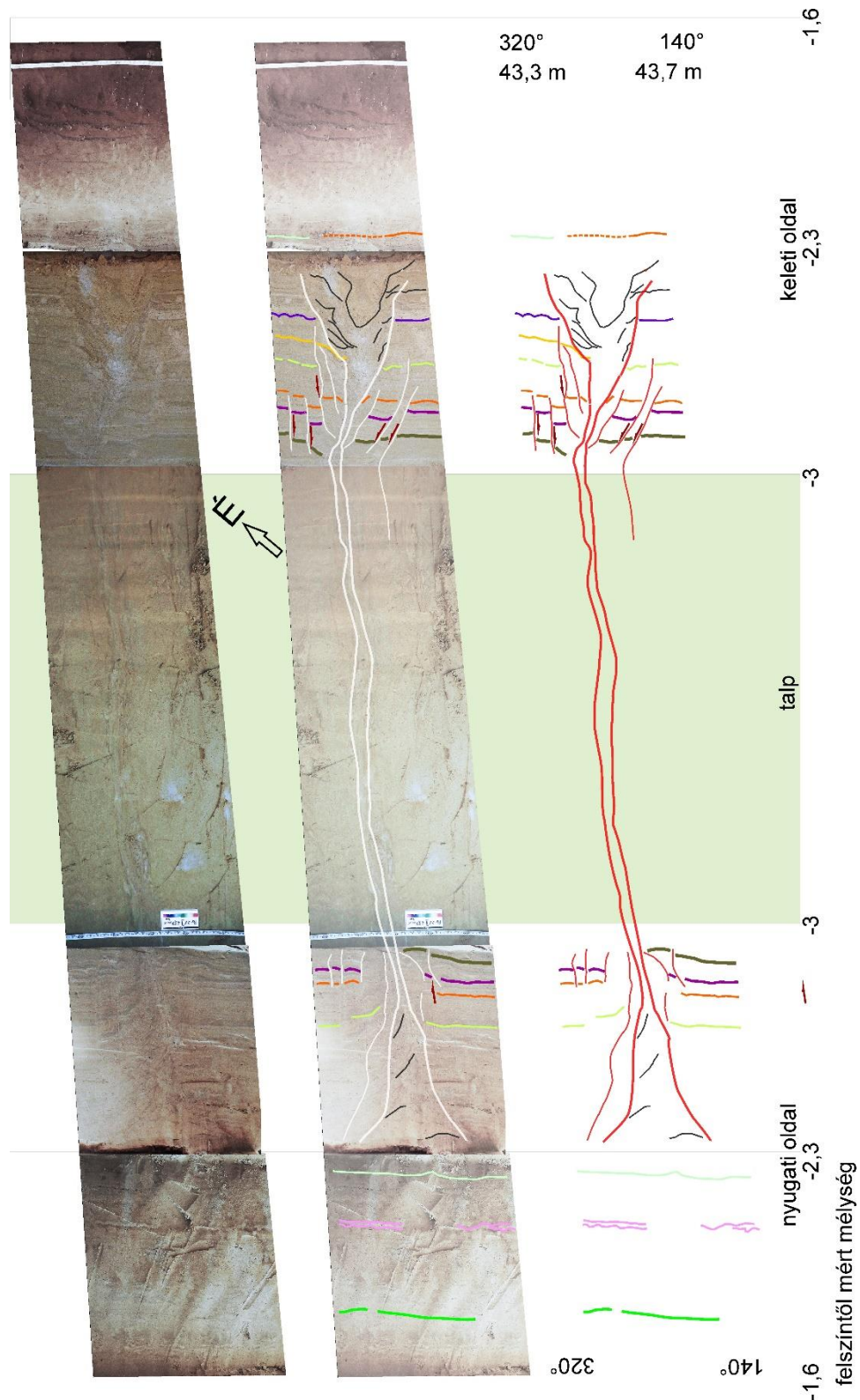
258. ábra A szeizmotektonikus elemek jellemzői II.

A: 43,7 méternél, 3 m talpnál, a K-i oldalfalban megfigyelt hasadék fölfelé kiszélesedik, pereme normálvetők mentén lezökkent. Kitöltő anyaga a környező illetve fedő rétegekből származik. (l. még 30. ábra). B: a 26. ábra képén bemutatott szerkezet folytatása a Ny-i falban, 41,3 méternél, 2,3 m talp felett. C: Két párhuzamos szerkezeti sík (homoktelér?) (71,9 és 73,2) közel vízszintes metszete, ezért néhány vékony réteg látszik jelentős álvastagsággal. Nyíllal jelöltek ugyanannak a rétegnek a szimmetrikus, de ellentétes irányú meghajlásai. A kép magassága 40 cm. D: Ugyanott, mélyebben 10 cm-rel, egy hullámfodros réteg vízszintes metszete, amelyen látható, hogy a síkok mentén vízszintes elmozdulás nem történt.



259. ábra A 0,5 méternél észlelt szerkezet kiterített ábrázolása

Az ábra felső részén, a keleti falban néhány rétegben elmozdulás észlelhető, ugyanakkor fekü és fedő rétegekben elmozdulás nem látható. A szerkezeti elemek közelében gyüredezéses rétegdeformáció látható mindkét árokfalon.



260. ábra A 43,7 méternél, 3 méter talp felett észlelt szerkezet kiterített ábrázolásban

Geometriája, elmozdulásai alapján transzteniós negatív virágszerkezet. A törérendszer két fázisú kialakulásra utal, egyik fázis sem metszi a 2,3 méter feletti rétegeket.



261. ábra En echelon jellegű szerkezettel kiékelődő hasadék az árok 37. méterében. Vetőként értelmezve 2,5 cm vízszintes elmozdulást jelöl

3.1.2.3.4 A szeizmotektonikus jelenségek értelmezése

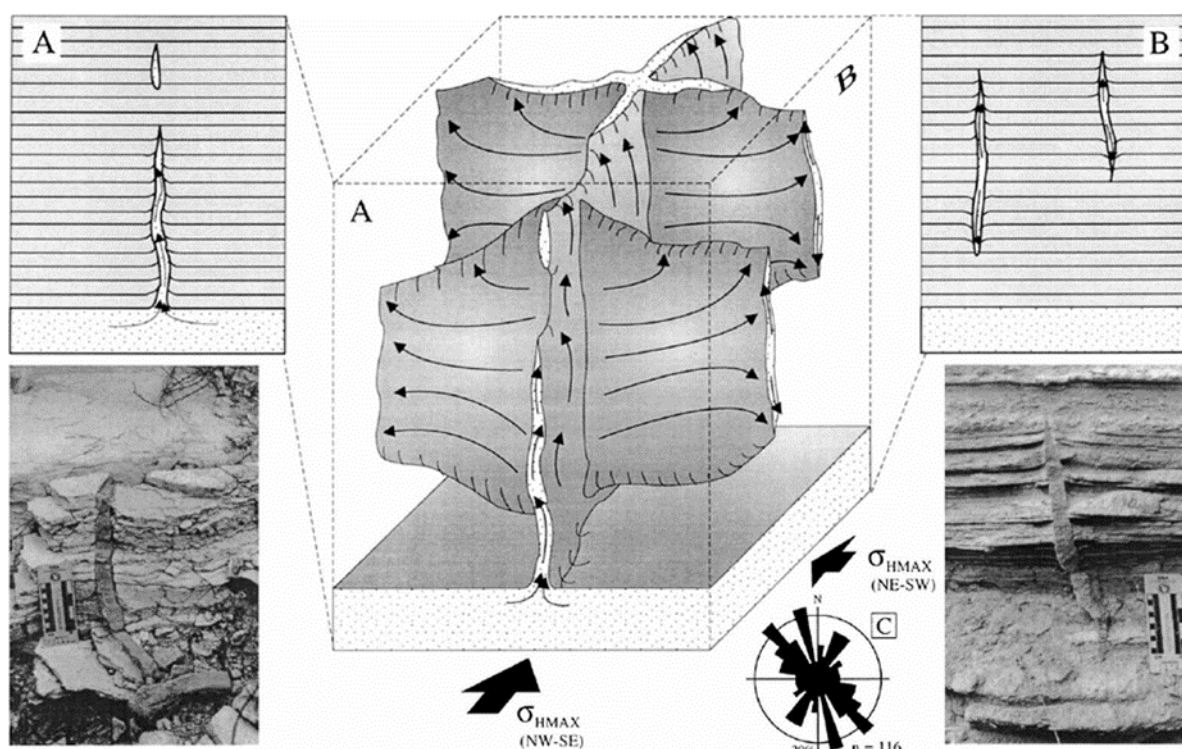
A szeizmotektonikus eredetű jelenségeket fentebb három csoportra osztottuk. Az a) pont alatt szeizmitként értelmezett üledékszerkezetek a talajfolyósodáshoz szükséges 5-ös magnitúdó alatt is kialakulhatnak [227] [275].

A b) pontban említett benyomulások homoktelérek egyértelmű megkülönböztetése a törésektől gyakran nehézségekbe ütközik [14].

(Felmerült még a fagyék vagy jégék eredet lehetősége, de ez az előfordulás földrajzi helyzete, mélysége és szerkezete alapján kizárható.

A szimmetrikus flexúrák a homokinjekciók sajátos morfológiai jellemzői, mint azt a 262. ábra B képe szemlélteti: a rétegek elhajlása a benyomulás irányát mutatja, ezért ellentétes irányúak is előfordulhatnak. Ugyanez a Pa-21-II árokban a 41,2 méternél megfigyelt elválási sík mentén is megfigyelhető (256. ábra). A 0,5 méternél és a 41,3 méternél harántolt szerkezetek a 43,7 m jelűhöz hasonló felnyílást mutatnak a felső, elhaló részükön, alul viszont a szimmetrikus flexúrák jellemzik őket (258. ábra, B kép; 259. ábra). A flexúrák jellemzően lefelé hajolnak, ritkábban fölfelé (256. ábra). A rétegsor a felszínközélen található, a benne talált szerkezetek kialakulásukkor a mainál még vékonyabb fedőt hordoztak, azaz a függőleges terhelés alacsony értéke miatt a homokinjekcióknak fölfelé kellett hatolniuk. Ezzel szemben általában a rétegek lefelé hajlása, ami a fentebb írtakra figyelemmel nehezen értelmezhető. A laza üledék gravitációs deformációjának (lefelé hajlásának) ellentmondanak a fölfelé hajló szimmetrikus flexúrák előfordulásai. A 37 méternél megfigyelt, balos elmozdulásra utaló en echelon szerkezet (261. ábra) ugyanúgy jellemző a vetőfejlődés egy szakaszára, mint a szeizmikus homokbenyomulások kialakulására. Előbbi esetben a felnyílások összes szélessége megadja az elmozdulás mértékét.

A szeizmikus benyomulások telérek jellegzetességeit szemléletesen mutatja be [284] (262. ábra). A Pa-21-II kutatóárokban valamennyi morfológiai bélyeg megtalálható, de magát az injektált homokot, a távolabbi rétegből benyomult anyagot nem lehetett kimutatni. Ennek oka lehet az is, hogy a rétegsor – eolikus fáciesének megfelelően – rendkívül egyveretű, a szemcseméret jellemzően a finom-középszemű homok tartományban marad, így a befoglaló üledéktől nem különbözik észrevehetően.)



262. ábra Dk-spanyolországi késő-miocén földrengések hatására kialakult nyomulós telérek jellemzői [227] ábráján.

A szeizmikus telérek esetében a hasadékok kísérő flexúrák irányítottságát az injektálás irányára vezetjük vissza. Így, ha a nyomulás egy adott rétegből a kialakuló hasadékokban lefelé és felfelé is megtörtént, a rétegelhajlás ellentétes irányú lesz (l. B részlet). (Az ábra két maximális főfeszültséget jelez a vízszintes síkban, a nyilak nagysága is jelzi, hogy az ÉK-DNy-i felirat téves.)

Mіндеzen értelmezési nehézségek mérlegelése után a konzervatív megközelítés a tektonikus törés minősítést kívánja meg. A fentebb részletezett ellentmondásokat feloldja, ha a bizonytalan eredetű kísérő jelenségeket a transzteniós virágszerkezet elmozdulásainak hatására kialakult deformációként értelmezzük. Ebben az esetben a dokumentált en echelon szerkezet 2,5 cm elmozdulást jelöl.

A szeizmotektonikus felületek kialakulási korára még nincsenek pontos adatok. Rétegtani megfontolások, korolt analóg kifejlődések alapján (l. a 3.1.2.3.2 fejezetben) a képződmény kora legkésőbbi-pleisztocén – óholocén. (Az árok DK-i végében mélyült Pa-21-C fúrás 2,3 és 4,5 méteréből származó minták ^{14}C kora – ahogy fentebb utalás történt rá – biztonsággal nem használható fel.) A törések különböző felhatolási magasságából (vö. 259. ábra és 260. ábra) és a 43,7 méternél dokumentált törésszerkezetből a tektonikai elemek különböző korára következtethetünk.

Összefoglalva, a Pa-21-II jelű árokban feltárt szeizmotektonikus szerkezetek negatív virágszerkezethez tartozó oldalelmozdulásos rendszer törési felületei. A törési felületek mentén elmozdulás két esetben volt kimutatható: 41 méternél 1 cm függőleges, 37 méternél 2,5 cm vízszintes komponenssel.

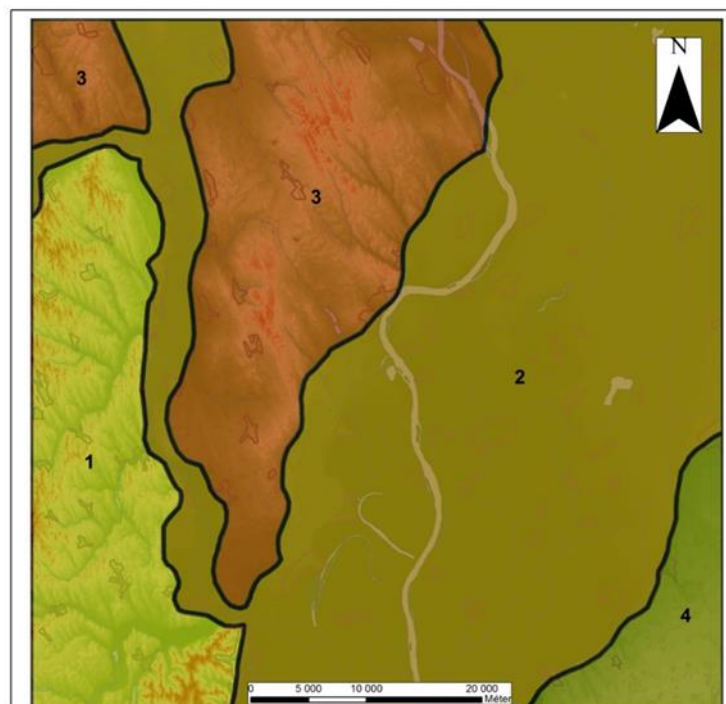
A kutatóárokban tett megfigyelések alapvető adatokkal járultak hozzá a jelenkori tektonikai folyamatok minősítéséhez. A paksi terület korábbi és jelen kutatási szakaszában különféle módszerekkel nyert adatok arra utalnak, hogy a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna a terület fiatal és aktív tektonikai eleme. A Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna a „Kapos-

vonulhoz” csatlakozik, amelynek jelenkori aktivitását igazoló megfigyelésekről [305] és [205] számolt be. A Pa-1-B fúrás Tengelici Formációjában észlelt eltolódás (245. ábra) is arra utal, hogy a terület fiatal szerkezetei, így a kutatóárokban észlelt szeizmotektonikus jelenségek is az aljzatról ismert eltolódási rendszerhez tartoznak. Ugyanakkor hangsúlyozandó, hogy a kutatóárokban származó ismeretek szerint még ebben a tektonikusan aktív zónában sem alakult ki érdemleges elvetés a vizsgált képződmények keletkezési időszakában.

3.1.2.4 Jelenkori földtani folyamatok

Paks tágabb környezetében a vizsgálatra kijelölt 60x60 km-es terület több, geomorfológiai szempontból jelentősen különböző tájegységet foglal magába. A földtani értelemben vett jelenkori – holocén – felszínalakító folyamatok is területenként igen eltérőek. Pillans, Gibbard [274] szerint a holocén és pleisztocén határa 11 700 év körül van.

Földtani-geomorfológiai szempontok alapján 4 nagyobb tájegységre osztható fel a tágabb kutatási terület, melyet az alábbi ábra mutat be (263. ábra).



263. ábra A tágabb kutatási terület földtani–geomorfológiai tájegységei

1. Tolnai-dombság (Tolnai-hegyhát és Szekszárdi-dombság, a Völgység)
2. Duna és a Sió–Sárvíz allúviumai
3. Mezőföld
4. Kiskunság (Duna–Tisza közti hátság [263]) Ny-i pereme.

A jelenkori felszínformálást a külső erők határozzák meg. A mai domborzatot lejtőfolyamatok, szélerózió és akkumuláció, valamint az állandó és időszakos vízfolyásokhoz kapcsolódó lineáris erózió és akkumuláció alakítja. A folyamatok természetesen nem egymástól szeparált módon zajlanak, hanem kapcsolódnak egymáshoz, megfigyelhetőek átmenetek is.

A fenti folyamatok a négy tájegység területén rendkívül eltérő mértékben vannak jelen.

A Mezőföld felszínét lösz és futóhomok alkotja. A holocén felszínalakulás jelentősen eltérő formákat hozott létre a két alapkőzeten. A löszön nagy kiterjedésű, alig tagolt, viszonylag éles peremmel meredek lejtőkbe átmenő térszínek jöttek létre. A felszíneken kis mélységű deráziós völgyek, valamint kisebb–nagyobb, általában ÉNy–DK irányban elnyújtott alakú deflációs mélyedések a jellemző felszínformák. A felszínekbe eróziós völgyek vágódtak be. Ezek oldalában és a Mezőföld Dunára néző magaspartján gyakoriak a csuszamlásveszélyes lejtők, csuszamlások. A futóhomokfelszíneken a félig kötött futóhomokra jellemző formák (parabolabuckák, hosszanti buckák, szabálytalan alakú dűnék, különböző méretű deflációs felszínek) a jellemzőek.

A Tolnai-dombságon a tágabb kutatási terület a Tolnai-hegyhát és a Szekszárdi-dombság északi, valamint a Völgység keleti részére terjed ki Pécsi, Somogyi [263] geomorfológia körzetbeosztása alapján. A két dombsági terület erősen felszabdalt lösztérszín, mély völgyekkel tagolt, amelyeknek lejtői csuszamlásveszélyesek, gyakoriak a csuszamlások maradványformái. A Völgység domborzata hasonlít a Mezőföld löszfelszíneinek formakincséhez. A Hegyhát és a Völgység területe erősen aszimmetrikus. Az északnyugati lejtők meredek, rövid, gyakran bevágódó völgyek, vízmosások a jellemzőek, míg a délkeleti oldal enyhe lejtőin a vízmosások nem jellemzőek, a völgyek jelenleg nem vágódnak be. A Szekszárdi-dombság morfológiája eltér a másik két részterülettől, mivel a Duna völgyének nyugati peremén erősen bevágódott, így az erodált peremen hosszú, enyhe lejtők nem alakulhattak ki, a völgyek a Duna alluviális síkságának helyi erózióbázisához igazodtak.

A Duna és a Sió–Sárvíz alluviális térszínei jellegzetes fluviális felszínek. A magas és alacsony ártér nem minden esetben különíthető el egyértelműen. A Sió–Sárvíz-völgy vízrendezése a 18. végén kezdődött, jelentős részben a 19. században megtörtént. Így az alluviális térszín jelenleg természetes módon alig változik. A szabályozás előtti meanderező vízfolyások medermaradványai sok helyen felismerhetőek. Az oldalazó erózió, a partok alámosása megszűnt, a magaspartok így jelenleg kevésbé mozgásveszélyesek. A Duna esetében hasonló folyamatokról lehet beszélni, azonban a gátak közé szorított Duna mederváltozásai napjainkban is zajlanak, a zátonyok, szigetek, parti területek határai folyamatosan változnak a meder környéki alacsony ártér területén. A Duna nagy kiterjedésű alluviális síkságot alakított ki a Mezőföld–Tolnai-dombság és a Duna–Tisza-közi hátság között. Ezen a területen a holocén folyamán folyóvízi felszínformálódás, üledékképződés történt elsősorban, de az alluviális térszínre helyenként futóhomok települt. Legjellegzetesebb formái az övzátonyrendszerek, medermaradványok, parti hátak.

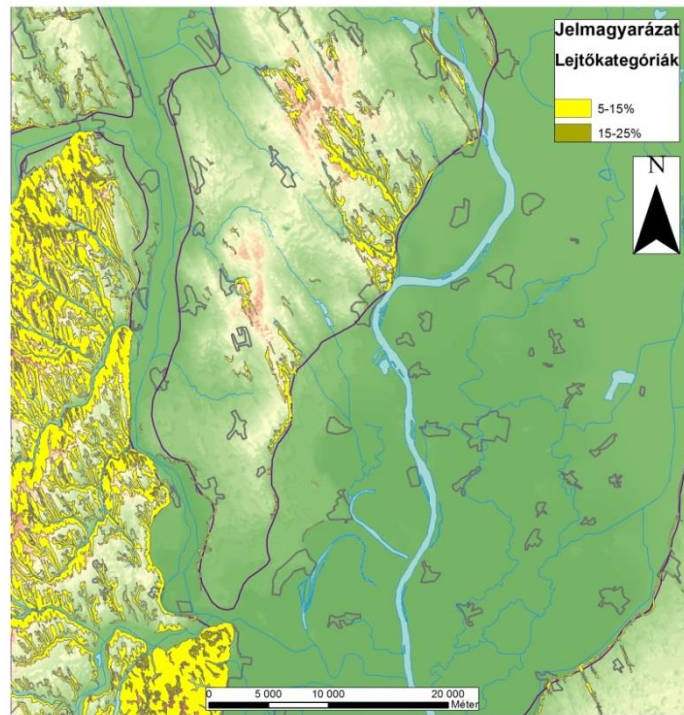
A tágabb kutatási terület keleti, keskeny sávja a Duna–Tisza-közi hátság nyugati peremén fekszik. Déli részén meredek, a Duna egy elhagyott medre által alámosott lejtővel élesen elválik a Duna ártéri síkságától, északi részén a határ kevésbé határozottan rajzolódik ki a mai domborzatban. Felszínén legnagyobb területen futóhomok található, ami alól azonban – elsősorban a nyugati határához közel – számos helyen felszínre bukkan a lösz.

3.1.2.4.1 Lejtőfolyamatok

A lejtős tömegmozgások a Mezőföldön és a dombsági területeken ismertek. Kialakulásuk erősen bevágódott eróziós völgyekhez, az alluviális területek peremének meredek partjaihoz kapcsolódik (264. ábra, 265. ábra).

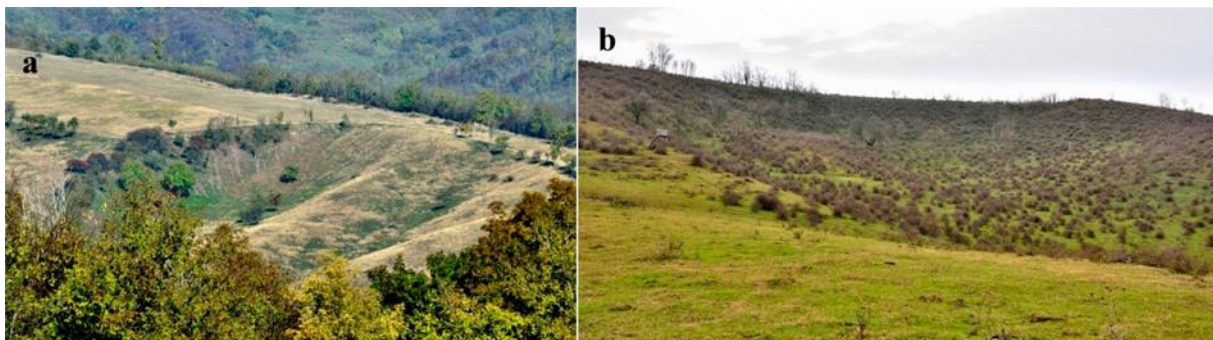
Balla et al. [18] részletes vizsgálatokkal igazolta a köztrések atektonikus jellegét nem csupán a dunai magaspartokon, hanem az alsószentiváni, völgyoldali feltárásban is. Balogh et al. [22], Schweitzer [297] Udvari környéki munkái, noha térképen nem jelölték, leírták a

jelentésben a nagyobb völgyek peremein a lejtős tömegmozgásokat, a térképen is kiemelve a az erózióveszélyes, meredek lejtőket. Ugyancsak kiemelték a munkák az antropogén hatás jelenőségét a lineáris eróziós folyamatok kialakulásában.



264. ábra A tágabb kutatási terület 5°-nál meredekebb lejtői ([215] 71 p.) alapján

Aktív lejtőmozgásokat nem észleltünk a geomorfológiai felvétel során. A Dunát nyugat felől határoló meredek partszakaszokon rendszeresen ismétlődnek a tömegmozgások; a kiépített védművek csökkentették a veszélyt, azonban véglegesen nem szüntették meg a tömegmozgások lehetőségét. A lakott területeken és azok közvetlen közelében a közelmúltban történt mozgások helyszíne, kora pontosan ismert. Az elvégzett vízelvezetés, támfalak építése a lakott területek környékén általában sikeresen stabilizálta a lejtőket ([215] 71 p.).



265. ábra Csuszamlás maradványai a Tolnai-hegyháton és a Mezőföldön

a – Csuszamlás maradványa a Tolnai-hegyhát területén Miszla mellett; b – Csuszamlás maradványa a Mezőföldön, Dunakömlődtől északra.



266. ábra Vízmosság egy szántóföld területén a Mezőföldön, Alsószentiván mellett

Feltehetően barázdás, árkos erózió továbbmélyülésével alakult ki.

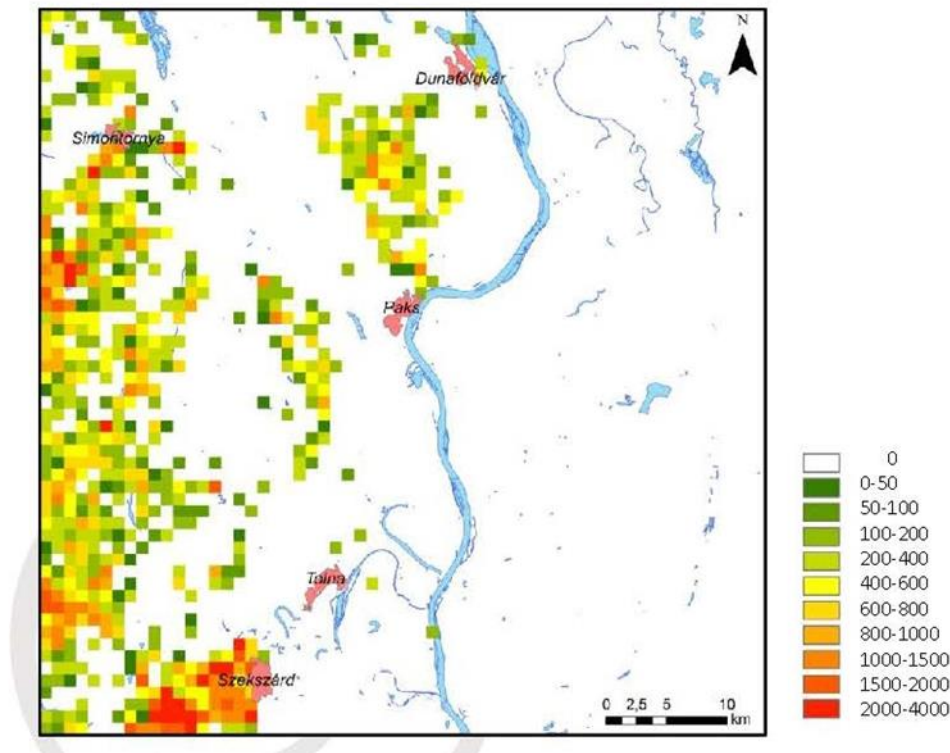
A felületi lemosás ugyancsak jellemző a dombsági területekre és a Mezőföldre. A folyamat intenzitását meghatározza a növényzeti fedettség. Így napjainkban a felületi lemosás, barázdás, árkos erózió elsősorban a nagytáblás mezőgazdasági művelés által érintett felszínekre jellemző. Egy-egy eső, zápor után kialakulnak a barázdák, kisebb árkok, jelentős mennyiségű talaj, illetve ennek feküanyaga hordódik le. Azonban a barázdákat, árkokat általában a nagy gépekkel folytatott talajművelés eltünteti, azok nem fejlődnek tovább. Az esetenként tovább mélyülő árkok vízmosságá alakulnak helyenként (266. ábra). A deráziós völgyekben jellemző a lemosott talaj felhalmozódása (267. ábra).



267. ábra Felületi erózió löszfelszínén

Deráziós völgyek talpát kitöltő áthalmazott talaj.

3.1.2.4.2 Vonalas eróziós folyamatok



268. ábra Erózióveszélyeztetettségi térkép a vízmosások összhossza alapján (m / km² pixel)

Madarász, Jakab ([215] 71 p.) a tágabb területnek a Duna jobb partjára eső részén vizsgálták a vízmosásos eróziós folyamatokat. Az 1:10 000 méretarányú EOTR topográfiai térképek alapján elkészült digitális adatbázis összesen 1662 darab adatot tartalmaz, az összes, legalább 5 méteres vízmosást. A vízmosások elterjedésében rendkívül nagy területi különbségek mutatkoznak (268. ábra). Az ábra jól mutatja, hogy a jelentősen felszabdalt dombsági területek mellett mindössze a Györkönyi-hát környékén és a Mezőföld Pakstól északra fekvő, völgyekkel szabdaltszerű felszínén alakultak ki vízmosások nagyobb számban és hosszúságban.

A teljes vizsgált terület 155,7 m/km² vízmosássűrűsége alapján gyengén felszabdalt területnek tekinthető, azonban a dombsági terület 242,8 m/km² vízmosássűrűsége már közepes értéknek tekinthető [196].

A vizsgálatba bevont lineáris eróziós formák egy része meredek lejtésű völgytalpakon, lejtőkön kialakult eróziós forma, azonban sok esetben a löszterületeken a földutak alakultak tovább és váltak mélyutakká vagy eróziós vízmosásokká.

Ádám [4] a vizsgált terület formáinak leírásában ismertette a löszfelszín eróziós folyamatait: az antropogén löszmélyút löszszakadékká alakul felszíni és felszín alatti erózió és korrózió hatására. Löszszakadék nem csak löszmélyútból alakulhat ki. Az erózió hatására a löszfekűt is feltáró löszszurdokok alakulnak ki.



269. ábra Széles lapos, feltöltött völgytalp a Tolnai-hegyhát eróziós völgyében, Tolnanémedi mellett

A nagyobb méretű eróziós völgyekre a dombsági területen (269. ábra) és a Mezőföldön is (270. ábra) a széles, lapos, feltöltött völgytalpak jellemzőek. Csak mesterséges medrek láthatók, vagy azok sem.

A vízmosások aktív eróziója az erdőirtás, szőlőművelés, szántóföldi gazdálkodás nagy területre történt kiterjedésével magyarázható. Szabó Géza régész (szóbeli közlés) szerint ezek a folyamatok a 18. században indultak el.



270. ábra Széles, lapos völgytalpú eróziós völgy a Mezőföldön, Előszállás mellett

3.1.2.4.3 Folyóvízi akkumulációs folyamatok

A Duna a jelenkor során a Duna–Tisza közti hátság és a Mezőföld pereme közötti területen rakta le üledékeit a geomorfológiai térképen ábrázolt ártér, magas és alacsony ártér területén. Gábris Gy. [86] foglalta össze terület jellemző folyamatait. Az övzátonyok, parti hátak jellege, elterjedése alapján a Duna 20 különböző korú és mechanizmusú medergenerációja különíthető el a kutatási területen. A kisebb méretű holtmedrek az árvizeket vezették le részben a főmeder, részben az ártér legmélyebb része felé. Gábris Gy. [86]

véleménye szerint a Duna–Tisza–közi hátság nyugati peremén húzódó mocsaras, vizenyős térszín [320] véleményével ellentétben nem a Duna óholocén medrének maradványa.

Gábris Gy. [86] alapján a legfiatalabb, a geomorfológiai térképen az alacsony ártérnek megfelelő medergeneráció (1) a Dunaföldvár és Bölcske közötti, valamint a paksi magaspartot erodálja aktívan természetes körülmények között. A telephelytől délre található 16. számú medergeneráció ennél idősebb, a 15-ösnél feltétlenül [86]. A legidősebb, 12. számú egység szétdarabolva fordul elő, a Solti-halom keleti oldalán, majd délebbre a mai meder környezetében, illetve a holocén ártér nyugati peremét alkotva.

A Duna legfiatalabb, a történelmi korokban történt mederváltozásait ([372] 39 p.) vizsgálta. A Duna teljes alföldi szakaszán kanyarogva vágódik be. A meder jellege alapján elkülöníti a Pakstól északra fekvő, kavicsstakarón kialakult medret a Pakstól délre, a kavicsösszlet fölötti finomszemű üledékeken kialakult medertől. A Duna jelenlegi mederalakulását az emberi tevékenység alapvetően meghatározza. A kanyarulatok átvágásai, a kotrások mélyebb medret alakítottak ki, megnőtt az árvízi szintek magassága és meggyorsult a nagyvizek lefolyása.

Az árvízvédelmi töltések nagyjából az alacsony árteret határolják. Ezzel az ártéri üledékképződés, a medervándorlás területét jelentősen beszűkítik.

3.1.2.4.4 Eolikus folyamatok

A tágabb terület egyik legjellemzőbb felszíni képződménye a futóhomok. Elterjedése nagyobb, mint a korábbi földtani és geomorfológiai térképeken ábrázolt terület. Azonban már a geomorfológiai térkép magyarázója is kiemelte, hogy az ábrázolhatósági problémák miatt kisebb területen jelölték a futóhomokot [298]. A homokmozgás az OSL vizsgálatok eredményei alapján jelentős részben a pleisztocén és a holocén határán történt (3.1.2.1.4 fejezet). A Mezőföldön, a Solti-halom területén és a Duna–Tisza–közi hátság peremén számos futóhomokdűne kora 10 és 15 ezer év közötti. Fiatalabb koradat a jelen projekt keretében végzett térképezés során vett minták között nem volt. A homokmozgás természetesen többször ismétlődött a holocén folyamán. A minták nagyméretű buckák feltárásaiból származnak, ennek alapján feltehető, hogy a holocén során a növényzeti fedettség 100 méteres nagyságrendű vízszintes kiterjedésű, 5 – 20 méter magas dűnék kialakulását megakadályozta, de a szabad homokfelszínek kisebb méretű homokformák kialakulását lehetővé tették.

A Solti-síkság területén a Duna holocén korúnak tartott ártéri síkságán nagy területet borít futóhomok. Ezek a Solti-halom és a Tétel-halom területén fűrészekkel, felszíni feltárásokkal igazoltan a dunai üledékeknél idősebb képződményekre, geomorfológiai értelemben teraszszigetekre települnek. A Halom közég melletti Halom-domb esetében ezt nem lehet egyértelműen megállapítani, a geomorfológiai helyzet alapján csak feltételezhető, hogy a dombot alkotó futóhomok a mai alluviális képződményeknél idősebb összletre települ.



271. ábra Szabadon mozgó futóhomokbucka a Kiskunság nyugati részén Nemesnádudvartól keletre

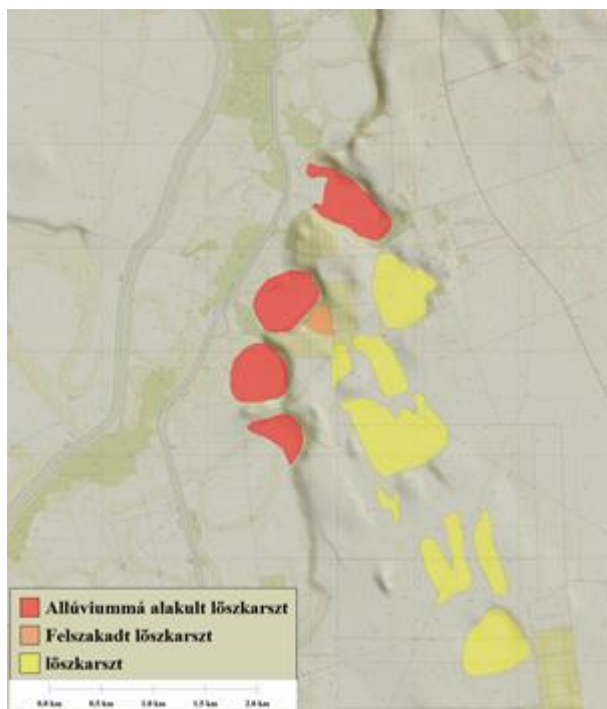
Számos futóhomok-előfordulás esetében azonban – részletes vizsgálatok hiányában – csak valószínűsíthető, hogy a Duna holocén allúviumára települnek. [257] a Duna ártéri területén parti dűnékként említi a futóhomokformákat.



272. ábra Erdőtelepítéshez előkészített szabad futóhomok felszíne a Kiskunság nyugati részén Nemesnádudvartól keletre

Jelenleg természetes körülmények között csak szórványosan fordulnak elő szabad homokfelszínek a tágabb kutatási területen. Németkér környékén [304] légifotó-interpretációval mutatta ki ezeket, míg a geomorfológiai térképezés során egy kiskunsági gyepes területen lehetett észlelni szabadon mozgó homokot (271. ábra). Azonban a nagy kiterjedésű szántások, az erdőtelepítés előtti előkészítő munkák (272. ábra) jelentősen növelik a futóhomokmozgásnak kedvező szabad homokfelszínek területét.

3.1.2.4.5 Egyéb felszínformáló folyamatok



273. ábra Lőszkarsztos terület Sióagárd és Szedres-Kajmádpusztá között

A jelenkori folyamatok között meg említeni az ún. lőszkarsztok képződését. Terepen, légifotókon és a részletes topográfiai egyaránt jól kirajzolódnak az alluviális folyóvölgyek, elsősorban a Sió–Sárvíz-völgy közelében a lőszfelszínbe mélyülő nagy kiterjedésű, lefolyástalan területek (273. ábra). A Sió–Sárvíz-völgy peremein jól felismerhetőek az oldalazó erózióval kialakult partszakaszok. Számos esetben azonban olyan lefutása van a völgyperemnek, amit ezzel a folyamattal nem lehet megmagyarázni. Szedres-Kajmádpusztá környékén található ennek tipikus példája. Feltehetően a peremhez közeli lefolyástalan mélyedést az alluviális síktól elválasztó keskeny gerincet átvágta valamilyen eróziós folyamat és a folyó bejutott a mélyedésbe, azt átformálta, az alluviális felszínhez kapcsolta. A folyamat a legutolsó lőszképződést követően, nagyobb részben a holocén folyamán mehetett végbe. Pontos korát, genetikáját jelenleg nem ismerjük.

Összefoglalva a jelenkori folyamatok jellegét és hatását a felszínformálódásra, megállapítható, hogy a pleisztocén során kialakult felszín továbbformálódása történt, jelentős változások a korábbi folyamatokhoz képest nem történtek. A jelenlegi folyamatok közül a lejtőkön történő tömegmozgások, valamint az elsősorban emberi tevékenységre visszavezethető lineáris erózió, vízmosásképződés alakítja a felszínt. Az eolikus folyamatok jelenleg nagyon kis mértékben formálják a felszínt. Az alluviális térszíneken a vízrendezések minimálisra csökkentették a folyóvizek felszínalakító hatását.

A jövőben az éves csapadékmennyiség eloszlásának, illetve mennyiségének változása módosíthatja a felszín alakító folyamatok intenzitását is. A csapadékmennyiség csökkenése, a hosszabban elhúzódó száraz időszakok kedvezhetnek az eolikus erózió és akkumuláció megerősödésének. A hirtelen, epizodikus, sok esetben a száraz periódusban történő intenzív csapadék a lejtős felszínek areális lepusztulásának és a vízmosásos erózióknak a felerősödésével járhat. A csapadékmaximum késő őszi vagy téli időszakra koncentrálódása

esetleg növelheti a lejtőmozgások számát, mivel ebben az időszakban a kisebb párolgás miatt nőhet a beszivárgás.

3.1.3 Az új eredmények beillesztése a Pannon-medence általános rétegtani és szerkezetfejlődési modelljébe

3.1.3.1 Bevezetés

A Tervezett telephely telephelyének kutatása során a fokozatosság elvének érvényesítésével történő megismerés legnagyobb vizsgálati egysége a telephely 300 km sugarú környezete [167]. A teljes Pannon-medencére kiterjedő kutatás célja a nagyszerkezeti egység földtani-tektonikai jellemzőinek és fejlődésének az összefoglalása volt. Ebbe a regionális környezetbe kell beilleszteni a paksi telephely 50 km sugarú környezetében végzett geológiai-geofizikai kutatások eredményeit, abból a célból, hogy az eredmények általánosíthatósága és a terület integritása bizonyítást nyerjen.

3.1.3.2 A nagytektonikai egység áttekintő jellemzése

Földrajzi elnevezés szerint az Alpok, Kárpátok és Dinaridák hegységei által körbevett területet Kárpát-medencének hívjuk (274. ábra), ami egy koherens nagytektonikai egység. Az 274. ábrán látható 300 km-es sugarú kör azt mutatja, hogy a részletes vizsgálatok területe Pannon-medence volt, ami a Kárpát-medencénél kisebb terület, mert a Bécsi-medencét és az Erdélyi-medencét nem tekintik hozzátartozónak. A Pannon-medence megkülönböztetése a Kárpát-medencétől geológiai szempontból azért indokolt, mert a Bécsi-medence és az Erdélyi-medence néhány fontos geofizikai paraméterét, rétegtanát és tektonikáját tekintve eltérő jellegzetességekkel rendelkezik, ami a Pannon-medencétől különböző kialakulási mechanizmusra vezethető vissza.

A 275. ábra áttekintően mutatja a Kárpát-medence neogén-kvarter korú medencéinek aljzatmélységét, az egykori mészkalkáli magmatizmus által létrehozott vulkáni hegységeket, valamint a medenceképződéshez kapcsolódó vetőrendszereket és ezek kapcsolatát a hegységi területek hasonló korú szerkezeti elemeivel. Jól megítélhető, hogy a domináns tektonikai stílus a regionális skálájú oldalelmozdulás, valamint az ezekhez kapcsolódó extenziós szerkezetek (medence területek), illetve kompressziós térrövidülések (külső hegységövek).

A 42: Melléklet az alpi-kárpáti-dinári hegységek és a terciér üledékekkel fedett medenceterületek paleozoos-mezozoos képződményeinek korrelációjával szerkesztett nagytektonikai térkép [293] egyszerűsített változatát mutatja. Témánk szempontjából a legfontosabb nagytektonikai egységek a következők:

3.1.3.2.1 Alcapa-főegység

Földrajzi értelemben a főegységet a Pannon-medence északnyugati részének aljzata, a Dunántúli-középhegység, valamint a kapcsolódó Keleti-Alpok és a belső Nyugati-Kárpátok képezik. Tektonikai szempontból megegyezik az ausztróalpi takarórendszerrel, amely az Adriai mikrolemez pereméről nyíródott le és rátolódott az európai peremre, valamint a köztes óceáni területekre. Ezek obdukált maradványai a főegység nyugati, északi és keleti szélein, valamint a főegységen belül tektonikai ablakokban (Engadin, Tauern és Kösseg-Rohonc) jelennek meg. Déli határát a Periadriai-vonal, valamint annak magyarországi folytatása, a

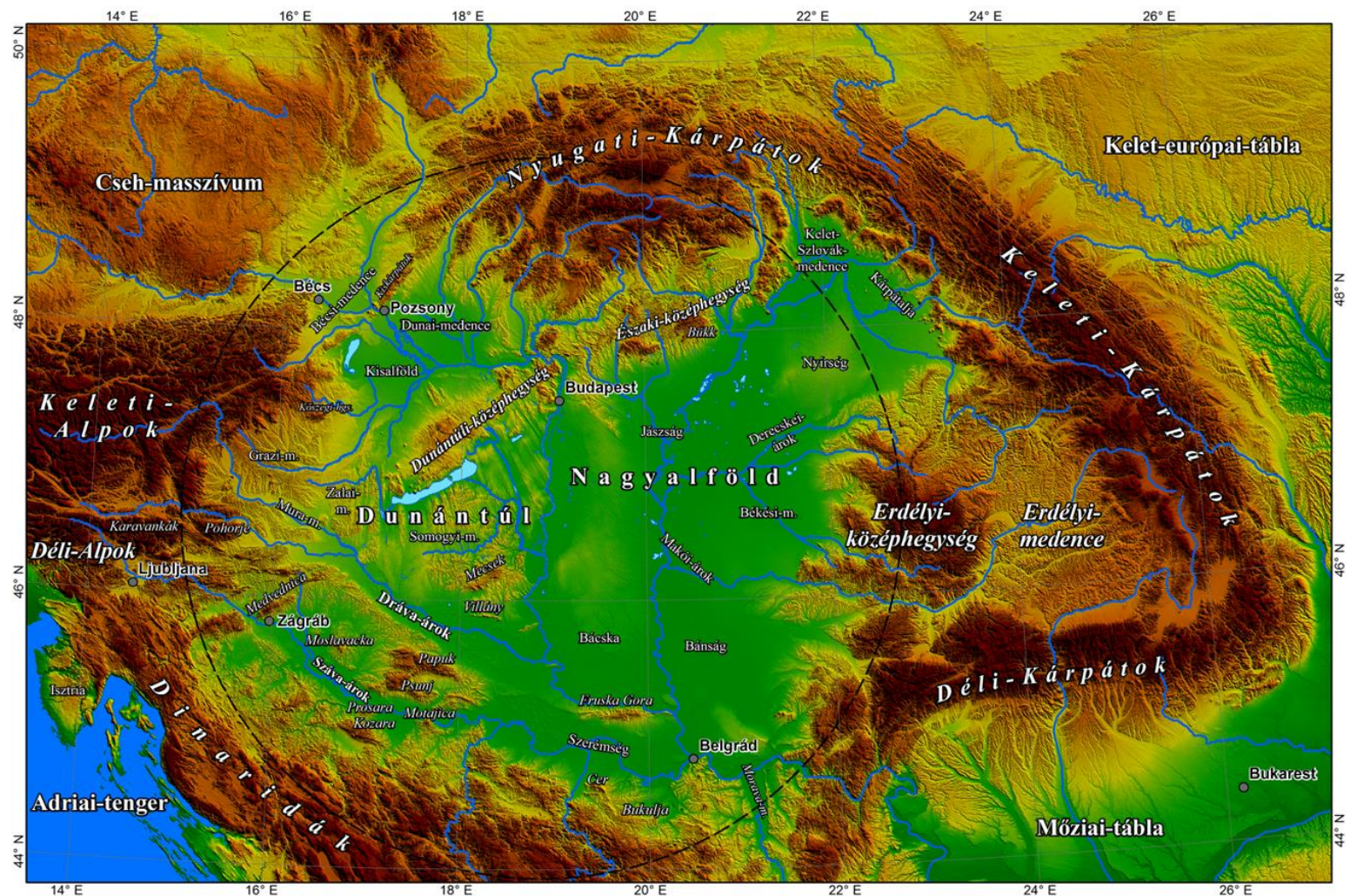
Balaton-vonal képezi, de ÉK-en a Darnó-vonal, mint nagytektonikai határ bizonytalan, csakúgy, mint a határ helyzete a belső Keleti-Kárpátokban.

3.1.3.2.2 Tiszai-Dáciai-főegység

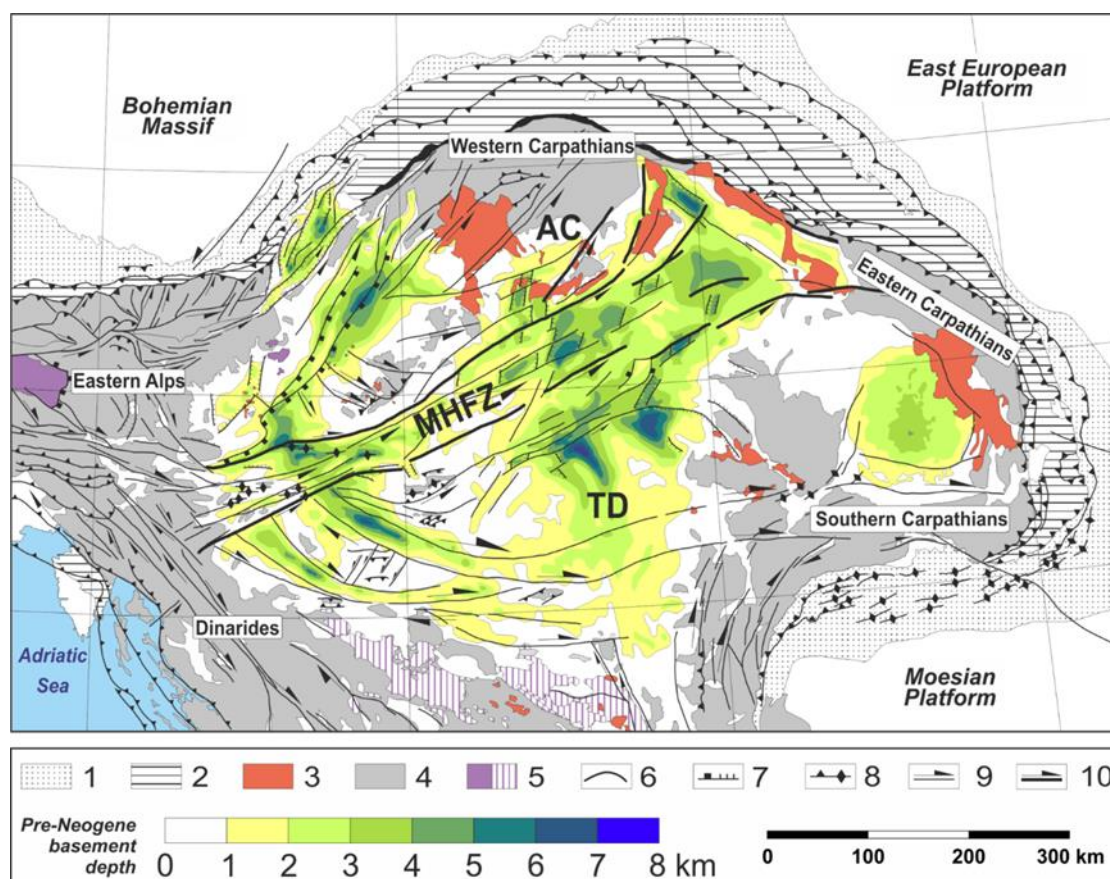
Földrajzi értelemben a főegységet a Kárpát-medence déli és délnyugati részének és az Erdélyi-medencének az aljzata, az Erdélyi-középhegység, a Keleti- és Déli-Kárpátok belső vonulatai és ezek folytatódása a Balkánon képezik. Tektonikai szempontból kompozit egység, amely az európai kontinentális peremről levált Tiszai-főegység és Dáciai-főegység egyesülésével a korai-kréta során alakult ki a Keleti-Vardar óceáni terület konzumációja során. A témánk szempontjából kiemelt fontosságú Tiszai-főegység takarós alegységeit a Mecseki-egység, a Villány-Bihari-egység és a Békés-Kodru-i-egység képezik. [293] szerint ezek tetején még egy Dáciától elszakadt takarót (Algyői-Bihárai) lehet definiálni.

3.1.3.2.3 Közép-magyarországi-főegység

A két nagy főegység között lévő, bonyolult geometriájú térrövidüléss-nyírási zóna, amelyhez délalpi-dinári affinitású késő-paleozoos és mezozoos képződmények (Középdunántúli-egység), a Szolnok-Mármárosi flisöv, a Bükki-, a Szarvaskő-Darnói- és a Szendrő-Upponyi-egységek tartoznak [123]. Alcapa és Tisza-Dácia egymás mellé kerüléshez kapcsolódó terciér oldalelmozdulásos és kompressziós tektonikus folyamatok, valamint a medenceképződés szinrift deformációi hozták létre. A miocén tektonikával felülírt mobilis sávot Közép-magyarországi Szerkezeti Zónának (KMSZ) hívjuk (275. ábra). A tervezett telephely ebben a zónában helyezkedik el.



274. ábra A Kárpát-medence és a környező hegységek névmutatója, valamint a 300 km sugarú elvi vizsgálati területe



275. ábra A Kárpát-medence aljzatmélységei, a medencealakuláshoz kapcsolódó vető-rendszerek és vulkánosság [138]

Jelölések: AC= Alcapan-főegység; MHFZ= Közép-magyarországi Szerkezeti Zóna; TD= Tisza-Dácia főegység. 1=Előtéri molasz medence; 2=Flis akkréciós-ék; 3=Miocén vulkáni kőzetek a felszínen; 4= A hegységek belső tartományai; 5=Penninikum és Vardar-zóna ofiolitjai; 6=Tektonikai egységek határa; 7=Leválasztó és normál vető; 8= Feltolódás és antiklinális; 9-10= Másod- illetve elsőrendű oldalelmozdulásos vető.

3.1.3.3 A Pannon-medence geofizikai jellemzése

A medenceképződéshez közvetlenül kapcsolódó geofizikai jellemzők a hőmérsékleti és hőáram adatok, a kéreg és litoszféra vastagsága, valamint a felsőköpenybeli sebesség anomáliák.

Magyarországra készített hőmérsékleti adatbázis [68] folyamatos karbantartásával jó regionális kép áll rendelkezésre a fúrásokkal elérhető 0 - 5 km mélységtartomány geotermikus viszonyairól. Markánsan hideg és nagyobb részben meleg anomáliák jellemzik a Pannon-medence aljzatát, és ezek jól korrelálnak hidrogeológiai jellegzetességekkel. Az alacsony hőmérsékleti anomáliák egyértelműen a karsztos felszínű hegységi területeken beszivárgó vizek hűtő hatásával magyarázhatók. A magas hőmérsékletű területek pedig nagyobb, kiemelt aljzati blokkokkal állnak kapcsolatban, mint a Mecsek és annak északkeleti, paksi irányú meghosszabbítása, a Battonya-Pusztaföldvári-hát és a Tiszántúl északi része.

Ugyanezek a jelenségek mutatkoznak meg a Pannon-medence és környezetének hőáram-térképén is [138]. A jellemző hőáram a Pannon-medencében ($80-100 \text{ mW/m}^2$) számottevően magasabb, mint a környező hegyláncok átlagos értéke. A jelenlegi állapotot

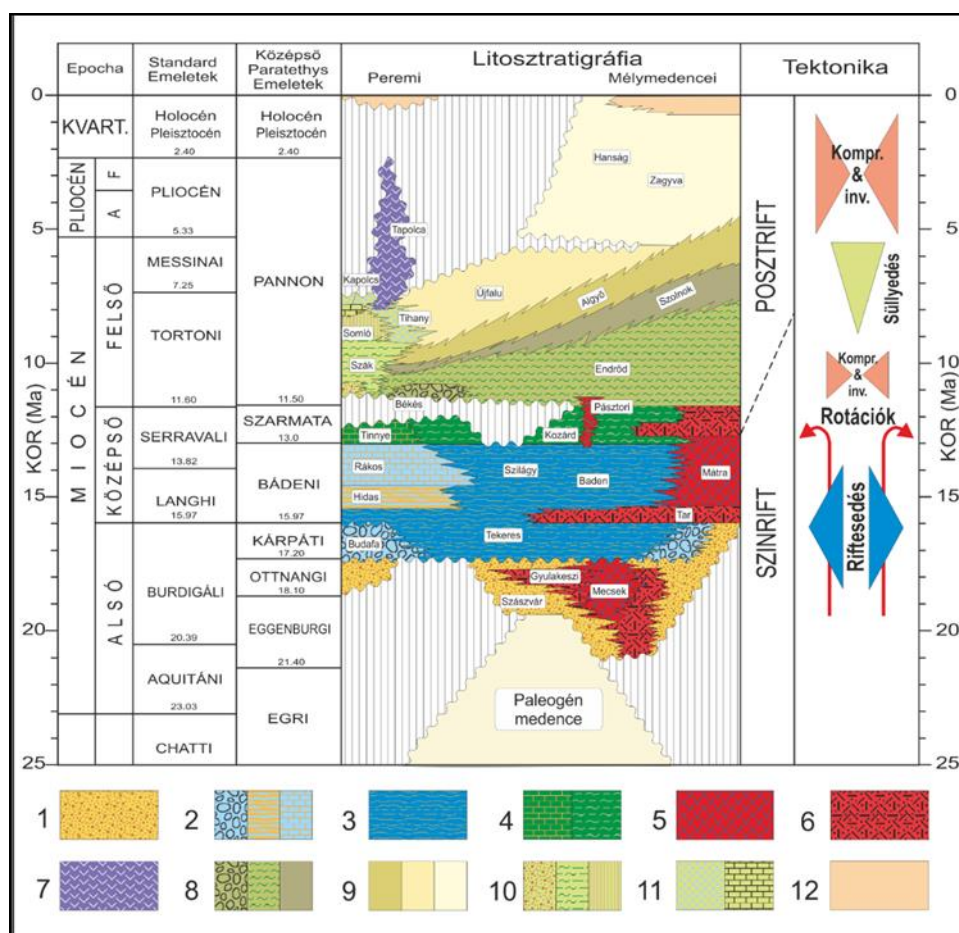
eredményező geodinamikai folyamat jól magyarázható a kora- és középső-miocénben lezajlott mélységfüggő litoszféra extenzióval és a kapcsolódó intenzív vulkanizmussal.

A terület kéreg- és litoszféra-vastagság viszonyait is a medencefejlődés színrift fázisához kapcsolódó nagymértékű kivékonyodással és a környező orogének kollíziós szerkezetalakulásával lehet kapcsolatba hozni. A medencerendszer az orogén íven belül elhelyezkedő extenziós terület, ahol a kéreg közepes mértékben vékonyodott ki a színrift fázis során. A hegységi területek kéreg- és litoszféravastagságai jelentősen eltérnek egymástól annak megfelelően, hogy a Keleti-Alpokban és a Keleti-Kárpátokban kontinentális kollízió zajlott (zajlik), míg a Nyugati-Kárpátok és a Dinaridák területén a neogén kinematikát a litoszféra blokkok egymás melletti (transzkurrens ill. transzpressziós) elmozdulása jellemezte.

A kéregalatti köpenytartomány részletes megismerésének hatékony módszere a háromdimenziós szeizmikus tomográfia [167]. Ennek kiindulási adatrendszere valamely területen (akár az egész Földön) működő szeizmológiai állomáshálózat által regisztrált rengések P és/vagy S hullám futási idői; pontosabban ezek eltérései (reziduáljai) a héjasan homogén felépítésű Földre vonatkozó standard futási időktől. 3D inverziót alkalmazva a standard földmodellt addig perturbálják, amíg a futási idő reziduálokat ki nem adja az új sebességtér. A szükséges perturbációk (sebességanomáliák) általában $\pm 2.5\%$ között változnak és a térben konzisztens kisebb sebességű és nagyobb sebességű köpenytartományokat definiálnak, amelyeket szelvényben, vagy horizontális metszetben lehet jól bemutatni. A sebességanomáliákat domináns módon a hőmérséklet köpenybeli inhomogenitásai okozzák [360]. A felsőköpenyben ez azt jelenti, hogy szeizmikus tomográfiával háromdimenziósan térképezhetjük a forró köpenyfeláramlásokat és a szubdukálódott, hideg litoszféralemezeket. A Kárpát-medencére és orogén környezetére kapott eredmények egyértelműen mutatják, hogy a térséget kialakító bonyolult szubdukciós folyamatok már lezajlottak, és nincs a Pannon-medence alatt aktív szubdukció, amely nagyméretű földrengéseket lenne képes generálni.

3.1.3.4 A medence rétegtana és tektonikája

A Pannon-medence kialakulása az utóbbi 20 millió év során ment végbe, amely neotektonikus értelemben ma is aktív folyamat. Ez az európai és adriai kontinens ütközését követő történet, amelynek során a Kárpáti-öblözetben megmaradt óceáni litoszféra (Alpi-Tethys) hátragördülése lehetőséget teremtett Alcapa és Tisza-Dácia terréneknek a kollíziós zónából való kiszökéshez, extenziós feldarabolódáshoz és az ehhez kapcsolódó süllyedéshez, üledékképződéshez és vulkanizmushoz (275. ábra). A Pannon-medencére szerkesztett tektonosztratigráfiai diagramot az alábbi ábra (276. ábra) mutatja.



276. ábra A Pannon-medence általánosított rétegtani és tektonikai diagramja [138] után módosítva)

Jelkulcs: 1=tavi-folyóvízi; 2= tengerparti törmelékes, szenes, karbonátos; 3 = pelágikus márgák; 4=csökkent sós vízi biogén mészkő és márga; 5-6=mész-alkáli lávafolyások és piroklasztikumok; 7=kontinentális bazaltok; 8=Békési, Endrődi, és Szolnoki Formáció; 9= Algyői, Újfalui, és Zagyvai Formáció; 10-11= medenceperemi formációk; 12 = negyedidőszaki szárazföldi formációk.

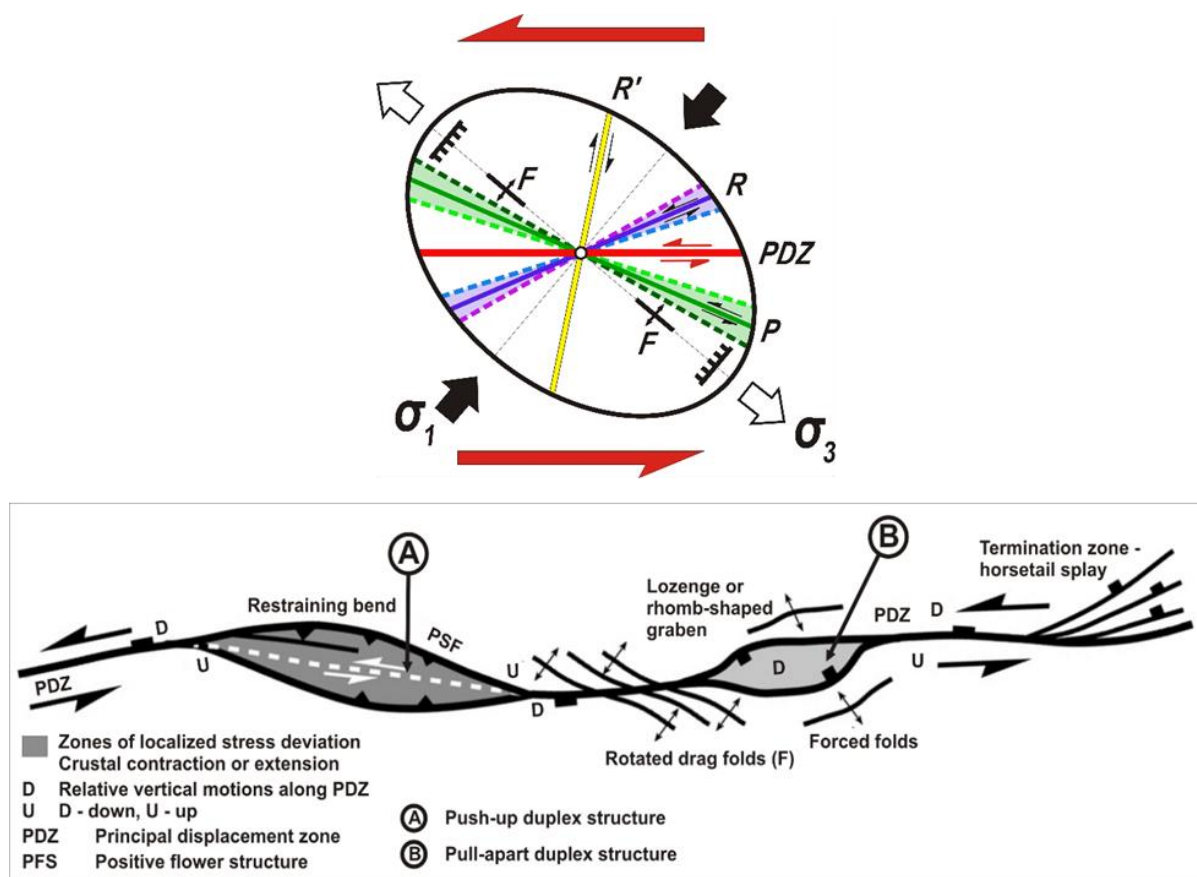
Eszerint a Pannon-medence fejlődésének kezdeti, szinrift periódusában (20 - 11,5 Ma) ment végbe az Alcapa és Tisza-Dácia terrének eredeti paleogeográfiai pozíciójukból való kiszökése, nagymértékű rotációja és heves vulkáni tevékenységgel társuló extenziós feldarabolódása. Ennek során főleg tenziós és transzteniós eredetű (fél) árkokban nagytömegű szárazföldi törmelékes üledékes kőzetek, majd sekély és nyílttengeri képződmények halmozódtak fel, gyakran piroklasztikumokkal és lávaközetekkel összefogazódva. 11,5 millió év körül a medencét és környezetét ért erős tektonikai hatásokra a peremi hegységek erőteljesen megemelkedtek, így elzáródtak a tengeri kapcsolatok és egy izolált üledékgyűjtő, a Pannon-tó jött létre. Ezt az eseményt szinte az egész medencében, így a paksi kutatási területen is egy markáns unkonformitás felület jelzi.

Az ezután következő időszak a tó feltöltődésének története, amelyben a fő szerepet egy ÉNy-i és egy ÉK-i befolyású folyórendszer (paleo-Duna és -Tisza) játszotta. Az újabb vizsgálatok arra utalnak, hogy még a feltöltődés során (kb. 7-8 millió éve) kezdődött el a medence pozitív szerkezeti inverziója, amely a pliocén-kvarter során kulminált [167]. Ezen neotektonikus fázis során az addigi tenziós-transzteniós feszültségeteret Adria által kifejtett nyomás hatására transzpressziós-kompressziós feszültségtér váltotta fel. Megkezdődött a közel ÉNy-DK csapású fiatal oldalelmozdulásos vetőrendszerek kialakulása, általában a

szinrift árkokhoz kapcsolódó vetők felújulásával. Ez a medenceskálájú történet manifesztálódik a paksi kutatási területen is [167].

3.1.3.5 A medence neotektonikája

A Pannon-medence makro-sztratigráfiai képe azt mutatja, hogy a pliocén és a kvarter üledékek számottevő (több száz méteres) vastagságban csak a Nagyalföldön található meg. Ettől Ny-ra (Dunántúl és a Gráci-medence) és K-re (Erdély) dombvidékek, illetve középhegységek találhatóak, elhanyagolható vastagságú (száz méternél kevesebb), vagy hiányzó negyedidőszaki üledékekkel. Ezeken a területeken, a felszínen, vagy közelében lévő medenceüledék kora változó, de a Dunántúlon uralkodóan késő-miocén, míg az Erdélyi-medence nagy részén középső-miocén. Ez a helyzet úgy alakult ki, hogy az alföldek süllyedő, a dombvidékek és középhegységek pedig emelkedő és lepusztuló területek voltak a pliocén és a kvarter során. Ezek a neotektonikus folyamatok jellemzik a paksi kutatási területet is.



277. ábra Balos oldalelmozduláshoz tartozó deformációs ellipszis és másodlagos vetők, valamint kanyargó oldalelmozdulásos vetőhöz tartozó másodlagos szerkezeti elemek [49]

Az ábra felső részén a feszültségtér, a fővetőt (PDZ, piros), másodlagos Riedel-töréseket (R, R' és P, kék, sárga ill. zöld), valamint a normál és reverz vetőket (fekete). Félrelépő, vagy kanyargó fővető torlódásos kiemelkedést (A duplex, pozitív virágszerkezettel), húzott medencét (B duplex, negatív virágszerkezettel), kényszerredőket és szétágazó árokstruktúrát hoz létre.

Az oldalelmozdulásos tektonikai elveinek és tapasztalatainak megfelelően a Pannon-medence neotektonikus szerkezeteiben is megfigyelhetjük, hogy a kéreg mélyebb tartományjaiból (12 - 14 km) a felszín felé emelkedő fővetőhöz másodlagos vetők kapcsolódnak (Riedel-törések), ezúton szétágazó virágszerkezetek jönnek létre [167]. Ezen

túlmenően a félrelépő vetőszegmensek között húzásos medencék és feltorlasztott kiemelkedések (pull-apart ill. push-up duplexek) alakulnak ki (277. ábra).

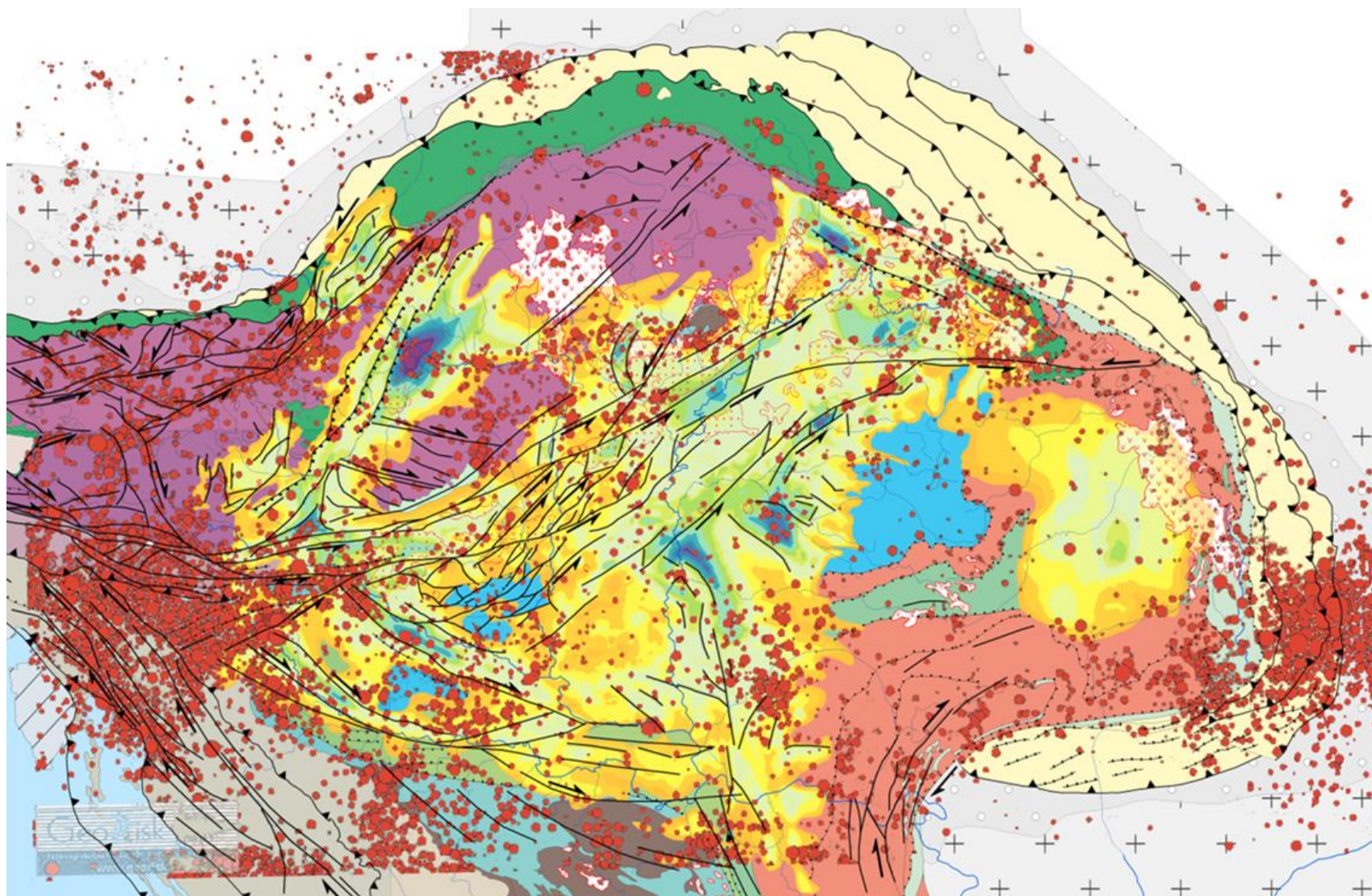
Ezeknek a szerkezeti elemeknek a felismerése teszi biztossá az oldalelmozdulás jellegének (balos vagy jobbos) azonosítását és segít az elmozdulás mértékének a meghatározásában is. Hazai esettanulmányok azt mutatják, hogy a neotektonikus oldalelmozdulások mértéke a 100 m nagyságrendet nem haladja meg, ami azt támasztja alá, hogy az átlagos vetőmenti elmozdulás sebessége 0,1 mm/év körüli érték [167]. Aktív tektonika

A Pannon-medence esetében három területen lehet tetten érni a működő tektonikát. Ezek a medence és környezetének földrengései, a tektonikai változásokat gerjesztő kőzetfeszültségek, valamint az ürgeodéziai mérésekkel megismert felszínmozgások.

A 278. ábra a Pannon-medencében és orogén környezetében kipattant földrengések epicentrumát mutatja a 42. Mellékletben lévő új tektonikai térképen ábrázolva. A földrengések epicentrumainak eloszlását elemezve megállapítható, hogy a területen nem rajzolódnak ki markáns szeizmoaktív tektonikus vonalak, talán csak a Mur-Mürz vonal és annak folytatása Zsolna irányában mondható jól definiáltnak. Ez azt mutatja, hogy a kipréselődés egyik fontos határvetője, vagyis maga a kipréselődés továbbra is aktív folyamat. Ezzel szemben vannak történelmileg is ismert körzetek, ahol a rengések foltszerűen csoportosulnak (Friuli, Zágráb, Komárom, Berhida, Kecskemét, Dunaharaszti, Érmellék, stb.). Mindennek nem az az oka, hogy a térség rengései ne volnának tektonikus eredetűek, hanem annak a következménye, hogy a terület alacsony szeizmicitása miatt viszonylag kevés a rengés és azok zömének a lokalizációja jelentős hibával terhelt. Továbbá az is zavarja a képet, hogy a vetők felszíni nyomvonalai és mélységi geometriája jelentősen eltérő lehet. Fontos megfigyelni a térképen azt, hogy a Kapos-vető, amelynek a szerepe alapvető a paksi kutatási terület szeizmicitása szempontjából, úgy a nyugati, mint a keleti meghosszabbításában nagyobb aktivitást mutat, mint középső szegmensében.

A Pannon-medencében végzett feszültségmérések és a földrengések fészekmechanizmusai alapján meghatározott adatok legfontosabb üzenete az, hogy a Pannon-medence mai állapotát (lokális zavaroktól eltekintve) az oldalelmozdulások jellemzik [167]. Ugyanez vonatkozik az Erdélyi-medencére és a Keleti-Alpokra is. A Déli-Alpok és a Dinaridák területén jelennek meg a tisztán feltolódásos tartományok, amelyek azonban nagy területeken átmennek oldalelmozdulásos tektonikával jellemzett régiókba.

A földi kéregmozgások aktuális sebességét ürgeodéziai mozgásvizsgálatokkal lehet a legjobban meghatározni. Az elmúlt évtizedben jelentős javulás következett be a GPS és a radar interferometriás módszerekben, és bebizonyosodott, hogy az ezúton meghatározott „pillanatnyi” sebességek jelentős mértékben pontosítják és kiegészítik a lemeztektonikai és szeizmológiai alapon kapott geodinamikai információkat. Az ürgeodéziai vizsgálatok alapján levezetett és szigorúan az elmúlt 20 évre vonatkozó eredmény [116], miszerint csak a néhányszor 0,1 mm/év küszöbszint alatti mértékben lehet tektonikus mozgás jól egyezik más neotektonikai é. Látszólagos ellentmondás van azonban az ürgeodéziai levezetett konstriktív deformációs tér és a kőzetfeszültség meghatározásokból adódó horizontális főfeszültség irányok és nagyságok között. Az ellentmondás feloldásának lehetőségét az adja, hogy mindkét eredmény helyes, de más mélységtartományra vonatkozik. Az ürgeodézia a felszín deformációit adja meg, míg a feszültségmérések és a földrengések a 1 - 15 km-es mélységtartományban érvényesek.



278. ábra A Kárpát-medence és hegységi környezetének földrengései (Georisk adatbázisa alapján, Mónus et al. 2015) a terület új szerkezeti térképén ábrázolva

3.1.3.6 Illeszkedés jósága és levonható következtetések

A Pannon-medence és hegységi környezetének vizsgálatában számos új eredmény született az utóbbi évtizedben [167]. Ezeket áttekintve és összegezve, a medence kialakulására és tektonikai fejlődésére egységes modell alkotható, amely felhasználja a korábbi szintézisek eredményeit, de számos új megállapításra jut. Ebbe a nagytektonikai képbe harmonikusan illeszkedik az a nagytömegű új adat és értelmezés, ami az FKP megvalósítása során született a paksi telephely 50 x 50 km környezetében. Ez lehetővé teszi a lokális eredmények általánosítását és azok érvényességi körének megítélését. Tektonikai szempontból a legfontosabb következtetések az alábbiak:

- a medence üledékekkel fedett aljzata egyértelműen korrelálható a környező hegységek földtani felépítésével és szerkezeti jellegzetességeivel: Alcapa, Tisza-Dácia és a köztes szutúra zóna léte megalapozott, és ebben a rendszerben a kutatási terület elhelyezkedése egyértelmű
- a medence kialakulásában a kora- és középső-miocén (“szinrift”) fázis a legaktívabb: intenzív vulkanizmus kíséretében tektonikus kipréselődés, függőleges tengelyű rotációk, extenziós megnyúlás és metamorf magkomplexumok kialakulása zajlott
- a késő-miocéntól a jelenig tartó (“poszrift”) fázis tektonikai intenzitása alacsonyabb, de jól definiált események (szarmata és neotektonikus inverzió) nagy hatással vannak a medence rétegsorára és fiatal szerkezetfejlődésére
- a 7-8 millió éve megindult neotektonikus fázis a jelenben is tart (aktív tektonika) és ehhez km-skálájú kiemelkedések és lepusztulás, illetve süllyedés és üledékképződés kapcsolódik
- a neotektonikai aktivitás legfontosabb elemei az egész medencében kialakuló oldalelmozdulásos vetődések, amelyek általában a korábbi szinrift vetőkhöz kapcsolódva látványos pannóniai virágszerkezeteket hoztak létre, de az oldalelmozdulás mértéke kicsi (néhányszor 100 méter)
- folytonos vetőműködést feltételezve, ebből 0,1 mm/év nagyságrendű csúszások számíthatók, amik összhangban vannak az ürgeodéziai mérések által jelzett “kvázi-stabil” jelenlegi helyzettel
- a térség feszültségi állapota, szeizmicitása és szeizmitjei, valamint a sekélymélységű vetődések nagyfelbontású geofizikai tanulmányozása azonban arra mutat, hogy nem zárható ki a vetők oldalelmozdulásos felújulása, akár olyan területeken is, ahol a rendelkezésre álló földrengéskatalógus alacsony szeizmikus tevékenységet mutat
- kizárható azonban a kapabilitás, nevezetesen az, hogy a potenciális jövőbeni földrengések során felújuló vetők felszínig hatolva észlelhető elmozdulást hoznának létre

3.1.4 A tervezett telephely földtani-geomorfológiai jellemzőinek bemutatása

A fejezetben röviden bemutatásra kerülnek azok a földtani jellemzők, melyek relevánsak a tervezett telephelyet érintő, esetleges földtani veszélyek szempontjából.

Az FKP végrehajtása során mélyített kutatófúrások nagy sűrűséggel feltárták a vizsgált terület földtani rétegsorát elsősorban a tervezett telephelyen belül (88 db mag- és teljes szelvényű fúrás), de annak tágabb (30 km-es sugarú) környezetében is (6 db mélyfúrás, 19 db sekélyfúrás, valamennyi magvétellel). A telephelyi fúrások közül 7 db magfúrás, a telephelyen kívüliek közül pedig mindegyik elérte a felszíntől számított 100 m-es mélységet. A fúrások közti térrész információval való kitöltésére a felszíni geofizikai mérések szolgáltak, elsősorban a 3D szeizmikus felvételezés, sekélyebb mélységtartományban pedig a 2D P

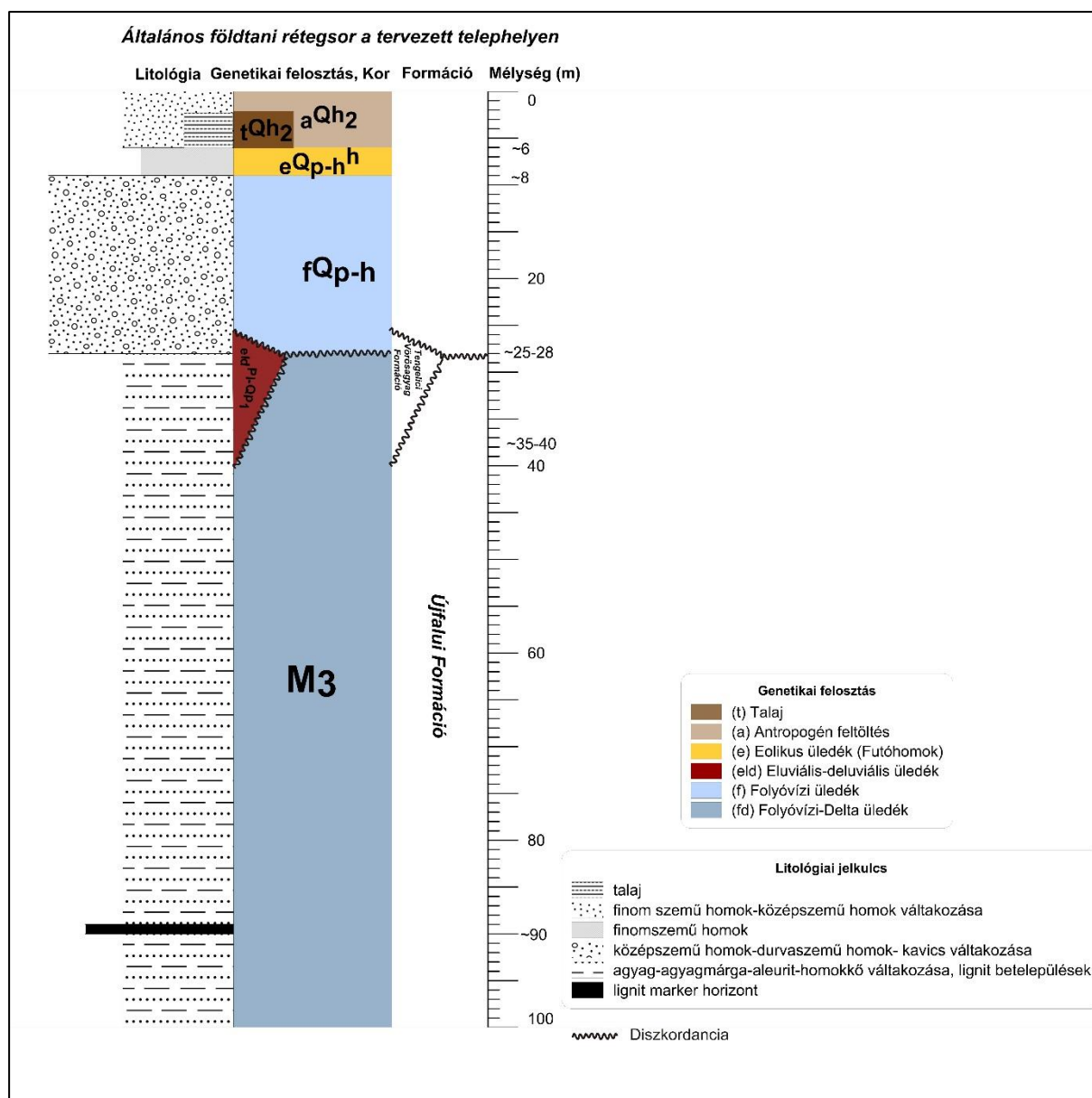
hullám reflexiós és refrakciós mérések, geoelektromos és S-hullám reflexiós szelvényezések, mágneses mérések és vízi szeizmikus felvételezés. Rendelkezésre álltak továbbá a korábbi kutatások eredményei is, többek között például a Paksi Atomerőmű mellett mélyített Paks-2 jelű mélyfúrás rétegsora.

A fenti mérések, a fúrások maganyaga egyöntetűen azt mutatják, hogy a tervezett telephelyen és annak közvetlen, 3 km-es környezetében a felszíntől számított, földtani veszélyek szempontjából leginkább relevánsnak tekinthető 100 m-es mélységig a rétegsort, felülről lefelé haladva, holocén-pleisztocén, felül eolikus homok, alatta folyóvízi homok, kavics, alárendelten aleurit és agyag, valamint pannóniai (s.l.) homok, agyag, aleurit alkotja, utóbbiak esetében helyenként vékony szenes agyag, lignit betelepülésekkel (279. ábra). A negyedidőszak és a pliocén határán egyes fúrásokban megjelenik a Tengelici Vörösagyag Formáció, max. 15 m vastagságban, mint a késő-pleisztocén folyóvízi erózió által megkímélt, kisebb foltok. Előfordulása magán a telephelyen belül nem bizonyított, az I 6 D, II 6 D, III 6 D jelű fúrásokban a karotázs mérések alapján lehetséges a megjelenése 1-4 m vastagságban, de ezt a magleírások és a geotechnikai laborvizsgálatok – részben maghiánnyal magyarázhatóan – nem erősítették meg. Tágítva a kört, a telephelytől nagyobb távolságban a helyzet annyiban változik, hogy a mezőföldi (dunántúli) területen megjelennek a löszváltozatok és a Tengelici Vörösagyag Formáció jelentősebb vastagságban, valamint változatos pleisztocén lejtő- és alluviális üledékek, illetve a Duna-balparti területen a pleisztocén folyóvízi képződmények vastagsága esetenként a 100 m-t is meghaladja.

A tervezett telephelyen belüli rétegösszlet részletesebb, geotechnikai vizsgálatokon, valamint mélyfúrás-geofizikai adatokon alapuló bontása megtalálható a 3.2.1 fejezetben.

Tektonikai szempontból fontos kiemelni, hogy a Dunaszentgyörgy-Harta vetőzóna a tervezett telephely déli-délkeleti része alatt húzódik. A Kapos-vonal keleti szakaszával együtt ez a kutatási terület legintenzívebb neotektonikus aktivitást mutató szerkezeti eleme. Tipikus „virágszerkezetet” mutató belső struktúrája alapján balos oldaleltolódásnak minősíthető, a terület szerkezetalakulásának legfiatalabb, neotektonikus fejlődési szakaszában. Maga a vetőzóna nem jelentkezett egyik telephelyi magfúrásban sem, de azonosítható volt egyes felszínen mért geofizikai szelvényeken (Ref-12 S-hullám sekélyreflexiós szelvény, 7. melléklet), továbbá a pannóniai (s.l.) összletben települő, marker horizontként használható lignitbetelepülés (279. ábra) 15-20-40 méterrel mélyebb előfordulása a IV 2 D, IV 6 D, V 6 D jelű fúrásokban a telephely délkeleti részén igazolta a vetőzóna aktivitását a pannóniai s.l. képződményeket érintően. A vetőzóna a jelek szerint a telephelyi negyedidőszaki képződményeket nem érinti. A vetőzóna jól láthatóan megjelenik a geotechnikai rétegszelvényeken (54. melléklet) és a karotázs mérések alapján szerkesztett, telephelyi tömbszelvényen (3.2.1 fejezet).

A telephely közvetlen közelében, a Pa-21-II jelű árokban, a negyedidőszaki képződményekben feltárt, szeizmotektonikus jelenségek is a Dunaszentgyörgy-Harta vetőzónához kötődnek. Ezek részletes ismertetése a 3.1.2 fejezetben található.



279. ábra Általános földtani rétegsor a tervezett telephelyen

Lejtőstabilitás szempontjából fontos, hogy a tervezett telephelyen és közvetlen, 3 km-es környezetében 5 fokot meghaladó lejtő a geomorfológiai térkép alapján nem fordul elő (3.1.1.3 fejezet, 39. melléklet). Jelentős domborzati tagoltság nem alakult ki, viszonylag egyenletes, a környezetből sem kiemelkedő, sem bemélyedő térszín nem található a telephely környezetében. Ezt erősíti meg a szintén az FKP keretében elkészített, földtani veszélyforrások című térkép is (41. melléklet).

Az előbbi két térkép alapján megállapítható, hogy a tervezett telephely 3 km-es környezetében lejtős tömegmozgásos formák, tehát suvadások, sárfolyások nem fordulnak elő, és a kőzettani-morfológiai viszonyok kizárják ezek jövőbeni előfordulását is.

A tervezett telephelyen jelenleg meredek rézsű, ferde síkkal határolt talajtömeg nem található. A vizsgált terület gyakorlatilag sík, így rézsűmozgásból, rézsűcsúszásból eredő kockázat nincsen.

Erózióveszély tekintetében, ugyancsak a két térkép alapján az a következtetés vonható le, hogy legalább 5 méter szélességet elérő vízmosás a tervezett telephely 3 km-es körzetében nem fordul elő. Szűkebb környezetben, 1 km-en belül pedig egyáltalán nem található vízmosás.

Eróziós viszonyok szempontjából vizsgálendő tényező még a Duna oldalazó eróziója. A Duna geofizikai módszerekkel, folyamatosan végzett mederüledék monitorozása a tervezett telephelyhez legközelebbi folyószakaszon azt mutatja, hogy a sodorvonal a jobb, tehát a telephely felőli oldalon húzódik (2.2.2.7 fejezet). Ugyanakkor ez nem jelenti a kérdéses partszakasz pusztulását (41. melléklet), a partszakasz egyébként is kövezéssel védett.

A telephely területén, a kritikusnak tekinthető, felszíntől számított 100 m-es mélységű zónában, a telephelytől számított 1 km-en belül, a földtani rétegsor és kifejlődések ismerete alapján a karsztosodásra hajlamos képződmények előfordulása teljes bizonyossággal kizárható.

A tervezett telephelyen, és annak közvetlen (1 km-es) környezetében – vagyis geomechanikai hatásterületen belül – a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal szerint nyilvántartott ásványi nyersanyag előfordulás, bányá nem található.

FÖLDTANI KUTATÁSI PROGRAM ZÁRÓJELENTÉSE

FELADATKÓD: (1.3.25.)

III/VI. KÖTET

3.2-3.5, 4 FEJEZET

1.-6. FÜGGELÉK

2016. SZEPTEMBER 20.

Szerzők:
Külön lapon felsorolva

SZERZŐK:

Ács Tamás	(3.3.2.3)
Andrássy Máriusz	(3.3.2.)
Barabás András	(4)
Bán Zoltán	(3.4.5), (3.4.6)
Bella Gábor	(3.3)
Biró Anna	(3.4.1)
Dankó Gyula	(3.3.2), (3.3.3), (3.4.2.)
Farkas Márton Pál	(3.4.2.)
Filipszki Péter	(3.4.1)
Földing Gábor	(3.3)
Gácsi-Kis Mária	(3.3)
Gondár Károly	(3.3.2)
Gondárné Sőregi Katalin	(3.3.2)
Győri Erzsébet	(3.4.3), (3.4.4), (3.4.5), (3.4.6)
Halmai Ákos	(3.5)
Hámori Zoltán	(3.4.1)
Hegedűs Endre	(3.4.1.1)
Kádár Balázs	(3.4.2)
Koroknai Balázs	(3.4.1)
Korpai Ferenc	(3.3.2), (3.4.2.)
Kovács Attila Csaba	(3.4.1.1)
Kovács László	(3.4.2)
Kozma Zsolt	(3.3.3.3)
Könczöl Nándorné	(3.3.2.4), (3.3.2.5)
Kudó István	(3.4.1)
Lenkey László	(3.3.2.9)
Marótiné Kiszely Márta	(3.4.4)
Mészáros Andrea	(3.3)
Mészáros Eszter	(3.4.2)
Molnár László	(3.3.2.2), (3.3.2.6), (3.3.2.7), (3.3.2.8), (3.3.2.9), (3.3.2.11)
Molnár Mária	(3.3.2.2), (3.3.2.5), (3.3.2.6), (3.3.2.7), (3.3.2.8), (3.3.2.9)
Mónus Péter	(3.4.3), (3.4.4)
Nagy Róbert	(3.3.3), (3.3.4.)
Németh Viktor	(3.4.1)
Rátky Éva	(3.3.3), (3.3.4.)
Redlerné Tátrai Marianna	(3.4.1.1)
Somodi Gábor	(3.4.2)
Sűrű Péter	(3.3.2.4), (3.3.2.10)
Szántó Éva	(3.4.1)
Talpas László	(3.3.4.)
Tóth Tamás	(3.4.1)
Weiser László	(3.3.2.4)
Wórum Géza	(3.4.1)
Zachar Judit	(3.3.2.4), (3.3.2.5)

KÖZREMŰKÖDŐK:

Filipszki Péter
Hámori Zoltán
Koroknai Zsuzsa
Kudó István
Szántó Éva



Cím: 7633 Pécs, Esztergár Lajos u. 19.
Telefon: (72) 535-200 Fax: (72) 535-300

Cím: 1116 Budapest, Hengermalom utca 49-51.
Telefon: (1) 577-4680 Fax: (1) 577-4671

**PAKS II TELEPHELYENGEDÉLYÉNEK MEGSZERZÉSÉHEZ SZÜKSÉGES FÖLDTANI
KUTATÁS VÉGREHAJTÁSA**

MÁ/PA2-16-FT-14
Verzió száma: **V1**

FÖLDTANI KUTATÁSI PROGRAM ZÁRÓJELENTÉSE

(FELADATKÓD: 1.3.25.)

III/VI. kötet
3.2-3.5, 4 fejezet
1.-6. függelék

Szerkesztette:

Név: Dr. Konrád Gyula

Beosztás: Kutatásvezető

Aláírás: 

Ellenőrizte:

Név: Dr. Barabás András

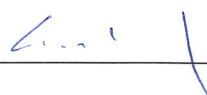
Beosztás: Projektvezető

Aláírás: 

Jóváhagyta:

Név: Csicsák József

Beosztás: Projektigazgató

Aláírás: 

Egyeztetve:

Név: _____

Tudományos Támogató Testület képviselője

Aláírás: _____

Dátum: _____

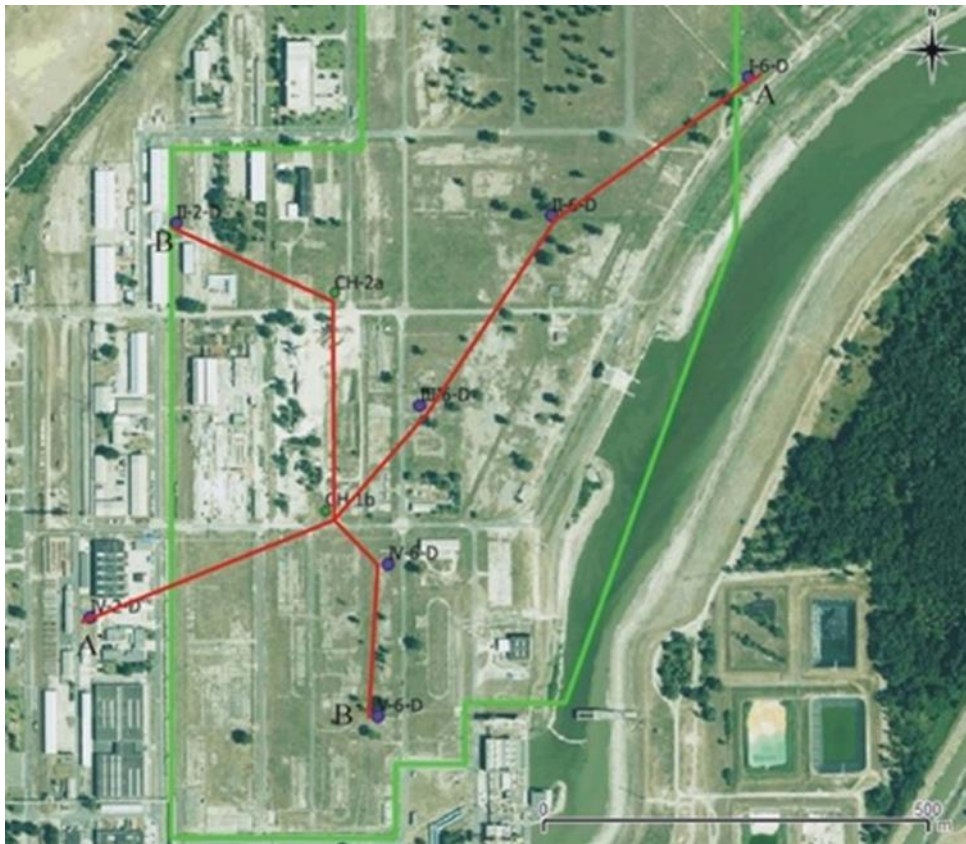
Pécs, 2016.09.20.

3.2 Geotechnikai értékelés

3.2.1 Talajrétegek bemutatása, leírása

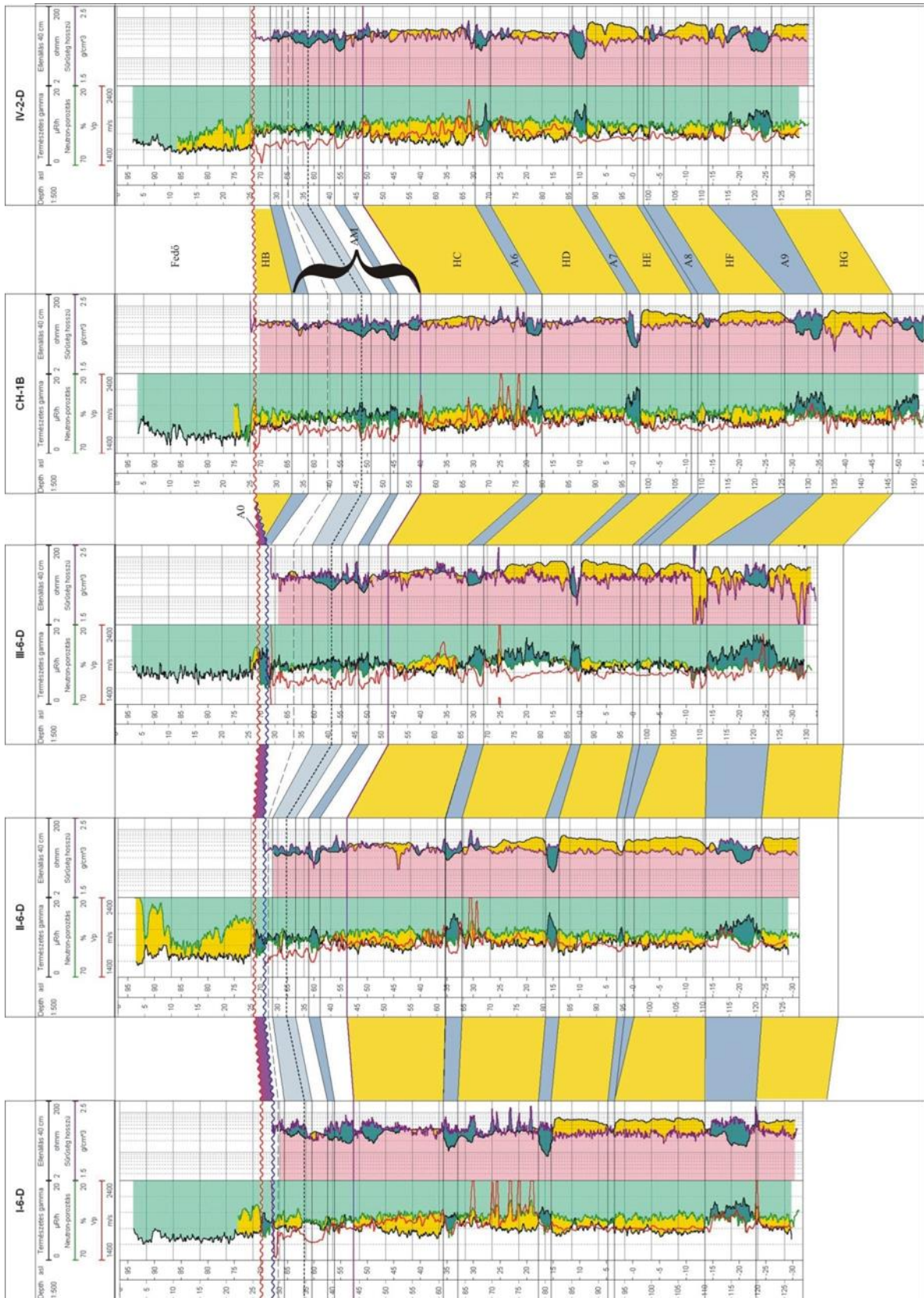
3.2.1.1 A telephelyi terület tömbszelvénye a karotázás mérésekre alapozva

A telephelyen belüli 9 új, a pannóniai (s.l.) képződményeket is számottevő vastagságban harántoló kutatófúrás közelítőleg 1 km²-es területre esik (282. ábra). A fúrásokban végzett lyukgeofizikai mérések alapján felállítottuk a geofizikai rétegsort, keresztmetszvényeket (283. ábra, 284. ábra) készítettünk, korreláltuk a fúrásokat, végül korábbi fúrások rétegsoraival kiegészítve az adatrendszer, felállítottuk a terület 3D-s földtani modelljét.

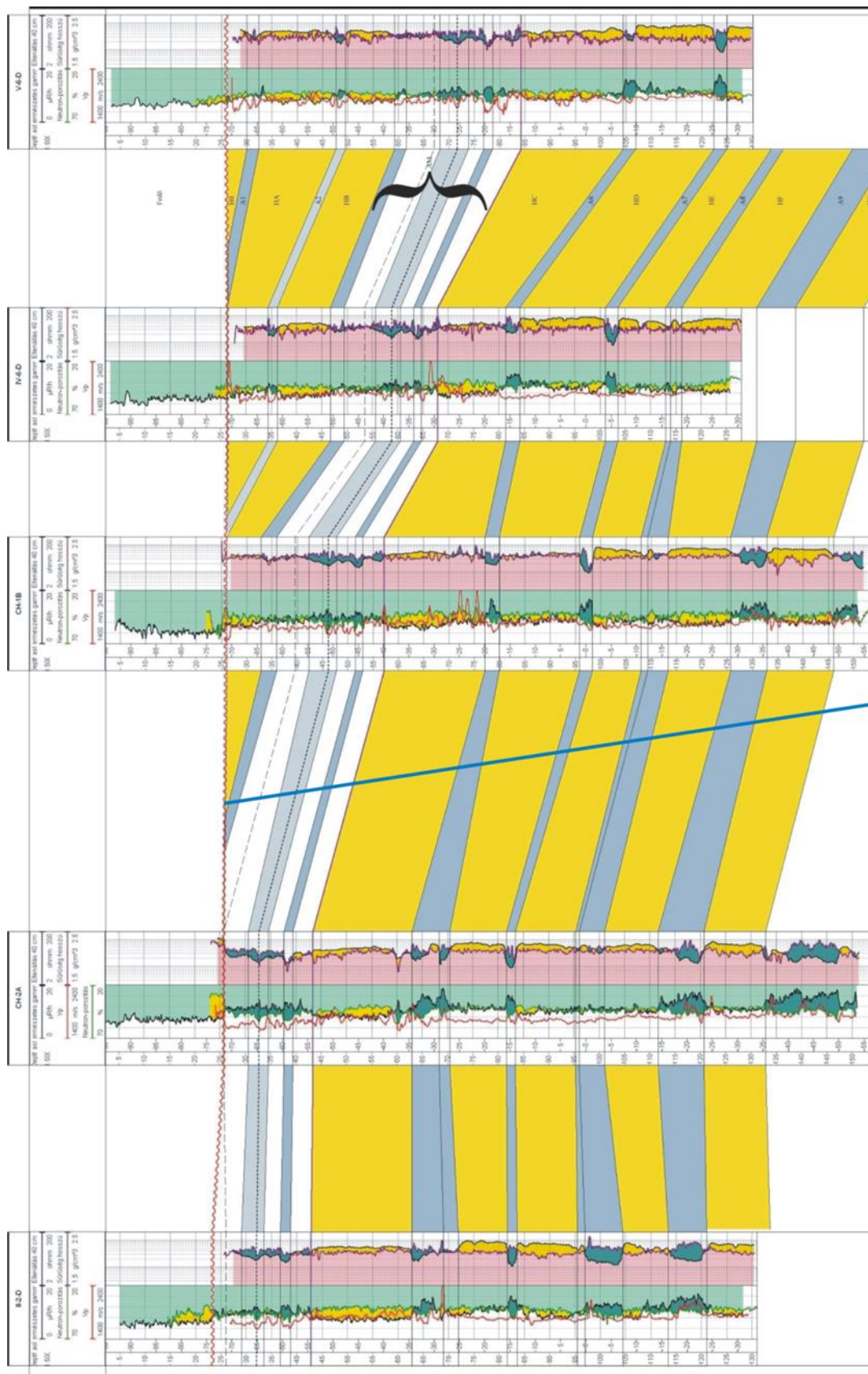


280. ábra Telephelyen belüli fúrások és a szerkesztett szelvények nyomvonala

A 282. ábra piros vonallal feltüntettük a korrelációhoz használt keresztmetszvények nyomvonalát is. A két szelvény nyomvonalát úgy jelöltük ki, hogy azok a CH-1B jelű fúrásban keresztezzék egymást.



281. ábra Az A-A' keresztmetsvény



282. ábra A B-B' keresztmetszvény

A Ch-2a és Ch-1B fúrások között a szelvényen látható kék vonal a szerkezetiileg megviselt zóna északi határát jelzi.

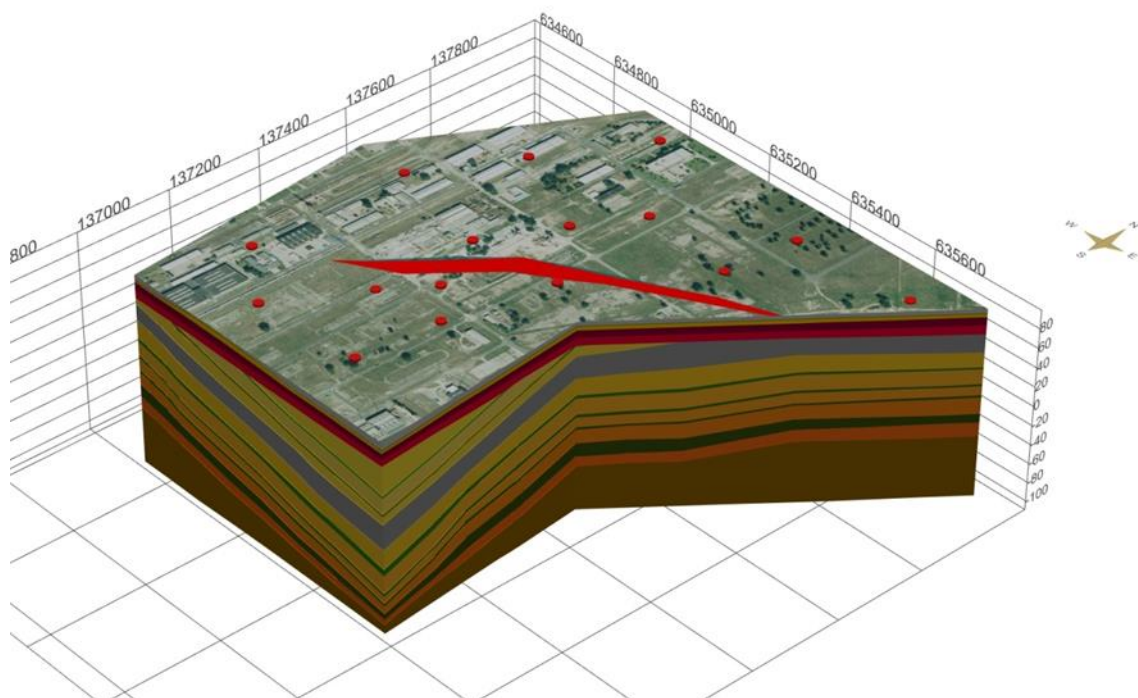
A homokos-agyagos üledékek váltakozásából felépülő pannon rétegsor jól korrelálható. A pannon rétegek a terület É-i részén közel vízszintesek, azonban ÉNy felől DK felé haladva, egy bizonyos ponton túl ugyanazok a rétegek fokozatosan egyre mélyebben találhatók. Az a határvonal, ahonnan kezdve a réteghatárokat egyre lejjebb találjuk, megfeleltethető a zárójelentés 3.4.1.2. Negyedidőszaki vetőaktivitás a tervezett telephely környezetében című fejezetében leírt vetőzóna északi határának. Az ábrákon egy kék színű felület szemlélteti ezt a határt, az áttekinthetőség kedvéért a felszínig felhozva. (A felület pontos geometriáját illetően lásd a jelentés 3.4.1.2. fejezetét) Az ábrázolt vetőzóna a Dunaszentgyörgy-Harta vetőzóna részét képezi, a zóna összetettsége és komplexitása miatt a tömbszelvényen szimbolikusan van jelölve a vető.

A modell DK-i részében a réteghatárok 6° körüli, DK-ies irányú dőlést mutattak a mélyfúrás-geofizikai mérések alapján.

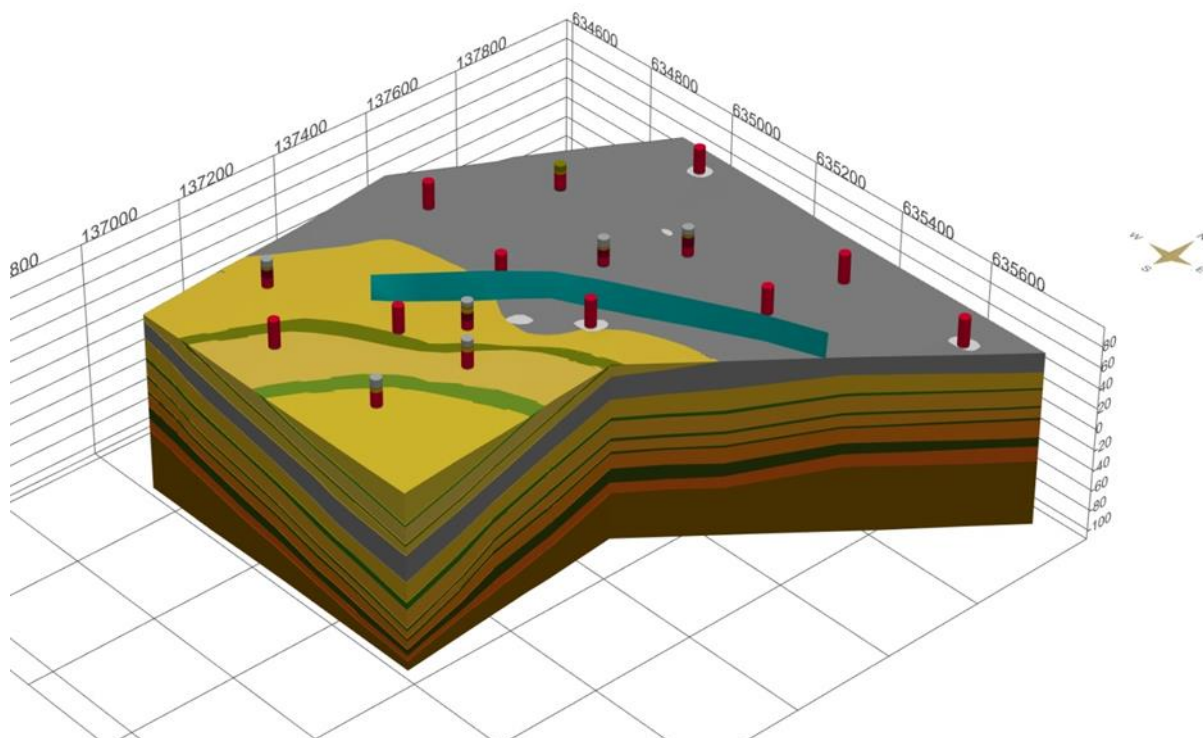
Az ábrák mindegyike kétszeres túlmagasítással készült. A legalsó, világosbarna réteg, az ún. modell talp olyan térrész, ahonnan fúrásból származó információ már nincs (csak a Ch-2A fúrás érte el, így nem vettük figyelembe a korreláció során), azért egészítettük ki vele a modellt, hogy a felette lévő rétegek vízszinteshez viszonyított helyzete az ábrákról jól leolvasható legyen.

A legfiatalabb, az egész modellezett területen megtalálható egység a tömbszelvényen sötét szürke színnel jelölt agyagos-homokos összlet. Az említett határfelülettől délkeletre ennél fiatalabb pannon rétegek is találhatók a kvarter talpa alatt, amelyek a határfelület felé fokozatosan kiékelődnek. A kvarter alja az egész területen jó közelítéssel vízszintes, üledékhézaggal települ a fekvő pannon rétegekre.

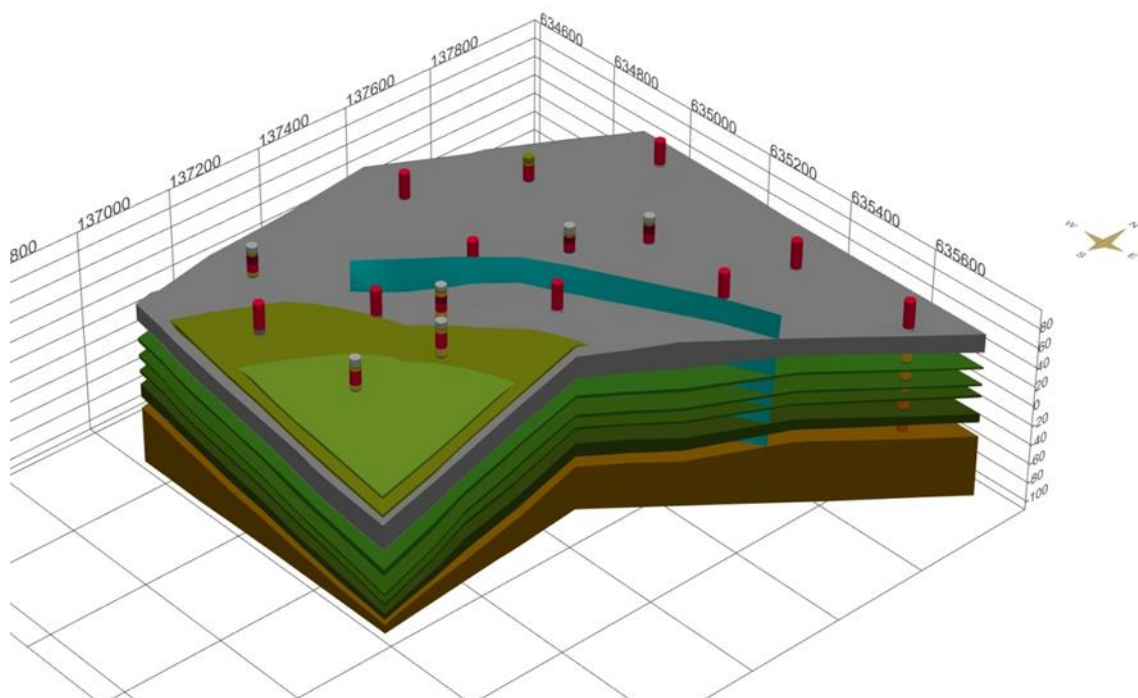
A modellezett terület déli részén a réteghatárok tényleges lefutása a modellen ábrázoltnál bonyolultabb. Pontos geometriájuk megállapításához a rendelkezésre álló fúrási és mélyfúrás-geofizikai adatok nem elegendők.



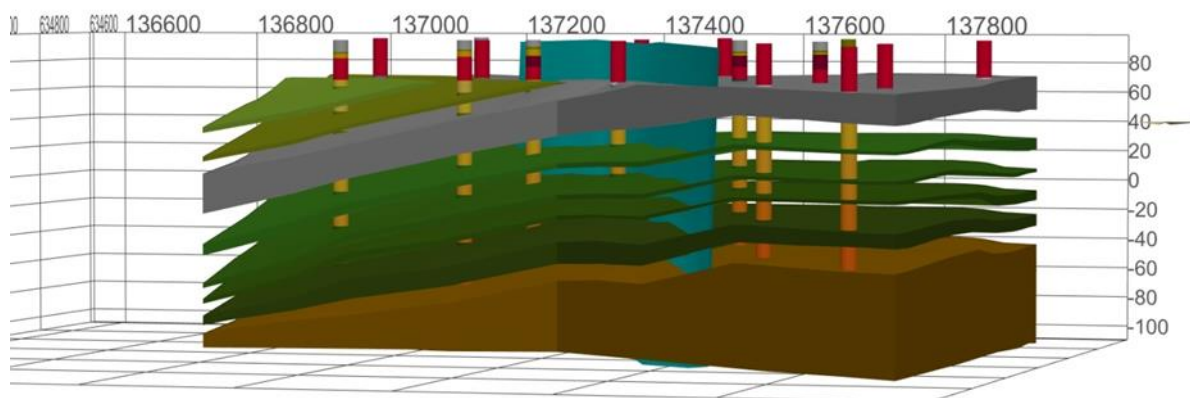
283. ábra A tömbszelvény DK felől, pirossal kiemelve a vetőzóna északi határfelületének a felszínre vetített poligonja



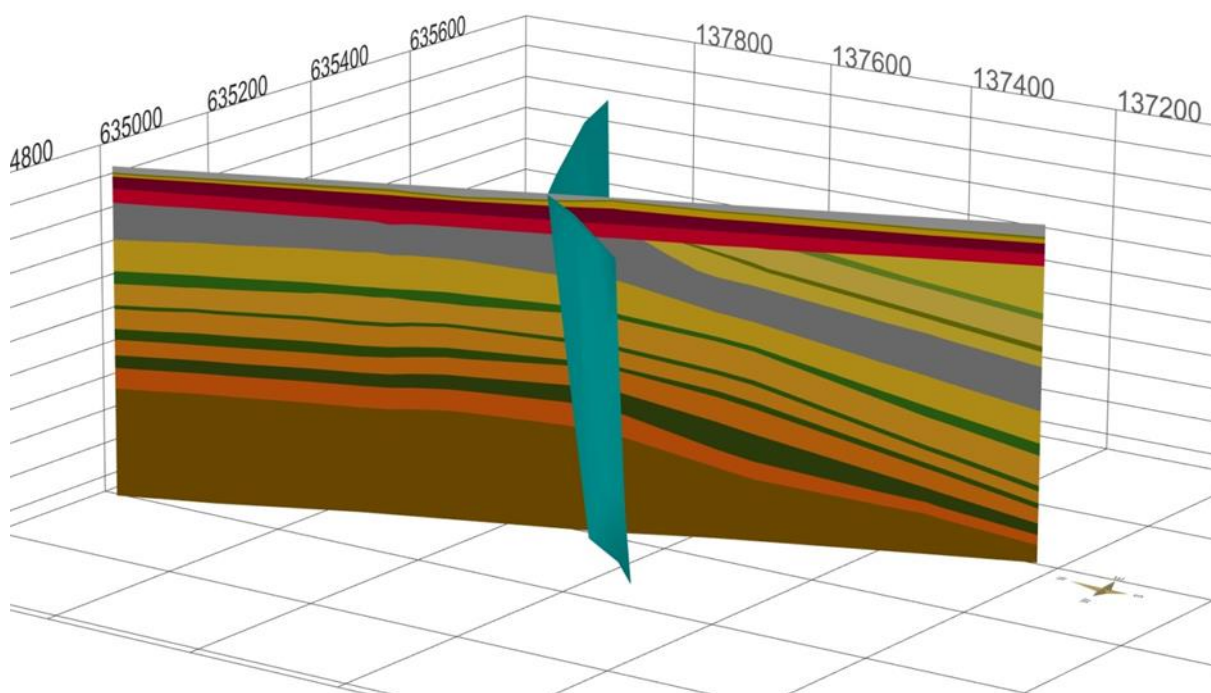
284. ábra A tömbszelvény DK felől, a kvarter rétegek nélkül a vetőzóna északi határának feltüntetésével (kék felület)



285. ábra A tömbszelvény DK felől, a kvarter és a homokos rétegek nélkül, a vetőzóna északi határának feltüntetésével (kék felület)



286. ábra A tömbszelvény ÉK felől, a kvarter és a homokos rétegek nélkül, a vetőzóna északi határának feltüntetésével (kék felület)



287. ábra ÉNy-DK irányú földtani szelvény DNy felő, a vetőzóna északi határfelületének feltüntetésével

3.2.1.2 Telephelyen feltárt jellemző geotechnikai rétegsor

A geotechnikai vizsgálati eredmények alapján a telephelyi területre a 84. táblázatban feltüntetett jellemző rétegsor adható meg.

A telephelyen átlagosan kb. 6,5-7,0 m vastag holocén fedőréteg található, mely alatt 20,0-21,0 m vastagságú pleisztocén üledék (futóhomok, öntéshomok, kavicssterasz) települt. A pleisztocén rétegek alatt változatos pannon rétegsor (agyagos-homokos rétegek) található legalább 130 m mélységig.

84. táblázat Feltárt talajrétegek tényleges és átlagos vastagsága

Talajréteg jele	Talaj megnevezése	Talajtípus	Vastagság (min-max)	Vastagság (átlag)
„A” réteg	Mesterséges feltöltés	homokos agyagos iszap; iszapos finomhomok	1,5-7,8	5,2
„B” réteg	Szervesnyomos, szerves, humuszos „fedőréteg”	szervesnyomos, szerves agyagos iszap; iszapos agyag	0-0,95	0,7
„C” réteg	Holocén szürke agyag	változó plaszticitású agyag	0-1,8	0,9
„D” réteg	Futóhomok	finomhomok; (agyagos) iszapos homok	0-12,8	5,0
„E” réteg	Öntéshomok	homok, kavicsos homok	0-9,7	5,4
„F” réteg	Kavicssterasz	kavicsos homok, homokos kavics	7,7-12,9	10,0
„G” réteg	Pannon „G”	finomhomok, iszapos homok, homokos iszap	4,2-31,0	13,7
„H” réteg	Pannon „H”	homokos iszap, agyag öszszlet	4,4-26,0	16,2
„I” réteg	Pannon „I”	homok, iszapos homok	3,5-24,7	14,0

Talajréteg jele	Talaj megnevezése	Talajtípus	Vastagság (min-max)	Vastagság (átlag)
„J” réteg	Pannon „J”	agyag (homok betelepülésekkel)	2,1-7,6	4,0
„K” réteg	Pannon „K”	homok	10,8-16,0	14,4
„L” réteg	Pannon „L”	agyag	1,5-4,1	2,9
„M” réteg	Pannon „M”	homok (homokos iszap betelepülésekkel)	4,7-30,9	25,2
„N” réteg	Pannon „N”	agyag (finomhomok, homokos iszap betelepüléssel)	7,4-8,5	7,9
„O” réteg	Pannon „O”	homok	4,0-11,2	8,3

3.2.1.3 Rétegszelvények

A vizsgált területen feltárt rétegsort részletesen a 43-55 mellékletekben csatolt rétegszelvények mutatják be.

A fúrásszelvények alapján összesen 13 darab rétegszelvény készült. 5 darab rétegszelvény került megszerkesztésre Ny-K-i irányban, igazodva a feltárási szelvényekhez (I. – V. jelű szelvények). A fennmaradó 8 darab rétegszelvény É-ÉK – D-DNy-i irányban készült („A” – „H” jelű szelvények).

A pannon rétegek feltáráására relatíve kevés számú feltárás készült: összesen 15 darab 50-130 m hosszú fúrás. Ezek térbeli elhelyezkedése nem igazán tette lehetővé és nem is volt célszerű egynél több nagy mélységű É-D irányú rétegszelvényt szerkeszteni. Az É-D-i irányú 8 darab rétegszelvény emiatt csak 50 m-es mélységig lett megszerkesztve.

A pannon rétegződés bemutatására az I-6-D, II-6-D, III-6-D, IV-6-D és V-6-D jelű, 130 m hosszú fúrásokon keresztül egy darab 130 m mélységű rétegszelvény készült („F” jelű szelvény). Ennek a rétegszelvénynek célja egyértelműen a pannon rétegsor azonosítása, ábrázolása és értékelése volt. Ezen került bejelölésre a feltételezhető vetők helye is.

A rétegszelvényeken az adott fúrásban feltárt rétegződés mellett a CPTu szondázás csúcscellenállás görbéje is feltüntetésre került.

Geotechnikai szempontból leginkább a negyedidőszaki rétegekben megjelenő nyíltfelszíni talajvíz szintje és áramlási viszonyai az érdekesek, így a talajvízviszonyok érzékeltetése céljából a rétegszelvényeken az „A” jelű kutakban végzett egyidejű vízszintmérések eredményei (2. mérési kampány, 2016. március 31.) is feltüntetésre kerültek. Ezáltal a vízszintek tendenciája, esése és mélysége szelvényenként jól érzékelhető és elemezhető.

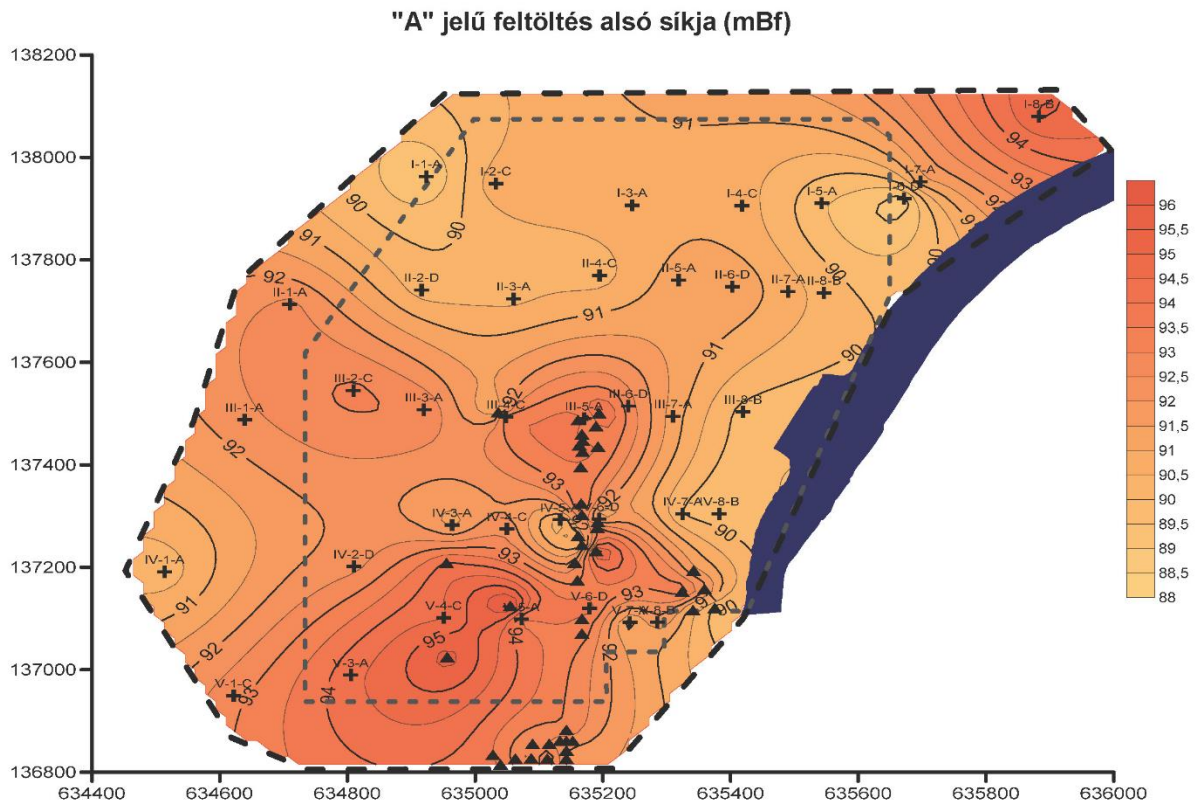
3.2.1.4 Feltárt talajrétegek összefoglaló geotechnikai értékelése

Az alábbiakban kerülnek részletesen bemutatásra az egyes jellemző rétegek legfontosabb paraméterei, illetve mindegyik réteg összefoglaló értékelése.

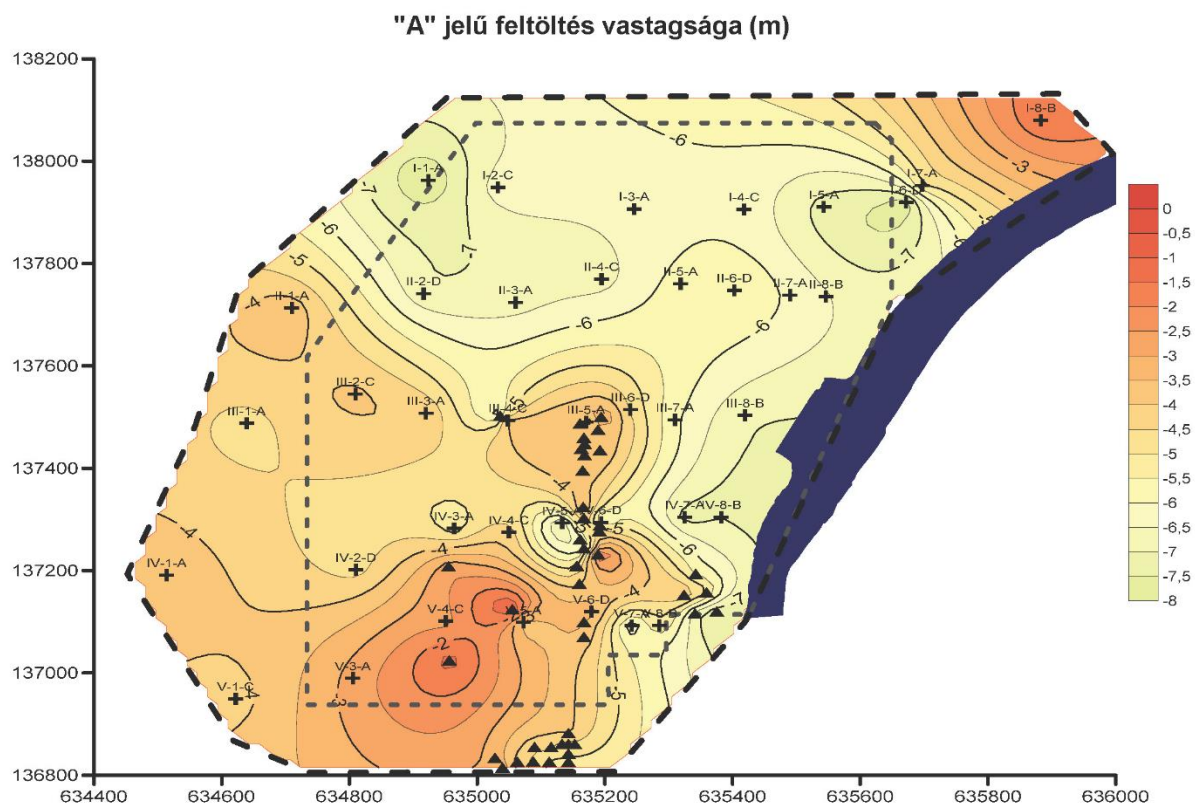
3.2.1.4.1 „A” jelű réteg – Mesterséges feltöltés

A területet egységesen az „A” jelű, mesterséges eredetű, 1,5-7,8 m vastag feltöltés borítja, átlagos vastagsága 5,2 m. A feltöltés alsó síkja a terület É-i és K-i részén jellemzően 90-91 mBf közötti, míg a Ny-i és D-i részeken jellemzően 92-94 mBf közötti.

A feltöltés alsó síkjának magasságát az 259. ábra izovonalasan ábrázolva látható. A 289. ábra mutatja a feltöltés vastagságát a vizsgált terület környezetében szintén izovonalas ábrázolással.



288. ábra „A” jelű feltöltés alsó síkjának Balti feletti magassága



289. ábra „A” jelű feltöltés vastagsága

A feltöltést az 1-4 blokkok építésekor készítették két ütemben. A feltöltés alsó részének anyaga jelentős részben a hidegvíz csatorna helyéről, kisebb része a melegvíz csatorna helyéről valamint a blokkok alapozásakor készített munkagödöréből került ki. A felső részbe jellemzően anyagnyerőhelyről került beépítésre talaj.

A feltöltés anyaga átlagosan 92-93 % homok, 7-8 % iszap+agyag. A feltöltést uraló homok is tartalmaz más szemcsefrakciót, helyenként 10 %-nál kevesebb agyagot és kavicsot, illetve egyes helyeken 22 %-ot elérő mennyiségű iszapot.

A feltöltésben lévő iszap és agyag is szemeloszlási vizsgálattal lett azonosítva, ezen talajokban az agyag tartalom felmegy 30 %-ig, az iszap+agyag tartalom eléri a 85 %-t is. A feltöltésben a különböző kötött talajok összefüggő rétegeként nem különíthetők el.

A feltöltés teherbírása alacsony, valószínűleg külön nem tömörítették. A feltöltés feltételezett határát a magminták és a szondázások eredményeinek együttes értékelésével sem lehet mindenütt egyértelműen meghatározni.

A feltöltés anyaga száraz, víztartalma a szemcsés részben gyakorlatilag sehol sem haladja meg a 20 %-ot. A víztartalom általában kisebb, mint 13%. A víztartalom-mérések alapján is jól elkülöníthető a homok az egyéb rétegektől, az agyaglencsékben a víztartalom 20 % fölötti. A feltárásakor a talajvíz a feltöltés alatt 3-5 m mélyen jelentkezett.

A feltöltés anyagának CPTu csúcshellenállása meglehetősen eltérő képet mutat. A felszínen és a felszín közelében 1-4 MPa csúcshellenállás a jellemző, ami laza talajra utal. Hasonlóképpen ilyen alacsony a kötött, vagy gyengén kötött talajok csúcshellenállása a

feltöltésben. Nagyobb értékek a jellemzők a feltöltés homok, finomhomok talajában, ahol a csúcsellenállás több helyen meghaladja a 20 MPa-os értéket, néhány helyen eléri a 40 MPa-t. Ez utóbbiak elsősorban a feltöltés alsó felében találhatóak. A feltöltés alsó része megfelelően tömör, teherbíró.

A feltöltésben is több helyen merült fel a minták leírásánál és a kijelölésnél a szervesség, szerves szennyeződés gyanúja. Összesen 14 mintánál készült izzítási veszteség vizsgálat, mely alapján az izzítási veszteség 1,8 % és 7,3 % közötti, átlagosan 4,3 %. Csak 3 minta volt gyengén szervesnek minősíthető 5,5 %, 5,6 % és 7,3 % izzítási veszteség értékkel. Az értékek a gyengén szerves kategória alsó határánál vannak.

3.2.1.4.2 „B” jelű réteg – Szervesnyomos-szerves, humuszos fedőréteg

Több fúrásban azonosítható volt a „B” jellel azonosított, legfeljebb 1,0 m vastag szerves-szervesnyomos, kissé humuszos fedőréteg. A réteg szervesanyag-tartalma jól jelzi, hogy a terület feltöltése előtt ez adta a terepszintű fedőréteget.

Ez a réteg nem minden feltárásban jelenik meg, sok helyen vélhetően még a feltöltés előtt letermelték.

Jellemzően agyagos, iszapos, homokos összetételű, tömörsége a felette található feltöltés ellenére lazának ítéltető.

Az alacsony mintavételi szám miatt a feltöltésből laboratóriumi statisztikai feldolgozás nem készülhetett. Elkészült azonban a CPTu vizsgálatok eredményeinek feldolgozása.

A CPTu csúcsellenállás meglehetősen alacsony értéket mutat a rétegben. A csúcsellenállás mindenhol alacsonyabb, mint 6 MPa, átlagosan 2,4 MPa.

3.2.1.4.3 „C” jelű réteg – Holocén szürke agyag

Az „A” jelű feltöltés alatt a terület É-ÉNy-i részén (I. és II. szelvények Ny-i szélén) készült több feltárásban azonosítható volt egy jellemzően 1,0 m-nél vékonyabb, változó plaszticitású, de általában merev-kemény konzisztenciájú agyagréteg. Színe változatos, alapvetően a barna és szürke tónus dominál.

Az agyagréteg vastagsága 0,25-1,80 m között változik, átlagosan 0,8 méter. Az agyagrétegben több közberétegzett, vékony finomhomok réteg is található, ez akár folyami kiöntésre is utalhat. A feltöltésből eredő kb. 100 kPa terhelés hatására az agyagréteg bizonyos mértékben már összenyomódott, konszolidálódott.

Az agyag a laborvizsgálatok alapján sovány, közepes és kövér agyagnak azonosítható. Plasztikus határa $w_p = 16 - 21 \%$, folyási határa $w_L = 32 - 55 \%$ közötti. A plaszticitási index $I_p = 11 - 35 \%$, átlagosan 23 %. A konzisztencia-index széles határok között változik (átlagosan $I_c = 0,84$), kemény és gyúrható állapot is azonosítható volt.

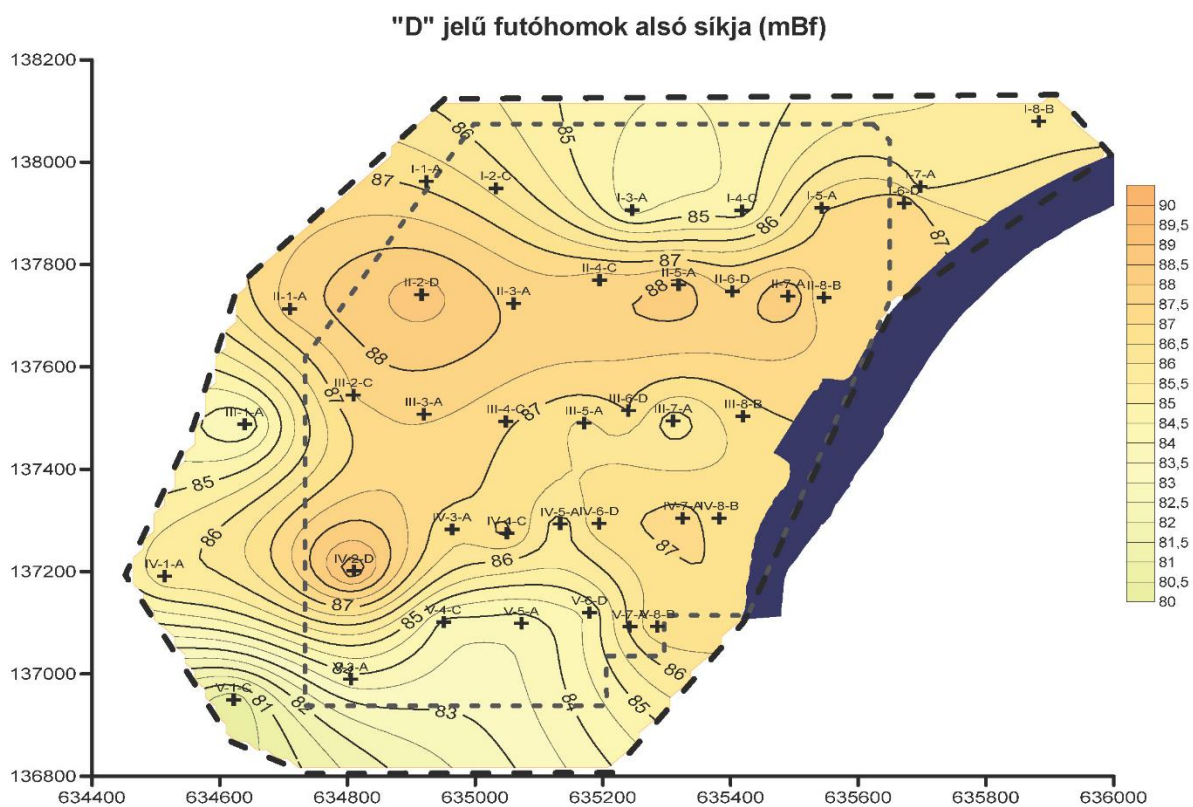
Az agyagból vett magmintákból készült laboratóriumi vizsgálatokat a CPTu vizsgálatok pótolják. A CPTu szondázás alapján a holocén agyag alacsony teherbírású. A CPTu csúcsellenállás meglehetősen alacsony értéket mutat, mindenhol alacsonyabb volt, mint 6 MPa, de az esetek 90 %-ában 3,0 MPa-nál kisebb érték a jellemző.

Az agyagrétegben két helyen merült fel a minták leírásánál és a kijelölésnél szervesanyag gyanúja. Az elkészült izzítási vizsgálatok szerint a szervesanyag-tartalom értéke 5,5 % és 7,0 %, vagyis mindkettő gyengén szervesnek minősíthető. A meghatározott izzítási veszteség értékek a gyengén szerves kategória alsó határánál vannak.

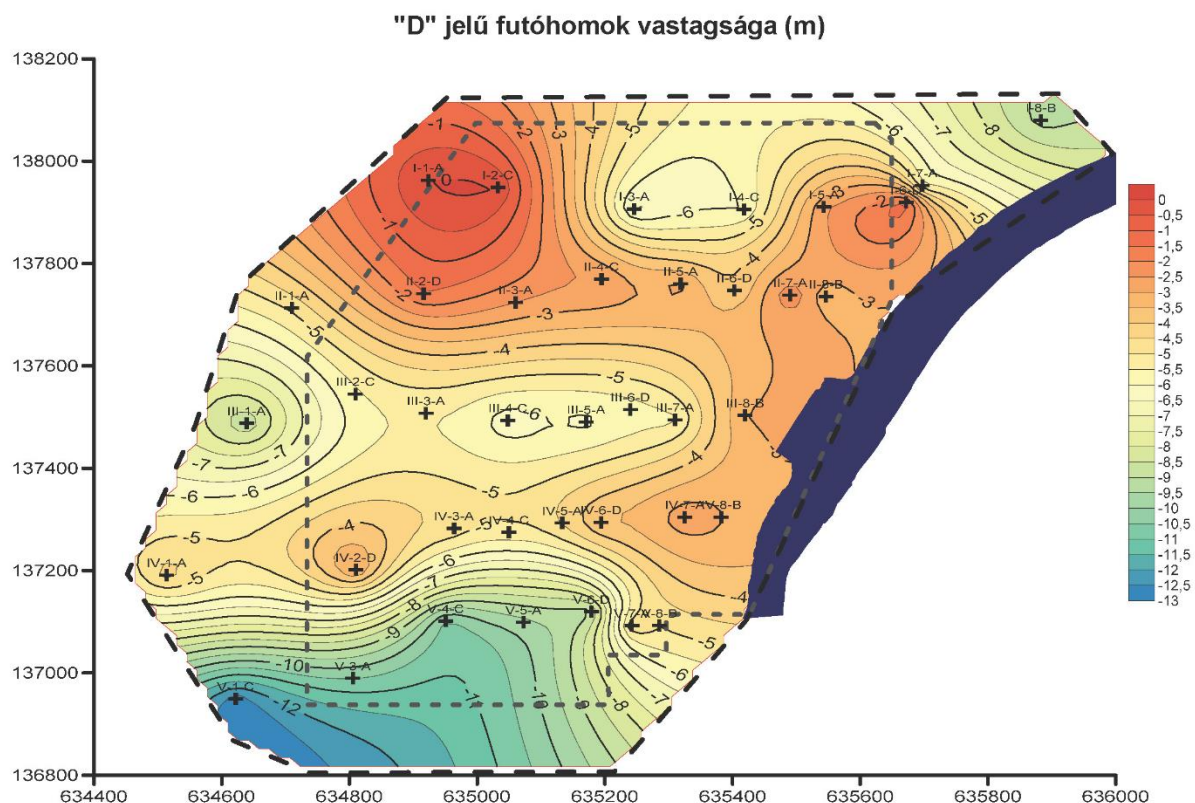
3.2.1.4.4 „D” jelű réteg – Futóhomok

Az „A” jelű feltöltés és a csak szórványosan megjelenő „B”, illetve „C” jelű rétegek alatt változó szemeloszlású, pleisztocén, szemcsés finomhomok réteg települt.

Vastagsága meglehetősen változó: a terület nagy részén jellemzően 3-6 m közötti, átlagosan 5,0 m. Alsó síkja zömében 85-88 mBf közötti, de a IV számú szelvénytől D felé haladva vastagsága hirtelen megnövekszik. A DNy-i részen vastagsága egészen 12,5 m-ig növekszik (lásd 290. ábra, 291. ábra).



290. ábra „D” jelű finomhomok alsó síkjának Balti feletti magassága



291. ábra „D” jelű finomhomok vastagság

Keletkezése szerint óholocén korú, eolikus futóhomoknak tekinthető, pleisztocén szárazföldi rétegek áthalmazódásával keletkezett. Nem kizárólag az eltérő keletkezése miatt különböztethető meg az alatta fekvő öntéshomok rétegtől, hanem magasabb iszaptartama alapján is.

A futóhomok anyaga átlagosan 0,4 % kavicsot, 88,4 % homokot, 9 % iszapot és 2,2 % agyagot tartalmaz, tehát egy masszív homokrétegről van szó. A maximális iszaptartalom eléri a 60 %-ot.

Feltáráskor a talajvíz nyugalmi szintje a futóhomok réteg alsó harmadában volt. A talajvízszint ingadozási zónája elsősorban a futóhomok réteget fedi le, ezért a futóhomok víztartalmának átlagos értéke függ a mindenkor talajvízszinttől. A talajvíz feletti zóna víztartalma $w = 9,8\%$, minimális értéke 6,1 % vagyis nagyon száraz. Talajvízszint alatt a víztartalom $w = 23,4\%$.

A talajvízszint tábla helyzetének függvényében a futóhomok nedves térfogatsúlya is változik. A feltárási körülményekre a nedves térfogatsúly átlagértéke $\gamma = 18,2 \text{ kN/m}^3$ -re adódott, míg a telített térfogatsúlya $\gamma_{\text{sat}} = 19,1 \text{ kN/m}^3$ -re. A talajvízszint ingadozás miatt jellemzőbb lehet a száraz térfogatsúly értéke, mely $\gamma = 16,0 \text{ kN/m}^3$. Ez nem túlságosan magas érték, ami összefüggésben állhat azzal, hogy a homok rosszul graduált, az egyenlőtlenségi mutatója $C_u = 7,23$, szélsőértékek 1,58, valamint 58,9. Az iszapos résznek nagyobb az egyenlőtlenségi mutatója, az átlag $C_u > 10$ értékkel jellemezhető.

A hézagtenyező átlagértéke összesen $e = 0,66$ (szélsőértékek 0,54 és 0,80), a telítettségi fok átlagos értéke talajvízszint felett $S_r = 0,48$ (szélsőértékek 0,25 és 0,98 között) és

talajvízszint alatt $S_r = 0,85$ (szélsőértékek 0,28 és 1,0 között). Ennek értékelésénél nem szabad elfelejteni, hogy részben talajvízszint feletti rétegről van szó.

A réteg nyírószilárdsági paramétereinek átlagértékei $\varphi = 30^\circ$, $c = 0$ kPa figyelembe vétele javasolható 14 db triaxiális vizsgálat alapján. Hasonló eredményt szolgáltatott a közvetlen nyíróvizsgálat, $\varphi = 30^\circ$, ahol a vizsgálatok száma 38 db volt.

Az összenyomódási modulus várható értéke 37 vizsgálat alapján $E_{\text{ocd}} = 12,8$ MPa-ban adható meg ($C_v = 0,4$ variációs tényező mellett).

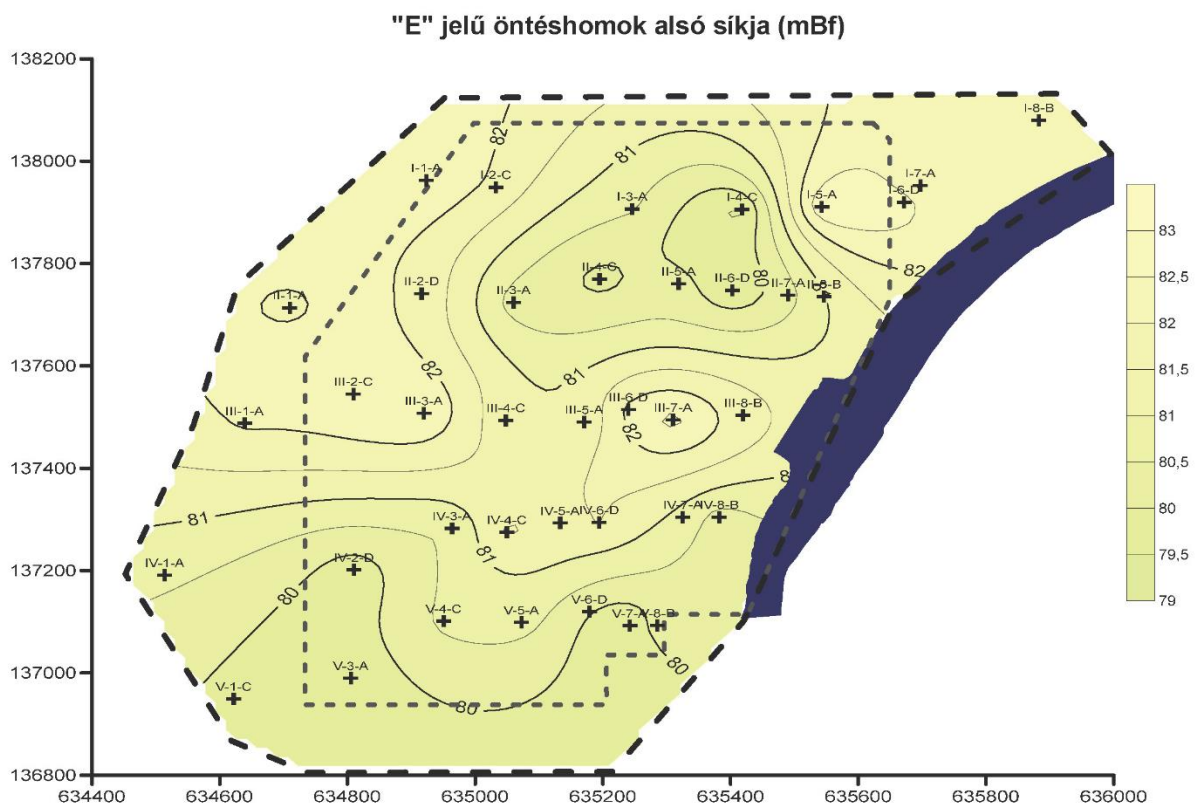
Az átteresztőképességi együttható 24 vizsgálat alapján a $k = 7,1 \cdot 10^{-8} - 7,74 \cdot 10^{-5}$ m/s értékek közé adódott a talajminták iszaptartalmának függvényében.

A futóhomok CPT szondázással meghatározott csúcscellenállás értékeinek átlaga $q_c = 17,4$ MPa-ban adható meg, maximális értéke 35 MPa.

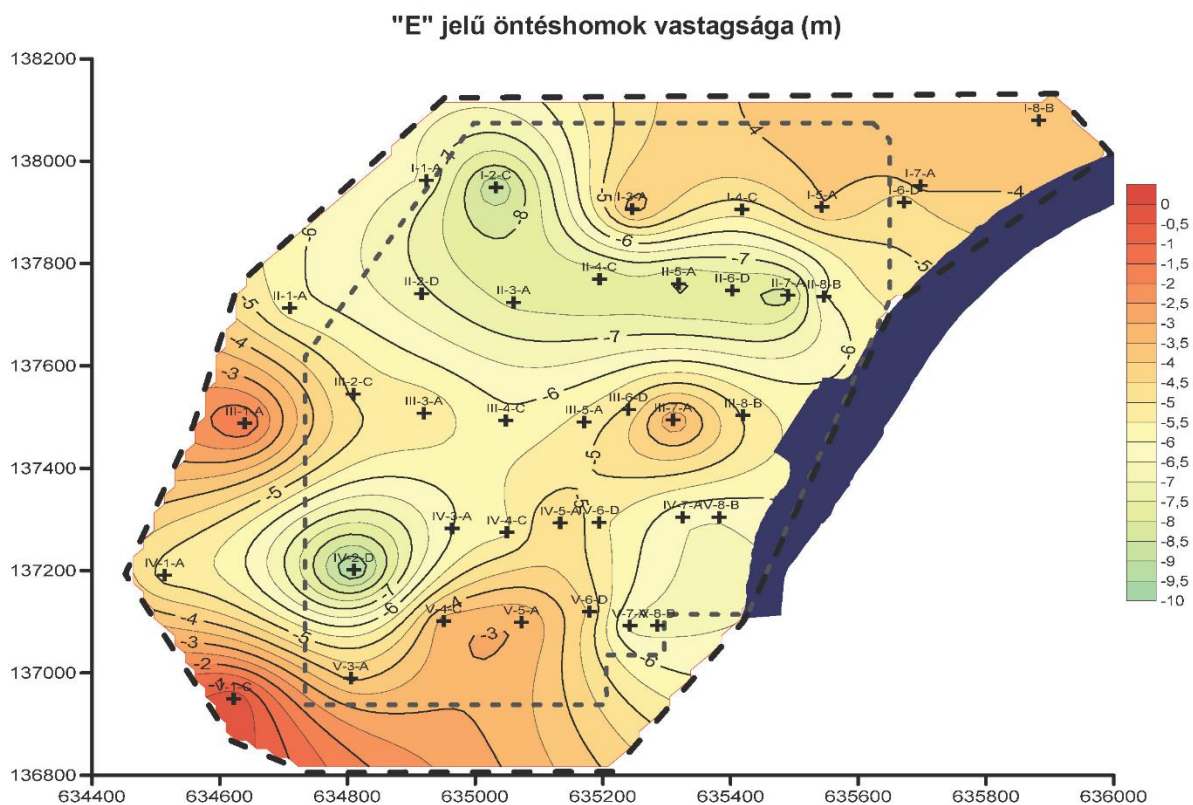
3.2.1.4.5 „E” jelű réteg – Öntéshomok

A futóhomok alatt található „E” jelű homokréteg – az V-1-C fúrás kivételével – minden feltárásban megjelent. Vastagsága 1,4-9,7 m közötti, átlagosan 5,4 méter.

Alsó síkja jellemzően 80-82 mBf közötti. A réteg alsó és felső határa viszonylag síknak, vastagsága egyenletesnek mondható (lásd 292. ábra, 293. ábra).



292. ábra „E” jelű öntéshomok alsó síkjának Balti feletti magassága



293. ábra „E” jelű öntéshomok vastagsága

Az öntéshomok a holocén korban keletkezett, a Duna árvízi elöntéséből származó, finom szemcséjű, jól osztályozott réteg.

A réteg anyaga átlagosan 3,4 % kavics, 94,4 % homok, 1,8 % iszap és 0,4 % agyag, vagyis durvább szemösszetételű, mint a futóhomok. A homokfrakció aránya nagyobb a futóhomokhoz képest. A szemcsézettség miatt a plaszticitás meghatározására nem volt szükség. A 10 súlysúlyalékhoz tartozó szemcseátmérő viszonylag szűk határok között változik: $d_{10} = 0,049 - 0,206$ mm, az átlagos értéke 0,132 mm. A szemeloszlási görbére jellemző egyenlőtlenégi mutató 1,8 és 8,6 között változik, az átlagos értéke $C_u = 2,53$, alacsony variációs tényező mellett. Az öntéshomok tehát közel egyszemcsés, rosszul graduált, szűk határgörbék közötti tartományban elhelyezkedő iszapmentes homok.

A homok víztartalmának átlagos értéke az izotópos szondázások alapján $w = 26,1$ %, minimális értéke 19,1 %, maximális értéke 31,2 %. A talajréteg telített, az átlagos telítettség $S_r = 0,98$. Közeledve a talajvíz mozgási zónájához, emelkedik a telítettség értéke.

Az öntéshomok nedves térfogatsúlyának átlagértéke $\gamma = 19,6$ kN/m³-re adódott, míg a száraz térfogatsúly $\gamma_d = 16,6$ kN/m³. Ezek az értékek – összehasonlítva a többi réteg hasonló értékével – alacsonynak tűnnek, akkor is, ha figyelembe vesszük az alacsony átlagos hézag tényezőt $e = 0,65$ (szélsőértékek 0,5 és 0,76). A meghatározott hézag tényező relatíve alacsony, mert az alacsony egyenlőtlenégi együtthatójú, közel egyszemcsés talajok elméleti hézag tényezője magasabb szokott lenni.

Az öntéshomok CPT_u szondázással meghatározott csúcsellenállás értékeinek átlaga a finomhomokhoz hasonlóan $q_c = 16 - 17$ MPa, maximális értéke 34 MPa-ban adható meg.

A statisztikai feldolgozás alapján elmondható, hogy a fent bemutatott jellemzők alacsony $c_v < 0,2$ variációs tényezővel bírnak, vagyis szűk határok között, geotechnikai szempontokat figyelembe véve relatíve pontosan közelítik a talaj tulajdonságait, illetve a réteg helyszíni vastagsága ellenére meglehetősen egységesek.

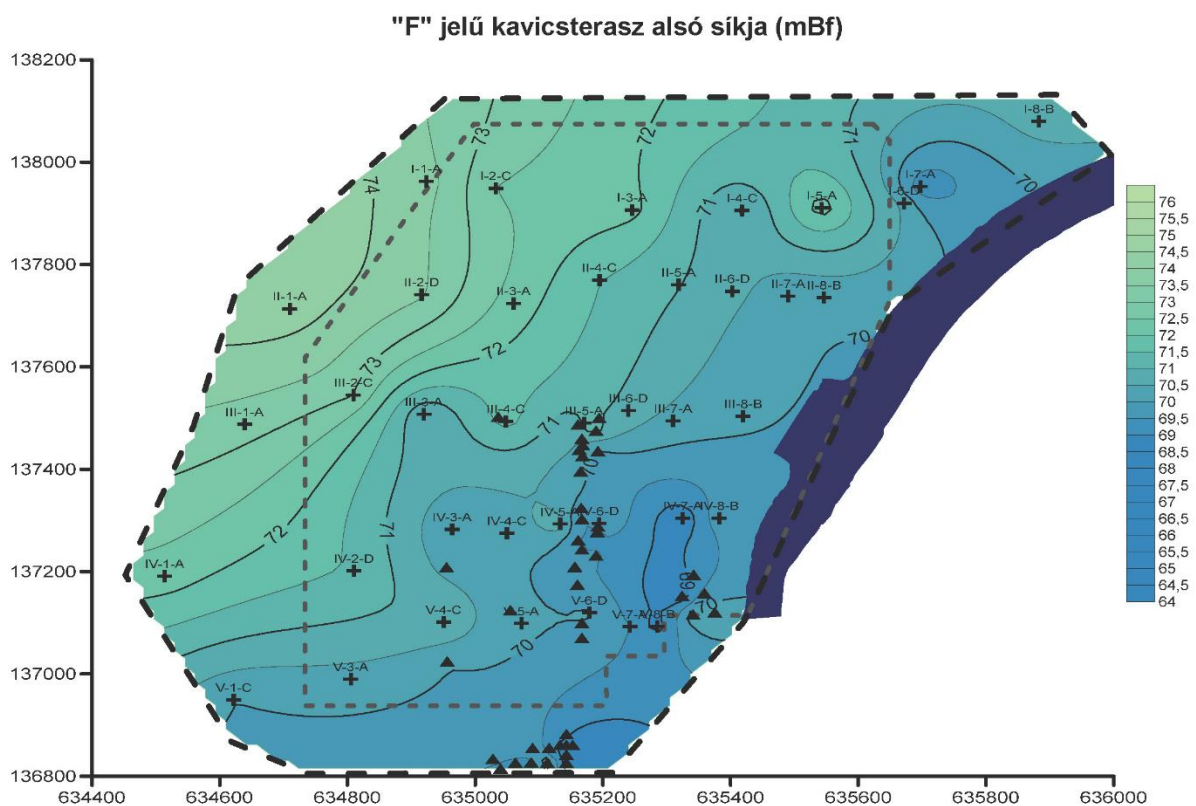
A réteg belső súrlódási szögének átlagértéke $\varphi = 30 - 31^\circ$, a kohézióra $c = 0$ kPa figyelembe vétele javasolható 21 db közvetlen nyíróvizsgálat alapján. Az összenyomódási modulus várható értéke 27 vizsgálat alapján $E_{oed} = 27,4$ MPa-ban adható meg ($C_v = 0,25$ variációs tényező mellett). Az áteresztőképességi együttható 5 vizsgálat alapján a $k = 3,1 \cdot 10^{-5} - 2,8 \cdot 10^{-4}$ m/s értékek közé adódott.

A fentiek alapján az öntéshomok megfelelő teherbírású réteg, ami nem csak az alacsony hézag tényezőben, magas nyírószilárdságban, de a CPTu szondázási csúcscellenállások eredményeiben is megmutatkozik.

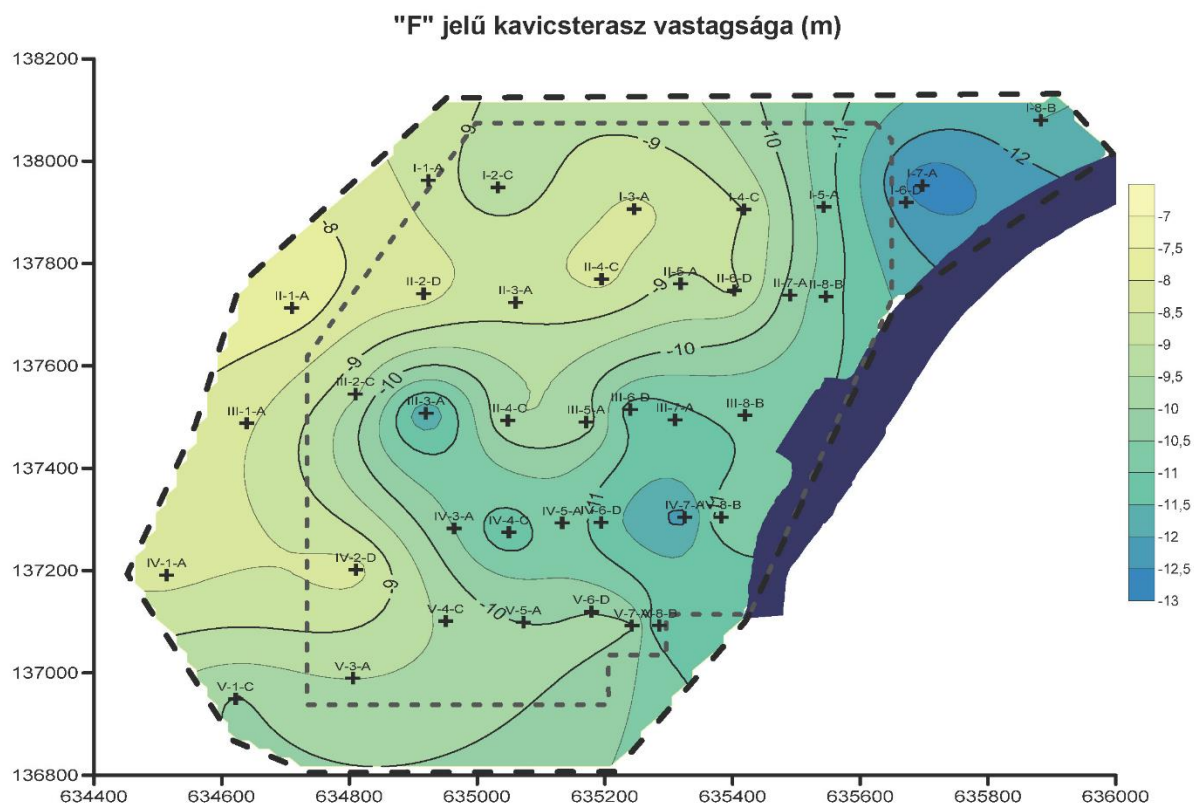
3.2.1.4.6 „F” jelű réteg – Kavicssterasz

A dunai pleisztocén kavicssterasz összetétét szürke homokos kavics, kavicsos durva homok, illetve helyenként kavicszórványos homok alkotja.

A kavicssterasz réteg mélységtartománya 15,8-25,8 m közötti, vastagsága 7,7-12,9 m között változik, átlagosan 10,0 m. ÉNy-ről DK-re haladva vastagsága nagyjából egyenletesen növekszik, alsó síkja a vizsgált területen jellemzően 70-72 mBf közötti (lásd 294. ábra, 295. ábra).



294. ábra „F” jelű kavicssterasz alsó síkjának Balti feletti magassága



295. ábra „F” jelű kavicssterasz vastagsága

A vizsgálati eredmények szerint a kavicssterasz tömör településű, jó teherbírású réteg. A víztartalom átlagos értéke $w = 15,6 \%$, a réteg telített. A 10 súlyszázalékhoz tartozó szemcseátmérő viszonylag szűk határok között változik $d_{10} = 0,1-0,8 \text{ mm}$, az átlagos érték $0,16 \text{ mm}$.

A szemeloszlási görbére jellemző egyenlőtlenségi mutató $2,17$ és $4,17$ között változik, az átlagos érték $C_u = 2,9$. A szemeloszlási görbe alapján az állapítható meg, hogy a kavicssterasz talajai alacsony egyenlőtlenségi mutatóval rendelkező, relatíve szűk szemeloszlási határgörbék között elhelyezkedő iszapmentes talajok.

Az átlagos hézagterfogat $n = 38,3 \%$, az átlagos hézagtenyező $e = 0,62$ értékű, tehát meglehetősen alacsony. A nedves térfogatsúly az esetek több, mint felénél magasabb, mint 20 kN/m^2 . A kavicssterasz talajai tömörek. Ezt támasztja alá a CPTu szondázás eredménye is.

A belső súrlódási szög $\varphi = 30-32^\circ$ -ban, amihez a kohézió $c = 0 \text{ kN/m}^2$ -ben adható meg. Az összenyomódási modulus átlaga $E_{oed} = 33 \text{ MN/m}^2$ öt vizsgálat alapján, de a kavicsosabb rétegekben ennél magasabb is lehet. A vízáteresztőképességi-együttható $k = 4,1 \cdot 10^{-4} - 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ értékben adható meg két laboratóriumi vizsgálat alapján.

A kavicssterasz rétegei rendelkeznek a legjobb teherbírással, amit a CPTu vizsgálatok is mutatnak. A kavicsos homokos összetétel CPTu csúcscellenállási értékeinek átlaga $q_c = 25,1 \text{ MPa}$, a kavicsstartalom növekedésével tartósan 40 MPa értéket is meghaladja.

3.2.1.4.7 „G”-, „O” jelű rétegek – Pannon összlet

A pleisztocén rétegek alatt, jellemzően 67-74 mBf szint között (de jellemzően 70-72 mBf között) jelenik meg a pannon üledékes összlet, mely a feltárások talpáig (130 m) megjelenik.

A pannon rétegsorban egymásra települve agyag-iszap, valamint homok-iszapos homok rétegek váltogatják egymást. A rétegsorban nagyobb vastagságú homogén réteget nem lehetett azonosítani, gyakoriak a betelepülések, illetve a keresztretegzettség.

A pleisztocén kavicsréteg alatt többnyire szemcsés rétegek találhatóak. A szemcsés rétegek a pannon összlet meghatározó rétegei is a feltárás alsó határáig, hiszen a 130 m-es fúrásokban az iszap-agyag:homok-iszapos homok rétegvastagságának aránya 1:2 és 1:6 között változott, vagyis a szemcsés rétegek vastagsága 2 - 6 szorososa az iszapos-agyagos rétegek vastagságának. Ugyanezt bizonyítja az elvégzett azonosító laborvizsgálatok aránya is. Ennek ellenére csak kevés helyen lehetett nagyobb vastagságú homogén réteget azonosítani, gyakoriak a betelepülések. A pannon formációra jellemző a keskeny közbetelepült rétegek halmozódása, amit geotechnikai szempontból csak átlagosítással, illetve statisztikai elemzéssel lehetett kezelni.

A homokba, iszapos homokba a 130 m-es feltáró fúrás alsó határáig 3 olyan iszap-agyag réteg települt, melyek vastagsága eléri a 2 m-t.

A pannon réteg előterhelt, ezt bizonyítják a helyszíni presszióméteres vizsgálatok, valamint a CPTu szondázások eredményei is. A mérési eredmények szórása azonban nagy, így az előterhelő feszültség nagyságára jó közelítéssel 1000-3500 kPa közötti becslés adható.

A pannon rétegsort geotechnikai szempontból a 85. táblázatban bemutatott alrétegekre lehet bontani.

85. táblázat Pannon összletben elkülöníthető alrétegek

Talajréteg jele	Talaj megnevezése	Talajtípus
„G” réteg	Pannon „G”	finomhomok, iszapos homok, homokos iszap
„H” réteg	Pannon „H”	homokos iszap, agyag összlet
„I” réteg	Pannon „I”	homok, iszapos homok
„J” réteg	Pannon „J”	agyag (homok betelepülésekkel)
„K” réteg	Pannon „K”	homok
„L” réteg	Pannon „L”	agyag
„M” réteg	Pannon „M”	homok (homokos iszap betelepülésekkel)
„N” réteg	Pannon „N”	agyag (finomhomok, homokos iszap betelepüléssel)
„O” réteg	Pannon „O”	homok

Pannon „G” réteg

A „G” jelű, jellemzően iszapos, helyenként cementált, közel egyszemcsés homok réteg zömében a terület közepén valamint D-DNy-i részén mélyített fúrásokban jelent meg, igen változó 4-31 m-es vastagságban.

A réteg finomhomok, iszapos homok, homokos iszap réteg a kavicssterasz alatt átlagosan 13,6 m vastag. A folyamatosan talajvíz alatt található réteg víztartalma $w = 15 - 34 \%$ közötti, átlagosan 26,2 %.

A rétegből mintegy 65 db szemeloszlási vizsgálat, valamint 6 db plasztikus index meghatározás készült, ami az agyag betelepülésre utal. Ez jól mutatja a kötött és szemcsés talajok arányát a rétegen belül. A rétegben kavics csak elvétve fordul elő, de az agyag frakció sem jellemző. A 10 súlysúlyszázalékhoz tartozó szemcseátmérő széles határok között változik az iszaptartalom függvényében: $d_{10n} = 0,004-0,13$ mm. Ennek megfelelően az iszapmentes homok átlagos egyenlőtlenségi mutatója $C_u = 3,5$ (1,44 és 9,5 szélsőértékek mellett), az iszapos homok egyenlőtlenségi mutatója $C_u > 8$, és csaknem eléri a $C_u = 20$ értéket.

Az átlagos összenyomódási modulus $E_{cod} = 33,4$ MN/m² négy minta alapján, a térfogatsűrűség átlagosan $\rho = 2,00$ g/cm³, a belső súrlódási szög 10 db triaxiális nyomóvizsgálat alapján $\varphi = 38^\circ$ adható meg. A hézagtényező $e = 0,65$, a telítettség átlagosan $S_r = 0,99$. A kohéziót $c = 0$ kN/m² értékkel javasolt figyelembe venni. A vízáteresztő-képességi együttható $k = 5,8 \cdot 10^{-10}$ és $2,4 \cdot 10^{-6}$ m/s között változik.

A réteg CPT szondázással meghatározott csúcscellenállás értéke 2 30 MPa között változik, átlagosan $q_c = 12,3$ MPa. A rétegen belül is jelentős eltérések vannak.

Pannon „H” réteg

A „**H**” jelű, változó összetételű homokos iszap, iszap, agyag összlet már minden feltárásban megjelenik, igen változó 4,4 - 26,0 m-es vastagságban. Átlagos vastagsága 16,2 m. A réteg az azonosító vizsgálatok darabszáma alapján nagyjából ugyanolyan mennyiségben tartalmaz kötött, átmeneti illetve szemcsés talajt.

A vegyes rétegződésű réteg kötött anyaga közepes és kövér agyag ($I_p = 20,8 - 38,5\%$), a konzisztencia index értéke $I_c = 0,61 - 1,25$, gyúrható-kemény állapotú.

A homokos iszap, agyag összlet telített, tömör, a szemcsés rész helyenként jól graduált. A hézagtényező átlagos értéke $e = 0,69$, a nedves térfogatsűrűség átlagos értéke $\rho = 2,01$ g/cm³, a telítettség átlagosan $S_r = 0,99$.

A vízáteresztő-képességi együttható vizsgálatához 12 mérés készült, a mért értékek $k = 3,9 \cdot 10^{-7}$ és $1,9 \cdot 10^{-9}$ m/s között változnak.

Az összenyomódási modulus átlaga $E_{cod} = 32,0$ MN/m² tizennégy minta alapján, a hozzá tartozó variációs tényező $c_v = 0,44$. A magas variációs tényező valószínűleg a réteg vegyes összetételének tulajdonítható.

A belső súrlódási szög a réteg vegyes összetétele miatt széles határok között változik. Az összesen 62 darab triaxiális nyomóvizsgálat alapján az átlagos belső súrlódási szög $\varphi = 23,5^\circ$, minimális értéke $\varphi = 3^\circ$. Hasonló változékonyság jellemzi a kohézió értékét, az átlagos kohézió $c = 27,5$ kN/m², minimális $c = 0$ kN/m², maximális $c = 200$ kN/m².

A pannon agyag-iszap-homok összletbe a CPTu szondázás csak részben hatolt be. A csúcscellenállás átlagos értéke 16,1 MPa-ban adható meg. A CPTu szondázás szerint a réteg csúcscellenállása 1,5 - 60 MPa-os tartományban adható meg. Teherbírása a rétegen belül is jelentősen változik.

Pannon „I” réteg

Az „I” jelű réteget a 130 m mélységű fúrások mindegyike harántolta. Az 50 m mélységű fúrások a D-i területeket leszámítva szintén elérték a réteg felső síkját, de az alsót nem.

A hosszabb fúrások alapján a réteg alsó síkja 60 - 70 m-es mélységben található (30 - 35 mBf szint között), vastagsága 3,5 - 24,7 m, átlagosan 14 m-re tehető.

A réteg helyenként cementált, másutt iszap/agyag sávokkal tagolt, közel egyszemcsés homok, illetve néhol iszapos homok is azonosítható.

A rétegből vett mintákon összesen 148 db szemeloszlási és 7 db Atterberg-határ vizsgálat készült, azaz a réteg kb. 5 %-át adják csak közbetelepült agyagsávok.

Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a homok-iszapos homok réteg telített, tömör, a szemcsés rész többnyire rosszul graduált. A hézagtényező átlagos értéke viszonylag alacsony ($e = 0,64$), a nedves térfogatsűrűség átlagos értéke viszont magas ($\rho = 2,01 \text{ g/cm}^3$). A telítettség átlagosan $S_r = 0,99$, az átlagos víztartalom $w = 23,5 \%$.

A vízáteresztő-képességi együttható $k = 4,0 \cdot 10^{-6} - 4,8 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$.

Az összenyomódási modulus átlagértéke $E_{\text{eod}} = 32,0 \text{ MN/m}^2$ nyolc minta vizsgálata alapján.

A belső súrlódási szög – 20 darab triaxiális nyomóvizsgálata alapján – átlagosan $\rho = 35^\circ$ -ra vehető fel, a kohézió esetén $c = 0 \text{ kN/m}^2$ érték vehető figyelembe.

A pannon homok-iszapos homok talajt a szondázások nem érték el. A réteg teherbíró képességét a talajfizikai jellemzők és állapotjellemzők alapján jónak lehet ítélni.

Pannon „J” réteg

A „J” jelű, 2,1-7,6 m (átlagosan 4,0 m) vastag agyagréteg az „I” jelű réteg alatt húzódik. A réteg mélysége 70-76 m körüli a terepszint alatt azokon a helyeken, ahol vetők nem találhatóak.

Néhol homokos betelepülések találhatóak a rétegben, de alapvetően kötött agyagrétegről van szó.

A pannon agyag vizsgálatához 34 db azonosító vizsgálat készült, amiből 17 darab volt a szemeloszlási vizsgálat. Ez alapján azt lehet mondani, hogy az agyag részaránya körülbelül ugyanannyi, mint a finomszemcsés és a szemcsés talajé együtt.

A folyamatosan talajvíz alatt található réteg átlagos víztartalma $w = 25,9 \%$. A réteg telített $S_r = 1,00$. A konzisztencia index átlaga $I_c > 1,0$, tehát kemény állapotú.

Az alacsony hézagtényező (legalacsonyabb $e = 0,50$; átlagos $e = 0,59$ és legmagasabb $e = 0,77$), és a magas átlagos nedves térfogatsűrűség ($\rho = 2,07 \text{ g/cm}^3$) azt valószínűsíti, hogy a réteg tömör, jó teherbírási.

Az összenyomódási modulus átlagos értéke $E_{\text{oed}} = 28,6$ MPa. Hét triaxiális nyomóvizsgálat eredménye alapján $\varphi = 32-35^\circ$, $c = 0$ kPa. Kötöttebb rétegek esetén $\varphi = 24^\circ$ és $c = 20$ kPa figyelembe vétele lehetséges.

Pannon „K” réteg

A „**K**” jelű pannon homok a vékony agyagréteg alatt jelent meg. Vastagsága 10,8-16,0 m között változik, átlagosan 14,4 m. A terepszint alatti mélysége a vetőkön kívüli területeken 64-85 m közötti.

Jellemzően szürke színű, homogén kifejlődésű, néhol cementált, másutt enyhén iszapos, de mindig meredek szemeloszlású, egyszemcsés homokréteg.

A talajvíz alatti réteg átlagos víztartalma $w = 22 - 24\%$ között változik. A réteg kvázi telítettnek ($S_r > 0,95$) tekinthető.

A 10 súlyszázalékhoz tartozó szemcseátmérő keskeny határok között változik az iszaptartalom függvényében: $d_{10} = 0,02 - 0,14$ mm. Ennek megfelelően az iszapmentes homok átlagos egyenlőtlenségi mutatója $C_u = 2,53$ (1,53 és 8,18 szélsőértékek mellett), az iszapos homok egyenlőtlenségi mutatója $C_u > 10$.

Az alacsony hézagtenyező (legalacsonyabb $e = 0,50$; átlagos $e = 0,61$ és legmagasabb $e = 0,77$), és a magas átlagos nedves térfogatsűrűség ($\rho = 2,02$ g/cm³) azt valószínűsíti, hogy tömör, jó teherbírású ez a pannon homok, iszapos homok réteg is.

Az összenyomódási modulus átlagos értéke $E_{\text{oed}} = 66,70$ MPa értékre adódott kis szórás mellett. A vízáteresztő-képességi együttható értéke $k = 1,08 \cdot 10^{-10}$ m/s-ra adódott. Öt darab triaxiális nyomóvizsgálat eredménye alapján a belső súrlódási szög értékére $\varphi = 33^\circ$ vehető fel $c = 0$ kPa kohézió mellett.

Pannon „L” réteg

Az „**L**” jelű viszonylag vékony, kötött réteg vastagsága 1,5 - 4,1 m, átlagosan 2,9 m. A réteg mind a hét darab 130 m mélységű fúrásban megjelent.

Az azonosító vizsgálatok alapján kemény konzisztenciájú ($I_c > 1,0$) közepes-kövér agyag ($I_p = 20 - 44 \%$).

A relatív egységes agyag réteget közepesen alacsony hézagtenyező és magas térfogatsúly $\gamma > 20$ kN/m³ jellemzi. Az előterheltség miatt a talajfizikai jellemzőik a felszínhez közeli talajokénál jobbak.

A belső súrlódási szög egy vizsgálat alapján $\varphi = 21^\circ$, a kohézió $c = 180$ kPa.

Pannon „M” réteg

A pannon rétegsor következő, „**M**” jelű rétege 25-30 m-es vastagságban jelent meg az legtöbb mélyfúrásban, átlagos vastagsága 25 m-re tehető. Az V-6-D fúrás a már említett vetőzóna miatt csupán 125 m-es mélységben érte el, így a réteg felső 5 m-es zónáját harántolta.

Jellemzően finomhomok réteg, több helyen iszap, illetve homokos iszap betelepülésekkel.

A homokréteg kb. 15 % kötött (iszap, agyag) betelepülést tartalmaz. Az átlagosnál alacsonyabb hézagtenyező és magasabb térfogatsúly jellemző.

Az összenyomódási modulus $E_{\text{oed}} = 55,6$ MPa értékűre adható meg három mérés alapján.

A vízáteresztő-képességi együttható $k = 3,51 \cdot 10^{-7} - 2,11 \cdot 10^{-6}$ m/s két mérés alapján.

A nyírószilárdsági paramétereknél a belső súrlódási szög átlagosan 20 db mérés alapján $\varphi = 34^\circ$, a kohézió $c = 0$ kPa-ra vehető fel. A kötöttebb talajú betelepüléseknél $\varphi = 25^\circ$ és $c = 15 - 20$ kPa kohézió adható meg.

Pannon „N” réteg

Az É-i és középső területeken a fúrásokkal a térszín alatti 115 - 125 m-es mélységben feltárt, „N” jelű, 7,4 - 8,5 m vastagságú (átlag 7,9 m), heterogén összetétel határolja el egymástól az „M” jelű homokréteget és a legmélyebb feltárt „O” jelű homokréteget.

A réteg összességében kemény konzisztenciájú kövér agyagréteggént jellemezhető, melyben homokos iszapos betelepülések találhatók.

Az agyagréteg 30 - 35 % finomhomoktól iszapig terjedő betelepülést tartalmaz. Szintén alacsony hézagtenyező és magas térfogatsúly jellemzi.

Az előterheltség miatt a talajfizikai jellemzői viszonylag keskeny határok között helyezkednek el.

Az átlagos vízáteresztő-képességi együttható $k = 4,25 \cdot 10^{-6}$ m/s kevés számú mérés alapján.

Pannon „O” réteg

Az I., II., III. és IV. szelvényekben készült mélyfúrások záró rétege az „O” jelű finomhomok réteg, mely tulajdonságait tekintve egységesnek mondható. A rétegvastagság 4,0 és 11,2 m között változik, átlagos vastagsága 8,3 m.

Közel egyszemcsés homok, alacsony egyenlőtlenségi mutatóval, tömör állapotban.

Az előterheltség és a szűk szemeloszlási görbesereg miatt a talajfizikai jellemzői viszonylag keskeny határok között helyezkednek el. A belső súrlódási szögre $\varphi = 31^\circ$, a kohézióra $c = 0$ kPa adható meg.

Az összenyomódási modulus átlagos értéke $E_{\text{oed}} = 100,0$ MPa.

3.2.2 Különleges rétegek és képződmények

A geotechnikai kockázatok és veszélyek értékeléséhez igen fontos ismertetni azokat a rétegeket, képződményeket és jellemzőket, melyek a vizsgált területen jelen vannak. Ezek részletes értékelése szükséges ahhoz, hogy az egyes geotechnikai eredetű kockázatok

értékelése elvégezhető legyen, az ellene való védekezés lehetőségei meghatározhatók legyenek.

Az alábbiakban kerülnek részletesen bemutatásra azok a rétegek és képződmények, melyeket a kockázatelemzés során figyelembe kell venni.

3.2.2.1 Szerves-szervesnyomos rétegek

A tervezett telephelyen szerves, szervesnyomos valamint enyhén humuszos rétegek találhatóak. Ezek tömörségi állapotuk, anyagi összetételük miatt jelenthetnek kockázatot.

A területen feltárt szerves, humuszos rétegek legfontosabb adatait a 86. táblázat összesíti.

86. táblázat Szerves, humuszos rétegek a vizsgált területen

Fúrás jele	Mélység (m)	Réteg megnevezése a mintaleírás alapján	LOI (%)	vastagság (m)
II-3-A	5,70	sötétszürke, barna foltos közepes agyag	5,5	1,5
II-6-D	82,50-82,65	fekete, szenes-lignites réteg	5,5	0,15
II-7-A	1,00	sárgásbarna közepes agyag feltöltés	5,5	1,5
II-7-A	2,60	szürke, kevert közepes agyag feltöltés	7,3	1,15
II-8-B	5,95-6,35	sötétbarna közepes agyag feltöltés	5,3	0,95
IV-7-A	6,30-6,45	szürkésárga sovány agyag feltöltés	5,6	0,15
IV-8-B	6,80	fekete közepes agyag	7,0	0,45
V-7-A	3,65	sötétszürke agyag és iszapos homok feltöltés	5,2	0,4

A táblázat alapján megállapítható, hogy a feltárt szerves-szervesnyomos talajok a feltöltésben valamint közvetlenül a feltöltés alatt találhatóak. A feltöltés alatt talált szerves rétegek az eredeti termett talajréteg felszínén helyezkednek el, ez egyértelműen kimutatható volt.

A táblázatból is jól látható, hogy a szerves-szervesnyomos rétegek jellemzően a feltöltésben jelentkeztek, itt vastagságuk is nagyobb, néhány dm-től maximum 1,2 m-ig terjed. Az eredeti terepszinten jelentkező szervesebb fedőréteg vastagsága ennél kisebb, legfeljebb 40-50 cm.

A vizsgált területen közepesen vagy erősen szerves réteget (pl. tőzeget), nem lehetett azonosítani. Hasonlóképpen nem voltak kimutathatók erősen kompresszibilis, magas szervesanyag-tartalmú iszap vagy agyag rétegek sem.

3.2.2.2 Cementált, illetve homokkő rétegek

A területen több esetben közepesen vagy erősen cementált illetve homokkő rétegeket lehetett azonosítani.

A **homokkő** előfordulását a vizsgált területen készült fúrásokban a 87. táblázat mutatja.

A homokkő rétegek a fúrásokban nem egységesen jelentek meg, nem összefüggőek, a területen általánosan előforduló réteget nem képeznek.

87. táblázat Homokkő megjelenési helyei a vizsgált területen

Fúrás jele	Mélység (m)		Rétegleírás dokumentálás alapján	Vastagság (m)
I-2-C	29,61	29,64	szürke, homokkő	0,03
I-2-C	29,8	29,9	szürke, homokkő	0,1
I-6-D	66,3	66,5	szürke, erősen cementált, homokkő	0,2
I-6-D	70,1	70,5	erősen cementált, töredezett homokkő	0,4
I-6-D	71,05	71,3	erősen cementált, homokkő	0,25
I-6-D	78,7	79,1	szürke-barnásszürke, kissé-közepesen cementált homokkő	0,4
I-6-D	120	120,2	homokkő	0,2
III-4-C	28,5	28,75	szürkéssárga, homokkő betelepüléses	0,25
IV-6-D	63,2	63,3	homokkőpad	0,1
IV-6-D	64,65	64,8	homokkőpad	0,15
V-1-C	42,8	43	erősen cementált, homokkő	0,2
V-1-C	46,05	46,15	erősen cementált, homokkő	0,1
V-6-D	48	48,2	homokkő	0,2

Cementált réteg a mintadokumentálás során összesen 220 helyen került leírásra, együttesen kb. 260 fm hosszban. A cementált szakaszok átlagos hossza 1,16 m, vastagságuk 2 cm és 11,4 m között változik.

A különböző mértékben cementálódott rétegek sem egységes rétegben jelennek meg, jellemzően foltszerűen.

A cementált rétegek vastagsága jellemzően kicsi, szilárdságuk, fizikai paramétereik jobbakk a környező rétegekéhez képest.

Archív adatok alapján az *erősen cementált homokkő* esetén az alábbi jellemzők adhatók meg:

- Hézagtenyésző $e = 0,34 - 0,73$
- Telítettség $S_r = 0,61 - 0,84$
- Térfogatsűrűség $\rho = 1,89 - 2,13 \text{ g/cm}^3$
- Törőszilárdság $R_c = 2096 \text{ kN/m}^2$

Gyengén cementált homokkő talajjellemzői:

- Egyenlőtlenségi mutató $C_u = 2,1 - 2,4$
- Mértékadó szemcseátmérő $d_m = 0,11 - 0,16 \text{ mm}$
- Belső súrlódási szög $\varphi = 30^\circ$ ($e = 0,65$ mellett)
- Törőszilárdság $R_c = 125 - 227 \text{ kN/m}^2$

3.2.2.3 Térfogatváltozó talajok

Térfogatváltozásra (duzzadásra és zsugorodásra) a magas plaszticitású agyagok ($I_p > 30 \%$) hajlamosak.

A vizsgált területen a felső 30 m-ben összesen 7 helyen kerültek ilyen talajok azonosításra: 5 helyen a feltöltésben, további 2 helyen a feltöltés és a termett talaj határán. Vastagságuk 0,2 és 1,7 m közötti.

Térfogatváltozásra hajlamos talajok a vizsgált területen tehát jellemzően a talajvízszint felett a feltöltésben vagy az alatt közvetlenül találhatók.

Magas plaszticitású agyag talajok 30 m-nél mélyebben is feltárássra kerültek. Ebben a mélységben azonban a geosztatikai nyomás már olyan nagy, hogy a rétegek duzzadásra már nem képesek, mivel a fellépő duzzadási nyomás kisebb, mint a függőleges önsúlyterhelés. Ezen mélységben feltárt agyag talajok esetén zsugorodásra sem kell számítani, mert folyamatosan a talajvíz szintje alatt találhatók, kiszáradni nem tudnak.

3.2.2.4 Vetők illetve vetőzóna

A 130 m hosszú fúrásokban a pannon rétegsorban egy vékony, fekete, lignites réteg volt kimutatható. Ez a réteg egységesen az I-6-D, II-6-D, III-6-D, IV-6-D és V-6-D fúrásban is megjelent. Magas víztartalmú ($w = 38\%$) és szervesanyag-tartalmú ($LOI=7,8\%$) réteg.

A jól azonosítható markerréteg megjelenését a feltárásokban az 88. táblázat mutatja.

88. táblázat Fekete lignites markerréteg megjelenése a feltárásokban

Feltárás jele	Fekete lignites markerréteg mélysége terepszint alatt (m)
I-6-D	81,30 - 81,50
II-6-D	82,50 - 82,65
III-6-D	87,55 - 87,65
IV-6-D	103,85 - 104,00
V-6-D	125,00 - 125,30

A markerréteget nagy valószínűséggel a III. és IV. szelvény, valamint a IV. és V. szelvény között a pannon rétegeket harántoló vető vagy vetőzóna miatt lehet D felé egyre mélyebben azonosítani. A geotechnikai jellegű feltárásokban megjelenő markerréteg különböző magassági szinteken való azonosítása jól kiegészíti a szeizmológiai, geofizikai és geológiai vetőkutatások eredményeit.

A pannon rétegek dőlését figyelembe véve a vetők függőleges elmozdulása-eltolódása 16 illetve 19 m-re tehető. Az elmozdulások az eredmények alapján nem lépnek ki a pannon rétegből.

A vetők illetve vetőzónák helyét a geológiai kutatások során lehet pontosítani. További legalább 110-130 m hosszú fúrásokkal a IV. és V. szelvények környezetében a vetők térbeli elhelyezkedését pontosítani lehet.

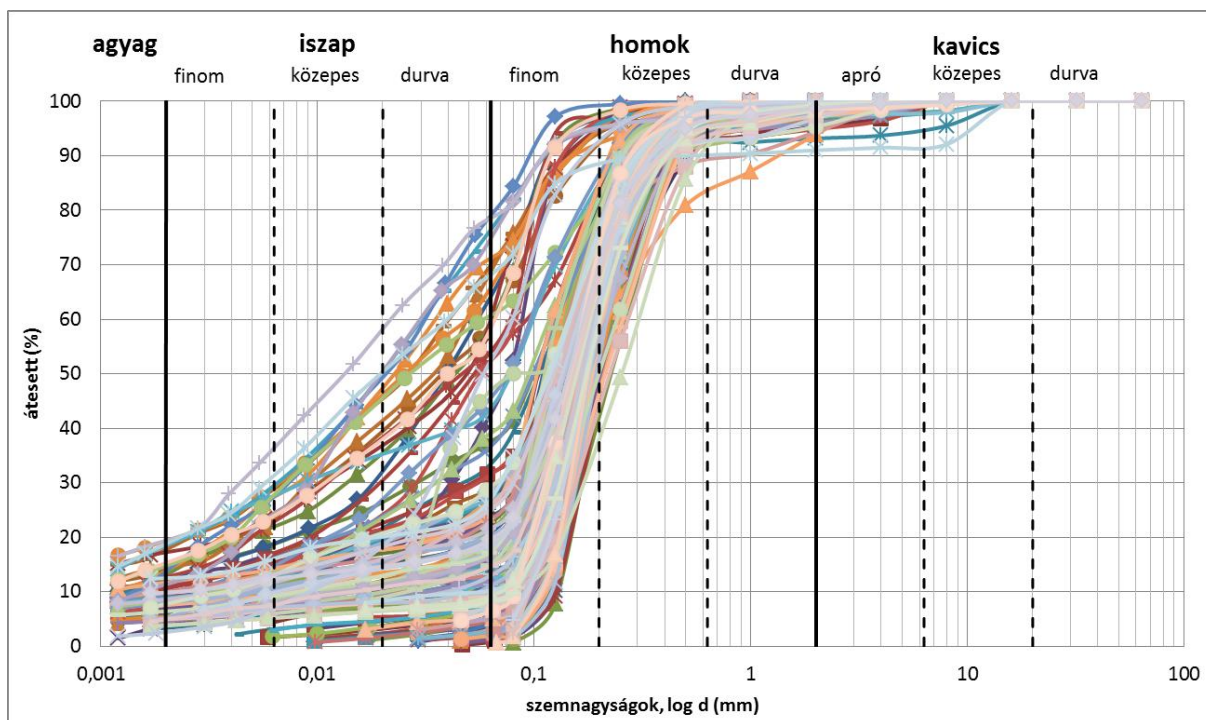
3.2.3 Statisztikai elemzés és értékelés

Az alábbi fejezet mutatja be az egyes jellemző telephelyi rétegek legfontosabb paraméterei statisztikai feldolgozásának legfontosabb eredményeit.

3.2.3.1 „A” jelű réteg – Mesterséges feltöltés

3.2.3.1.1 Azonosító vizsgálatok

A feltöltés réteg szemeloszlási görbéinek összesítését az 296. ábra mutatja. A statisztikai feldolgozást a Büttner Gy., Maucha G., Bíró M., Petrik O.: *Nagyfelbontású nemzeti felszín-borítási adatbázis* – http://fish.fomi.hu/letoltes/nyilvanos/corine/clc50_referencia_cikk mutatja.



296. ábra A feltöltésből készült szemeloszlási vizsgálatok eredményei

89. táblázat „A” réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői

Talajjellemző neve	Jel, mértékegység		Elem-szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	C_v
Kavics frakció ¹	'K'	%	139	0,02	26,91	1,71	3,24	1,89
Homok frakció ¹	'H'	%	226	12,4	100,0	82,8	20,8	0,25
Iszap frakció ¹	'I'	%	167	0,85	85,62	17,42	16,31	0,94
Agyag frakció ¹	'A'	%	76	2,63	28,05	9,77	4,95	0,51
Víztartalom	w	%	224	0,27	24,72	8,33	5,23	0,63
10%-hoz tartozó szemmagyság	D_{10}	mm	202	0,001	0,14	0,06	0,04	0,66
60%-hoz tartozó szemmagyság	D_{60}	mm	226	0,012	0,36	0,18	0,06	0,31
Egyenlőtlenégi mutató	C_U	-	169	1,68	29,7	5,41	6,47	1,20

¹ – Azokra a vizsgálatokra vonatkozik, amelyekben az adott frakció megjelent.

3.2.3.1.2 CPTu szondázások

Az „A” jelű rétegre összesített CPTu szondázási eredmények a 90. táblázatban láthatók.

90. táblázat „A” jelű rétegek CPTu szondázási eredményeinek feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elem-szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	C_v
"A" réteg	q_c	MPa	6320	0,11	24,99	7,67	5,69	0,74
	R_f	%	6712	0,09	5,00	1,31	0,97	0,74

3.2.3.1.3 SPT és SPT(C) szondázások

Az „A” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredményei a 91. táblázatban kerültek összesítésre.

Az összesítésben nem csak a jelen vizsgálat során kapott adatok szerepelnek, hanem az összehasonlíthatóság kedvéért a terület közelében korábban készült archív eredmények is.

91. táblázat „A” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredmények feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elem- szám	Minimum N érték	Maximum N érték	Átlag N érték	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
"A" réteg	SPT	db	11	5	32	15,6	7,15	0,46
	SPT(C)	db	48	3	22	12,9	6,30	0,49
	SPT – archív, FTV	db	42	3	50	19,0	12,0	0,63
	SPT – archív, Fugro	db	19	6	29	15,1	7,5	0,50
	SPT – archív, Arup	db	44	2	48	19,0	12,7	0,67

3.2.3.1.4 Állapotjellemzők

A negyedidőszaki rétegekben geofizikai CPT szondázások eredményei alapján lehetett meghatározni az egyes állapotjellemzőket.

Az „A” réteg eredményeit a 92. táblázat összesíti.

92. táblázat „A” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása GCPT eredmények alapján

Rtg	Jellemző	Jel és mértékegység		Elem- szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
				n	min.	max.	μ	δ	Cv
"A" rtg	Nedves térfogsűrűség	ρ	g/cm ³	586	1,65	2,06	1,84	0,11	0,06
	Telítettség	S_r	-	621	0,18	1,00	0,55	0,24	0,44
	Hézagterfogat	n	%	610	34,00	44,0	38,91	2,06	0,05
	Hézagtenyező	e	-	583	0,50	0,74	0,63	0,05	0,08
	Száraz térfogsűrűség	ρ_d	g/cm ³	575	1,53	1,75	1,63	0,05	0,03
	Víztartalom	w	%	621	4,80	34,8	13,17	5,79	0,44
	Szilárd fázis	s	-	610	0,56	0,66	0,61	0,02	0,03
	Folyadék fázis	v	-	617	0,08	0,41	0,22	0,09	0,42
	Légfázis	l	-	590	0,01	0,36	0,19	0,09	-

3.2.3.2 „B” jelű réteg – Szervesnyomos-szerves, humuszos fedőréteg

3.2.3.2.1 Azonosító vizsgálatok

A szerves-humuszos fedőréteg azonosító vizsgálati eredményeinek feldolgozását az 93. táblázat mutatja.

93. táblázat A humuszos „fedőréteg” Atterberg-határok vizsgálati eredményei

Fúrás jele	Minta mélysége	Víztartalom w (%)	Folyási határ, wL (%)	Sodrás határ, wp (%)	Plaszticitási index, Ip (%)	Konzisztencia-index, Ic (-)	Folyóssági index, IL (-)
II-6-D	5,4	14,1	36	16,3	19,7	1,11	-0,112
II-8-B	5,95-6,35	15,2	35,8	13,9	21,9	0,94	0,056

3.2.3.2.2 CPTu szondázások

A „B” jelű rétegre összesített CPTu szondázási eredmények a 94. táblázatban láthatók.

94. táblázat „B” jelű réteg CPTu szondázási eredmények feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elem-szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
"B" réteg	q _c	MPa	73	0,99	5,92	2,39	1,11	0,46
	R _f	%	73	1,05	4,53	2,84	0,92	0,32

3.2.3.2.3 SPT és SPT(C) szondázások

A „B” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredményei a 95. táblázatban kerültek összesítésre.

Az összesítésben nem csak a jelen vizsgálat során kapott adatok szerepelnek, hanem az összehasonlíthatóság kedvéért a terület közelében korábban készült archív eredmények is.

95. táblázat „B” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredmények feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elem-szám	Minimum N érték	Maximum N érték	Átlag N érték	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
"B" réteg	SPT	db	-	-	-	-	-	-
	SPT(C)	db	7	2	6	4,7	1,50	0,32
	SPT – archív, FTV	db	-	-	-	-	-	-
	SPT – archív, Fugro	db	-	-	-	-	-	-
	SPT – archív, Arup	db	-	-	-	-	-	-

3.2.3.3 „C” jelű réteg – Holocén szürke agyag

3.2.3.3.1 Azonosító vizsgálatok

A holocén korú agygréteg azonosítási eredményeket a 96. táblázat mutatja.

96. táblázat A holocén szürke agyag Atterberg-határok vizsgálati eredményeinek statisztikai jellemzői

Talajjellemző neve	Jel és mértékegység		Elem-szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
Természetes víztart.	w	%	11	16,7	27,5	21,8	3,85	0,18
Folyási határ	w _L	%		31,9	55,2	41,8	6,91	0,17

Talajjellemző neve	Jel és mértékegység		Elem- szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
Sodrasi határ	w _p	%		15,9	20,6	18,6	1,61	0,09
Plaszticitási index	I _p	-		11,3	35,2	23,3	6,67	0,29
Konzisztenciaindex	I _c	-		0,44	1,12	0,84	0,22	0,26

3.2.3.3.2 CPTu szondázások

A „C” jelű rétegre összesített CPTu szondázási eredmények a 97. táblázatban láthatók.

97. táblázat „C” jelű réteg CPTu szondázási eredmények feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elem- szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
"C" réteg	q _c	MPa	629	0,25	6,00	1,64	1,03	0,63
	R _f	%	645	1,01	6,88	3,71	1,34	0,36

3.2.3.3.3 SPT és SPT(C) szondázások

A „C” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredményei a 98. táblázatban kerültek összesítésre.

Az összesítésben nem csak a jelen vizsgálat során kapott adatok szerepelnek, hanem az összehasonlíthatóság kedvéért a terület közelében korábban készült archív eredmények is.

98. táblázat „C” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredmények feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elem- szám	Minimum N érték	Maximum N érték	Átlag N érték	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
"C" réteg	SPT	db	-	-	-	-	-	-
	SPT(C)	db	46	2	22	6,7	4,37	0,65
	SPT – archív, FTV	db	-	-	-	-	-	-
	SPT – archív, Fugro	db	-	-	-	-	-	-
	SPT – archív, Arup	db	-	-	-	-	-	-

3.2.3.3.4 Állapotjellemzők

A negyedidőszaki rétegekben geofizikai CPT szondázások eredményei alapján lehetett meghatározni az egyes állapotjellemzőket.

A „C” réteg eredményeit a 99. táblázat összesíti.

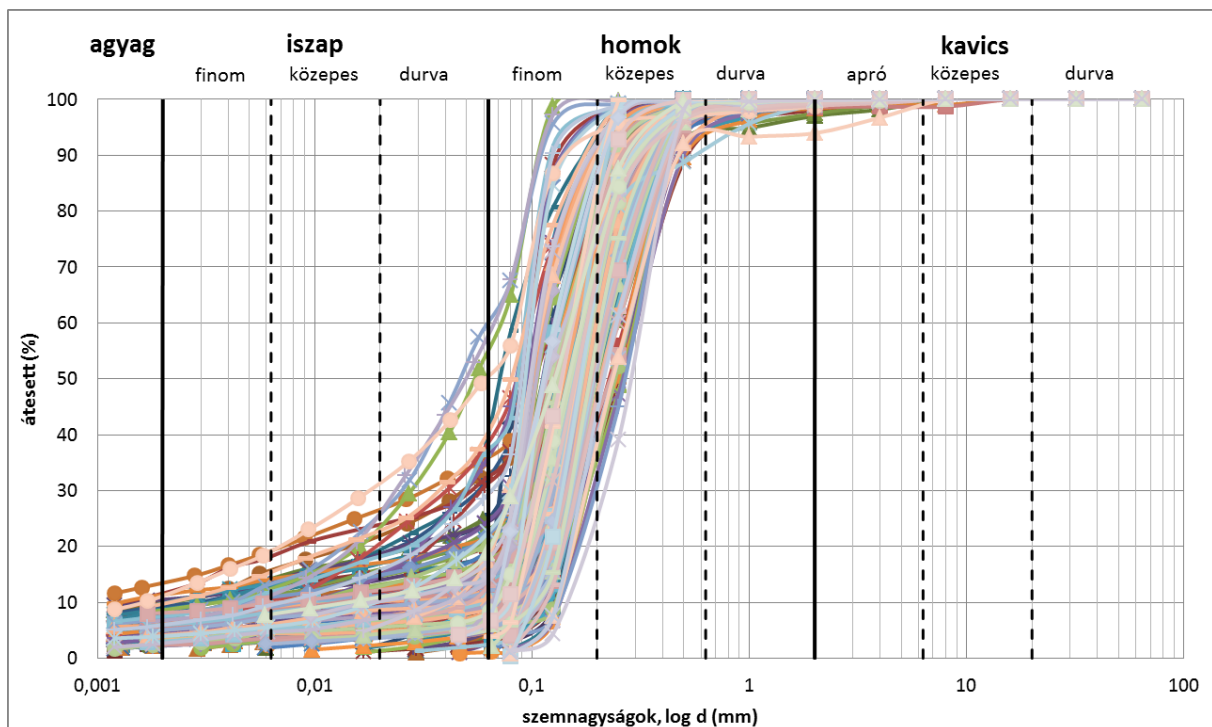
99. táblázat „C” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása GCPT eredmények alapján

Rtg	Jellemző	Jel és mérték-egység		Elem- szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
				n	min.	max.	μ	δ	C_v
"C" rtg	Nedves térfogatsűrűség	ρ	g/cm^3	68	1,81	2,07	1,95	0,07	0,03
	Telítettség	S_r	-	68	0,43	1,00	0,89	0,14	0,16
	Hézagterfogat	n	%	68	36,0	49,0	40,1	2,9	0,07
	Hézagtényező	e	-	68	0,55	0,95	0,67	0,09	0,13
	Száraz térfogatsűrűség	ρ_d	g/cm^3	68	1,36	1,71	1,59	0,08	0,05
	Víztartalom	w	%	68	10,7	34,3	22,9	5,0	0,22
	Szilárd fázis	s	-	68	0,51	0,64	0,60	0,03	0,05
	Folyadék fázis	v	-	68	0,17	0,47	0,36	0,07	0,18
	Légnemű fázis	l	-	68	0	0,23	0,04	0,06	-

3.2.3.4 „D” jelű réteg – Futóhomok

3.2.3.4.1 Azonosító vizsgálatok

A futóhomok réteg szemeloszlási vizsgálati eredményeit a 297. ábra mutatja, a statisztikai feldolgozást a 100. táblázat mutatja.



297. ábra A futóhomokból készült összes szemeloszlási vizsgálat eredményei

100. táblázat „D” réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői

Talajjellemző neve	Jel, mértékegység		Elem-szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
Kavics frakció	'K'	%	107	0,02	6,05	0,51	0,76	-
Homok frakció	'H'	%	220	39,9	100,0	89,4	11,0	0,12
Iszap frakció	'T'	%	160	1,1	52,9	11,5	8,6	0,74
Agyag frakció	'A'	%	75	2,2	13,3	5,9	2,6	0,44
Víztartalom	w	%	112	2,58	17,9	8,57	3,64	0,43
10%-hoz tartozó szemmagyság	D ₁₀	mm	219	0,001	0,15	0,06	0,04	0,63
60%-hoz tartozó szemmagyság	D ₆₀	mm	220	0,063	0,34	0,19	0,05	0,26
Egyenlőtlenégi mutató	C _U	-	213	1,58	58,9	7,23	10,5	1,45

3.2.3.4.2 CPTu szondázások

A „D” jelű rétegre összesített CPTu szondázási eredmények a 101. táblázatban láthatók.

101. táblázat „D” jelű réteg CPTu szondázási eredmények feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elem-szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
"D" réteg	q _c	MPa	9195	1,64	34,72	17,36	5,52	0,32
	R _f	%	9147	0,30	1,99	0,86	0,21	0,25

3.2.3.4.3 SPT és SPT(C) szondázások

A „D” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredményei a 102. táblázatban kerültek összesítésre.

Az összesítésben nem csak a jelen vizsgálat során kapott adatok szerepelnek, hanem az összehasonlíthatóság kedvéért a terület közelében korábban készült archív eredmények is.

102. táblázat „D” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredmények feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elem-szám	Minimum N érték	Maximum N érték	Átlag N érték	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
"D" réteg	SPT	db	9	14	37	23,2	6,5	0,28
	SPT(C)	db	460	3	40	20,5	7,6	0,37
	SPT – archív, FTV	db	35	4	51	32,5	11,7	0,36
	SPT – archív, Fugro	db	17	4	38	18,0	10,6	0,59
	SPT – archív, Arup	db	53	3	51	31,9	11,0	0,35

3.2.3.4.4 Állapotjellemzők

A negyedidőszaki rétegekben geofizikai CPT szondázások eredményei alapján lehetett meghatározni az egyes állapotjellemzőket.

A „D” réteg eredményeit a 103. táblázat összesíti.

103. táblázat „D” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása GCPT eredmények alapján

Rtg	Jellemző	Jel és mértékegység		Elem-szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
				n	min.	max.	μ	δ	Cv
"D" rtg	Hézagtérfogat	n	%	611	35,00	45,00	39,70	2,00	0,05
	Hézagtényező	e	-	607	0,54	0,80	0,66	0,05	0,08
	Száraz térfogatsűrűség	ρ_d	g/cm ³	606	1,48	1,72	1,60	0,05	0,03
	Szilárd fázis	s	-	611	0,55	0,65	0,60	0,02	0,03
	Légnemű fázis	l	-	616	0	0,33	0,14	0,10	-
"D" rtg, TVSZ felett	Nedves térfogatsűrűség	ρ	g/cm ³	289	1,75	1,93	1,85	0,04	0,022
	Telítettség	S_r	-	287	0,22	0,72	0,40	0,09	0,23
	Víztartalom	w	%	268	6,10	15,9	9,8	2,16	0,22
	Folyadék fázis	v	-	293	0,09	0,29	0,15	0,04	0,23
"D" rtg, TVSZ alatt	Telített térfogatsűrűség	ρ	g/cm ³	280	1,82	2,05	1,94	0,04	0,02
	Telítettség	S_r	-	318	0,52	1,00	0,89	0,10	0,12
	Víztartalom	w	%	288	15,9	27,30	23,4	2,22	0,10
	Folyadék fázis	v	-	248	0,21	0,43	0,36	0,04	0,12

3.2.3.4.5 Közvetlen nyíróvizsgálatok

A „D” jelű réteg mintáin készített nyíróvizsgálatok eredményeit a 104. táblázat mutatja.

104. táblázat „D” jelű réteg közvetlen nyíróvizsgálatok eredmények feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elemszám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min	max	μ	δ	Cv
"D" réteg	ϕ'	°	38	17,00	35,50	30,53	3,50	0,11
	ϕ'_{res}	°		16,00	32,50	30,03	3,45	0,11
	c'	kPa		0	23,40	7,43	5,81	0,78
	c'_{res}	kPa		0	16,50	6,11	3,58	0,59
"D" réteg – homok	ϕ'	°	12	27,00	35,50	31,25	2,14	0,07
	ϕ'_{res}	°		27,50	32,50	31,21	1,42	0,05
	c'	kPa		0,90	23,40	10,23	7,70	0,75
	c'_{res}	kPa		2,10	16,50	7,52	4,35	0,58
"D" réteg – iszapos homok	ϕ'	°	10	17,00	32,00	28,05	5,88	0,21
	ϕ'_{res}	°		16,00	31,50	27,35	5,91	0,22
	c'	kPa		0	18,80	7,53	5,61	0,74
	c'_{res}	kPa		2,60	9,30	5,66	2,60	0,46

3.2.3.4.6 Háromtengelyű nyomóvizsgálatok

A „D” jelű réteg mintáiból készített triaxiális vizsgálatok statisztikai paramétereinek összesítését a 105. táblázat mutatja.

105. táblázat „D” jelű réteg triaxiális vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elemszám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
"D" réteg	φ'	°	14	30,20	33,30	32,12	0,86	0,03
	φ'_{res}	°						
	c'	kPa				0		
	c'_{res}	kPa						

3.2.3.4.7 Kompressziós vizsgálatok

A „D” jelű réteg kompressziós vizsgálati eredményeinek összesítését a 106. táblázat mutatja.

106. táblázat „D” jelű réteg kompressziós vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

Réteg	Elem-szám	Min	Max	Átlag Eoed (Mpa)	Szórás	Variációs tényező
	n	min	max	μ	δ	Cv
"D" réteg	37	4,76	23,30	12,86	5,14	0,40

3.2.3.4.8 Vízáteresztő-képességi vizsgálatok

A „D” jelű réteg laboratóriumban meghatározott vízáteresztő-képességi együtthatóinak összesítését a 107. táblázat mutatja.

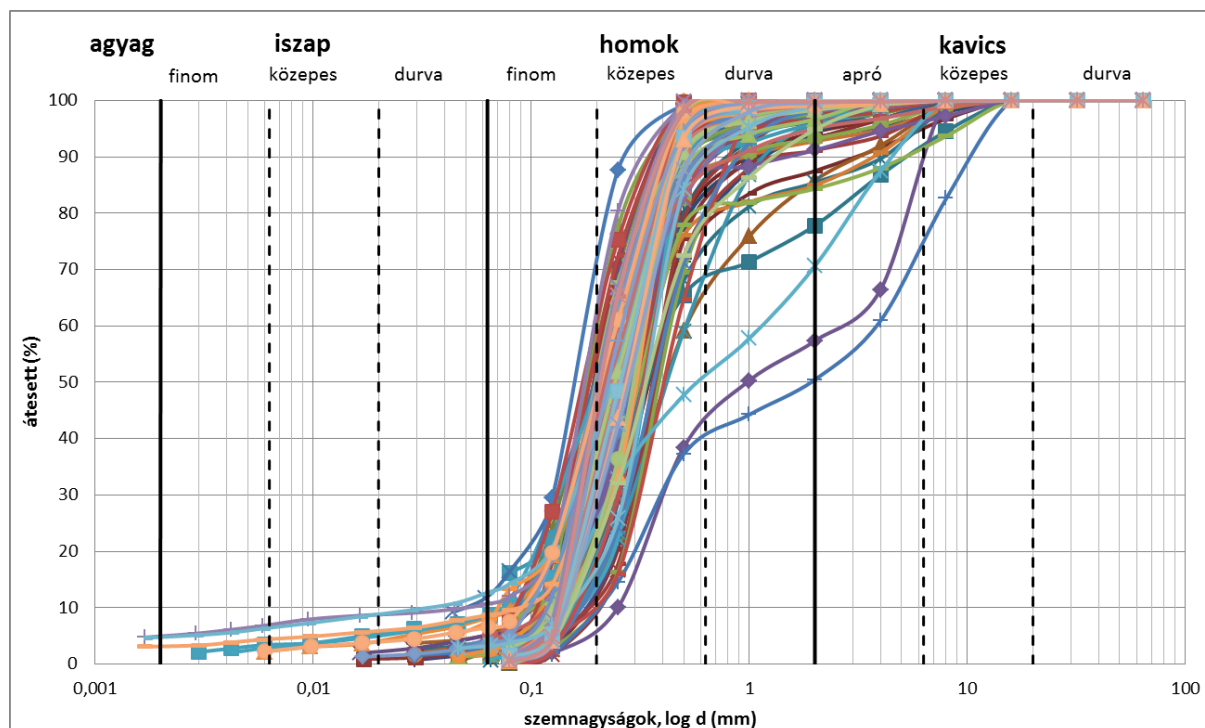
107. táblázat „D” jelű réteg vízáteresztő-képességi vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

Réteg	Réteg megnevezése	Elemszám	Minimum	Maximum
		n	k (m/s)	k (m/s)
„D” réteg	futóhomok	14	7,09E-08	8,67E-05

3.2.3.5 „E” jelű réteg – Öntéshomok

3.2.3.5.1 Azonosító vizsgálatok

Az öntéshomok réteg jellemző szemeloszlási görbéit a 298. ábra, míg a statisztikai feldolgozás eredményeit a 108. táblázat mutatja.



298. ábra Az öntéshomokból készült szemeloszlási vizsgálatok eredményei

108. táblázat „E” réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői

Talajjellemző neve	Jel, mértékegység		Elem-szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	C_v
Kavics frakció	'K'	%	118	0,04	49,54	3,25	7,21	2,22
Homok frakció	'H'	%	149	50,46	100,00	96,34	6,64	0,07
Iszap frakció	'I'	%	35	1,64	12,09	4,26	2,52	0,59
Agyag frakció	'A'	%	3	3,12	4,91	4,27	1,00	0,23
Víz tartalom	w	%	149	1,35	26,58	17,28	3,82	0,22
10%-hoz tartozó szemmagyság	D_{10}	mm	148	0,034	0,25	0,13	0,03	0,21
60%-hoz tartozó szemmagyság	D_{60}	mm	149	0,191	3,82	0,36	0,35	0,97
Egyenlőtlenégi mutató	C_U	-	148	1,76	18,65	2,76	1,69	0,61

3.2.3.5.2 CPTu szondázások

A „E” jelű rétegre összesített CPTu szondázási eredmények a 109. táblázatban láthatók.

109. táblázat „E” jelű réteg CPTu szondázási eredmények feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elem-szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	C_v
"E" réteg	q_c	MPa	10467	5,42	34,0	16,4	4,48	0,27
	R_f	%	10517	0,17	1,35	0,72	0,16	0,22

3.2.3.5.3 SPT és SPT(C) szondázások

A „E” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredményei a 110. táblázatban kerültek összesítésre.

Az összesítésben nem csak a jelen vizsgálat során kapott adatok szerepelnek, hanem az összehasonlíthatóság kedvéért a terület közelében korábban készült archív eredmények is.

110. táblázat „E” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredmények feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elem- szám	Minimum N érték	Maximum N érték	Átlag N érték	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
"E" réteg	SPT	db	18	6	23	13,1	4,7	0,36
	SPT(C)	db	583	5	35	16,0	6,0	0,37
	SPT – archív, FTV	db	45	9	60	32,5	14,0	0,43
	SPT – archív, Fugro	db	15	5	11	7,9	1,4	0,18
	SPT – archív, Arup	db	69	10	80	33,5	14,3	0,43

3.2.3.5.4 Állapotjellemzők

A negyedidőszaki rétegekben geofizikai CPT szondázások eredményei alapján lehetett meghatározni az egyes állapotjellemzőket.

Az „E” réteg eredményeit a 111. táblázat összesíti.

111. táblázat „E” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása GCPT eredmények alapján

Rtg	Jellemző	Jel és mértékegység		Elem- szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
				n	min.	max.	μ	δ	Cv
"E" rtg	Nedves térfogatsűrűség	ρ	g/cm ³	764	1,91	2,03	1,96	0,03	0,01
	Telítettség	S_r	-	793	0,25	1,00	0,98	0,06	0,06
	Hézagterfogat	n	%	793	34,00	45,00	41,20	1,63	0,04
	Hézagtényező	e	-	759	0,62	0,80	0,71	0,04	0,05
	Száraz térfogatsűrűség	ρ_d	g/cm ³	793	1,45	1,74	1,56	0,04	0,03
	Víztartalom	w	%	785	19,50	31,20	26,05	1,99	0,08
	Szilárd fázis	s	-	793	0,55	0,66	0,59	0,02	0,03
	Folyadék fázis	v	-	785	0,32	0,45	0,40	0,02	0,06
Légnemű fázis	l	-	787	0	0,11	0,01	0,02	-	

3.2.3.5.5 Közvetlen nyíróvizsgálatok

Az „E” jelű réteg mintáin készített nyíróvizsgálatok eredményeit a 112. táblázat mutatja.

112. táblázat „E” jelű réteg közvetlen nyíróvizsgálatok eredmények feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elemszám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min	max	μ	δ	C_v
"E" réteg	φ'	°	21	29,00	33,50	31,14	1,03	0,03
	φ'_{res}	°		28,50	32,00	30,79	0,97	0,03
	c'	kPa		1,00	27,40	(8,19)	6,90	0,84
	c'_{res}	kPa		0,60	14,20	(5,38)	3,42	0,64

3.2.3.5.6 Kompressziós vizsgálatok

Az „E” jelű réteg kompressziós vizsgálati eredményeinek összesítését a 113. táblázat mutatja.

113. táblázat „E” jelű réteg kompressziós vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

Réteg	Elem- szám	Min	Max	Átlag E_{oed} (Mpa)	Szórás	Variációs tényező
	n	min	max	μ	δ	C_v
"E" réteg	27	11,76	38,50	27,43	6,83	0,25

3.2.3.5.7 Vízáteresztő-képességi vizsgálatok

Az „E” jelű réteg laboratóriumban meghatározott vízáteresztő-képességi együtthatóinak összesítését a 114. táblázat mutatja.

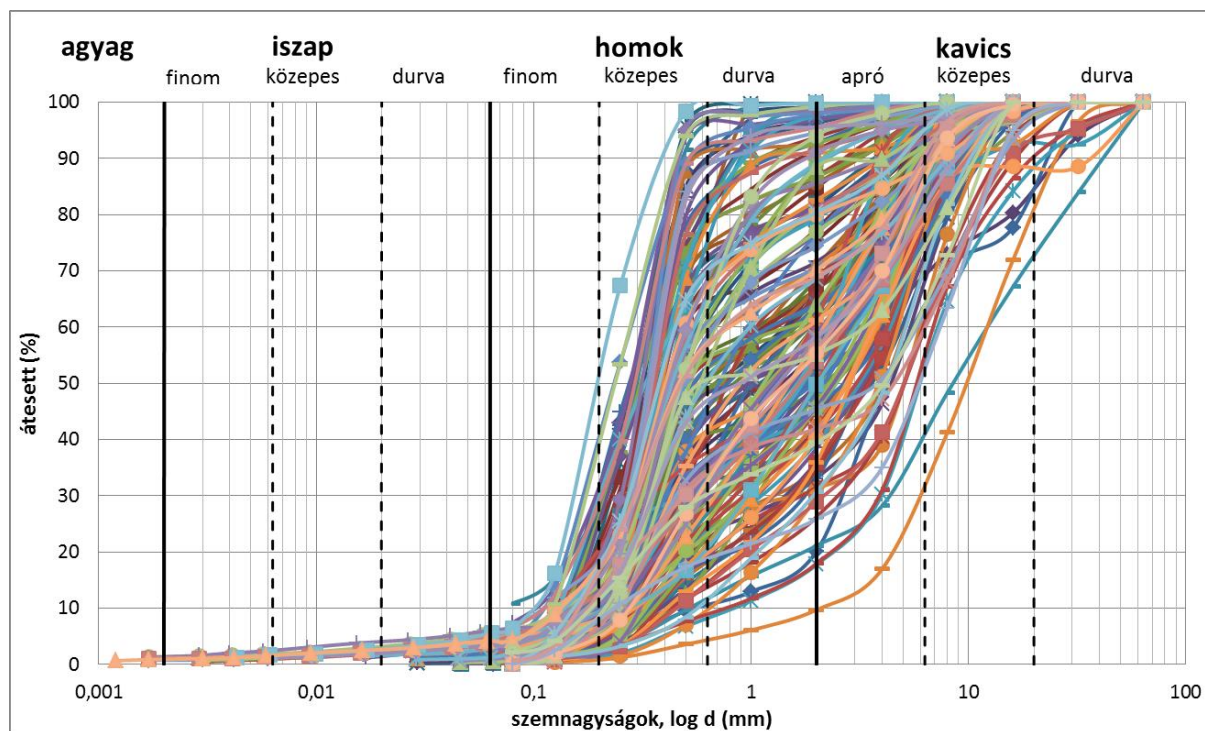
114. táblázat „E” jelű réteg vízáteresztő-képességi vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

Réteg	Réteg megnevezése	Elemszám	Minimum	Maximum
		n	k (m/s)	k (m/s)
„E” réteg	öntéshomok	5	3,09E-05	2,76E-04

3.2.3.6 „F” jelű réteg – Kavicssterasz

3.2.3.6.1 Azonosító vizsgálatok

A kavicssterasz jellemző szemeloszlási görbéit a 299. ábra mutatja, a statisztikai feldolgozás eredményeit a 115. táblázat összesíti.



299. ábra A kavicssteraszból készült szemeloszlási vizsgálatok eredményei

115. táblázat „F” réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői

Talajjellemző neve	Jel, mértékegység	Elem-szám n	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			min.	max.	μ	δ	Cv
Kavics frakció	'K' %	158	0,05	90,27	36,20	21,93	0,61
Homok frakció	'H' %	158	9,73	99,83	63,11	21,48	0,34
Iszap frakció	'T' %	45	0,08	5,16	2,25	1,55	0,69
Agyag frakció	'A' %	7	0,8	1,40	1,09	0,22	0,20
Víztartalom	w %	158	2,7	22,0	10,6	4,2	0,40
10%-hoz tartozó szemmagyság	D ₁₀ mm	157	0,1	2,08	0,25	0,19	0,75
60%-hoz tartozó szemmagyság	D ₆₀ mm	156	0,29	7,47	2,20	1,80	0,82
Egyenlőtlenégi mutató	C _u -	151	2,17	19,77	8,05	4,89	0,61

3.2.3.6.2 CPTu szondázások

Az „F” jelű rétegre összesített CPTu szondázási eredmények a 116. táblázatban láthatók.

116. táblázat „F” jelű réteg CPTu szondázási eredmények feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elem-szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
"F" réteg	q _c	MPa	18709	1,05	69,94	25,21	11,11	0,44
	R _f	%	18831	0,02	1,13	0,39	0,20	0,52

3.2.3.6.3 SPT és SPT(C) szondázások

A „F” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredményei a 117. táblázatban kerültek összesítésre.

Az összesítésben nem csak a jelen vizsgálat során kapott adatok szerepelnek, hanem az összehasonlíthatóság kedvéért a terület közelében korábban készült archív eredmények is.

117. táblázat „F” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredmények feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elem- szám	Minimum N érték	Maximum N érték	Átlag N érték	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
"F" réteg	SPT	db	17	7	40	21,3	9,0	0,43
	SPT(C)	db	917	4	56	19,4	10,9	0,56
	SPT – archív, FTV	db	80	9	62	35,3	13,4	0,38
	SPT – archív, Fugro	db	17	2	35	12,2	10,1	0,83
	SPT – archív, Arup	db	75	10	200	46,1	32,1	0,69

3.2.3.6.4 Állapotjellemzők

A negyedidőszaki rétegekben geofizikai CPT szondázások eredményei alapján lehetett meghatározni az egyes állapotjellemzőket.

Az „F” réteg eredményeit a 118. táblázat összesíti.

118. táblázat „F” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása GCPT eredmények alapján

Rtg	Jellemző		Jel és mértékegység	Elem- szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
				n	min.	max.	μ	δ	Cv
"F" rtg	Nedves térfogatsűrűség	ρ	g/cm^3	727	1,89	2,15	2,02	0,06	0,03
	Telítettség	S_r	-	623	0,91	1,00	0,99	0,01	0,01
	Hézagtérfogat	n	%	623	28,0	48,0	38,29	3,81	0,10
	Hézagtényező	e	-	623	0,39	0,90	0,62	0,10	0,16
	Száraz térfogatsűrűség	ρ_d	g/cm^3	623	1,42	1,91	1,64	0,10	0,06
	Víztartalom	w	%	623	14,1	33,9	23,56	3,77	0,16
	Szilárd fázis	s	-	623	0,52	0,72	0,62	0,04	0,06
	Folyadék fázis	v	-	623	0,27	0,48	0,38	0,04	0,10
	Légnemű fázis	l	-	623	0	0,04	0	0	-

3.2.3.6.5 Kompressziós vizsgálatok

Az „F” jelű réteg kompressziós vizsgálati eredményeinek összesítését a 119. táblázat mutatja.

119. táblázat „F” jelű réteg kompressziós vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

Réteg	Elem- szám	Min	Max	Átlag Eoed (Mpa)	Szórás	Variációs tényező
	n	min	max	μ	δ	Cv
"F" réteg	5	28,60	36,40	33,03	3,38	0,10

3.2.3.6.6 Vizáteresztő-képességi vizsgálatok

Az „F” jelű réteg laboratóriumban meghatározott vízáteresztő-képességi együtthatóinak összesítését a 120. táblázat mutatja.

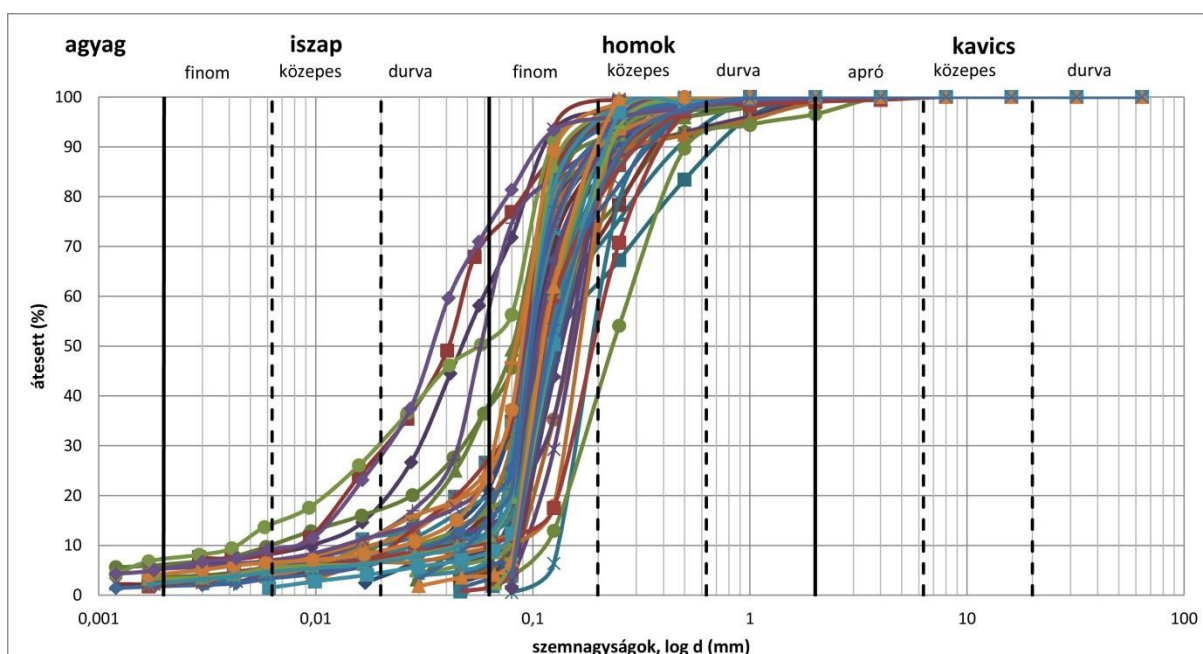
120. táblázat „F” jelű réteg vízáteresztő-képességi vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

Réteg	Réteg megnevezése	Elemszám	Minimum	Maximum
		n	k (m/s)	k (m/s)
„F” réteg	kavicsterasz	2	4,11E-04	6,07E-03

3.2.3.7 Pannon „G” réteg

3.2.3.7.1 Azonosító vizsgálatok

A „G” jelű pannon homokréteg szemeloszlási görbéit az 300. ábra, a statisztikai jellemzőket a 121. táblázat mutatja. A plasztikus határok vizsgálatának statisztikai paramétereit a 122. táblázat tartalmazza.



300. ábra „G” rétegben készült vizsgálatok szemeloszlási görbéi

121. táblázat „G” jelű réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői

Talajjellemző neve	Jel, mértékegység		Elem-szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	C_v
Kavics frakció	'K'	%	14	0,02	3,45	0,67	0,89	1,33
Homok frakció	'H'	%	65	25,89	100,00	85,79	17,34	0,20
Iszap frakció	'I'	%	47	1,67	71,05	18,35	16,72	0,91
Agyag frakció	'A'	%	13	1,79	7,11	4,03	1,77	0,44
Víztartalom	w	%	62	15,1	33,7	26,2	3,59	0,14
10%-hoz tartozó szemmagyság	D_{10}	mm	65	0,004	0,13	0,06	0,03	0,53
60%-hoz tartozó szemmagyság	D_{60}	mm	65	0,041	0,29	0,13	0,04	0,32
Egyenlőtlenégi mutató	C_U	-	65	1,44	9,5	3,1	1,95	0,63

122. táblázat „G” jelű réteg Atterberg-határok vizsgálati eredményeinek statisztikai jellemzői

Talajjellemző neve	Jel és mértékegység		Elem-szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	C_v
Természetes víztart.	w	%	7	22,4	34	28,3	3,8	0,13
Folyási határ	w_L	%		38,6	53,4	45,3	5,6	0,12
Sodrasi határ	w_p	%		25,5	30,9	27,8	2,2	0,08
Plaszticitási index	I_p	-		10,5	26,1	17,5	5,6	0,32
Konzisztenciaindex	I_c	-		0,71	1,13	0,95	0,13	0,14

3.2.3.7.2 CPTu szondázások

A „G” jelű rétegre összesített CPTu szondázási eredmények a 123. táblázatban láthatók.

123. táblázat „G” jelű réteg CPTu szondázási eredmények feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elem-szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	C_v
„G” réteg	q_c	MPa	5868	1,97	48,96	12,25	8,71	0,71
	R_f	%	5868	0,17	12,22	2,96	1,21	0,41

3.2.3.7.3 SPT és SPT(C) szondázások

A „G” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredményei a 124. táblázat kerültek összesítésre.

Az összesítésben nem csak a jelen vizsgálat során kapott adatok szerepelnek, hanem az összehasonlíthatóság kedvéért a terület közelében korábban készült archív eredmények is.

124. táblázat „G” jelű réteg SPT és SPT(C) szondázási eredmények feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elem-szám	Minimum N érték	Maximum N érték	Átlag N érték	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
Pannon felszín	SPT	db	-	-	-	-	-	-
	SPT(C)	db	35	22	179	57,1	35,4	0,62
	SPT – archív, FTV	db	141	33	200	113,3	40,3	0,36
	SPT – archív, Fugro	db	9	28	47	36,4	6,0	0,16
	SPT – archív, Arup	db	103	20	200	121,7	41,5	0,34

3.2.3.7.4 Állapotjellemzők

A „G” jelű pannon réteg állapotjellemzőit zavartalan magminták vizsgálati eredményei alapján a 125. táblázat foglalja össze.

125. táblázat „G” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása magminták alapján

Rtg.	Állapotjellemző	Jel és mértékegység		Elem-szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
				n	min.	max.	μ	σ	Cv
"G" rtg	Nedves térf. súly	γ	kN/m ³	13	18,9	21,6	20,0	0,76	0,04
	Száraz térf. súly	γ_d	kN/m ³	13	14,7	18,7	16,1	1,12	0,07
	Telítettség	S_r	-	13	0,89	1,00	0,98	0,04	0,04
	Hézagterfogat	n	%	13	29,8	44,4	39,3	4,19	0,11
	Hézagtenyező	e	-	13	0,42	0,80	0,65	0,11	0,17
	Víztartalom	w	%	13	15,6	30,0	24,1	3,90	0,16
	Szilárd fázis	s	%	13	55,7	70,2	60,7	4,18	0,07
	Folyadék fázis	v	%	13	29,1	44,3	38,6	4,01	0,10
Légmemű fázis	l	%	13	0,0	4,5	0,7	1,60	-	

3.2.3.7.5 Háromtengelyű nyomóvizsgálatok

A „G” jelű réteg mintáiból készített triaxiális vizsgálatok statisztikai paramétereinek összesítését a 126. táblázat mutatja.

126. táblázat „G” jelű réteg triaxiális vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elem-szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
"G" réteg	φ'	°	10	32,0	46,0	38,0	3,90	0,10
	φ'_{res}	°	5	28,3	41,0	34,4	4,69	0,14
	c'	kPa	10			0		
	c'_{res}	kPa	5			0		

3.2.3.7.6 Vizáteresztő-képességi vizsgálatok

A „G” jelű réteg laboratóriumban meghatározott vízáteresztő-képességi együtthatóinak összesítését a 127. táblázat mutatja.

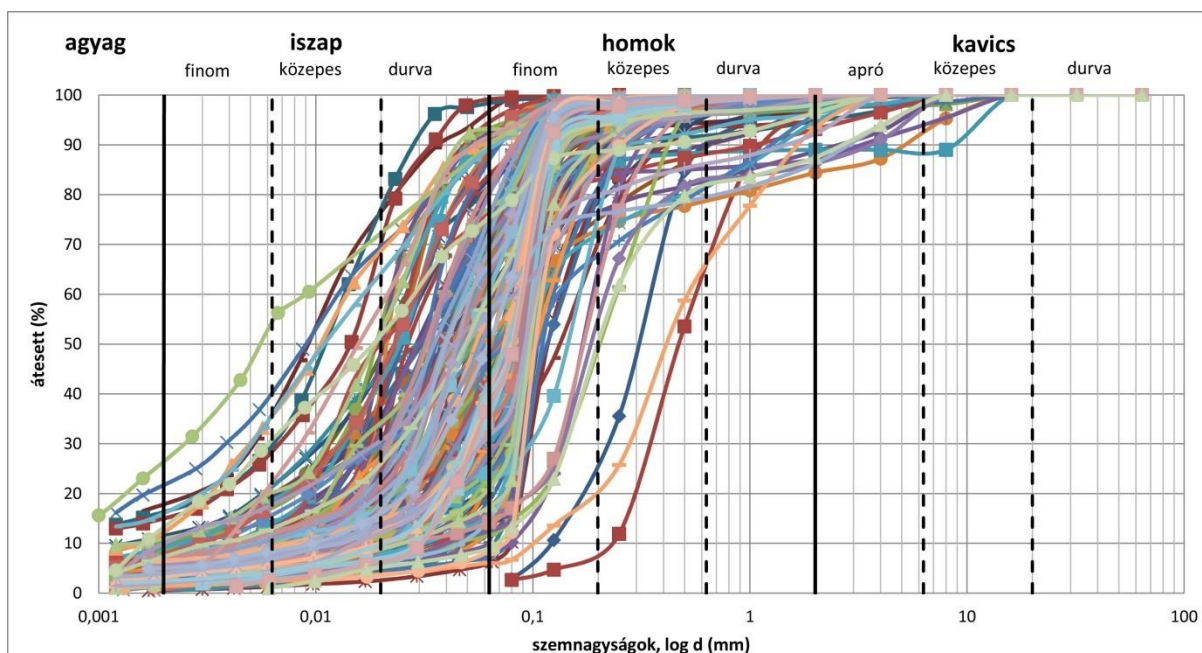
127. táblázat „G” jelű réteg vízáteresztő-képességi vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

Réteg	Réteg megnevezése	Elem-szám	Minimum	Maximum
		n	k (m/s)	k (m/s)
„G” réteg	Pannon „G”	2	5,77E-10	2,37E-06

3.2.3.8 Pannon „H” réteg

3.2.3.8.1 Azonosító vizsgálatok

A szemeloszlási görbéket a 301. ábra, a statisztikai jellemzőket a 128. táblázat mutatja. A plasztikus határok vizsgálatának statisztikai paramétereit a 129. táblázat tartalmazza.



301. ábra „H” rétegben készült vizsgálatok szemeloszlási görbéi

128. táblázat „H” jelű réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői

Talajjellemző neve	Jel, mértékegység		Elem-szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	C_v
Kavics frakció	'K'	%	60	0,02	15,6	2,81	4,22	-
Homok frakció	'H'	%	177	1,38	98,5	50,2	25,6	0,51
Izap frakció	'I'	%	175	4,64	93,8	45,7	23,3	0,51
Agyag frakció	'A'	%	110	0,54	25,97	5,88	4,19	0,71
Víztartalom	w	%	177	8,93	33,9	24,9	4,22	0,17
10%-hoz tartozó szemmagyság	D_{10}	mm	172		0,22	0,02	0,02	
60%-hoz tartozó szemmagyság	D_{60}	mm	177	0,009	0,60	0,09	0,07	0,80
Egyenlőtlenégi mutató	C_U	-	172	1,64	18,4	6,7	3,6	0,54

129. táblázat „H” jelű réteg Atterberg-határok vizsgálati eredményeinek statisztikai jellemzői

Talajjellemző neve	Jel és mértékegység		Elem- szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	C_v
Természetes víztart.	w	%	112	11,9	36,6	26,7	4,1	0,15
Folyási határ	w _L	%		35,7	69,3	52,3	6,80	0,13
Sodrési határ	w _p	%		18,7	32,7	25,1	2,85	0,11
Plaszticitási index	I _p	-		12,2	43,3	27,3	6,77	0,25
Konzisztenciaindex	I _c	-		0,56	1,53	0,86	0,61	0,71

3.2.3.8.2 CPTu szondázások

A „H” jelű rétegre összesített CPTu szondázási eredmények a 130. táblázatban láthatók.

130. táblázat „H” jelű réteg CPTu szondázási eredmények feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elem- szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	C_v
„H” réteg	q _c	MPa	10508	1,50	59,64	16,09	11,13	0,69
	R _f	%	10508	0,26	18,09	3,12	1,24	0,40

3.2.3.8.3 Állapotjellemzők

A „H” jelű pannon réteg állapotjellemzőit zavartalan magminták vizsgálati eredményei alapján a 131. táblázat foglalja össze.

131. táblázat „H” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása magminták alapján

Rtg.	Állapotjellemző	Jel és mértékegység		Elem- szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
				n	min.	max.	μ	σ	C_v
„H” rtg	Nedves térf. súly	γ	kN/m ³	84	18,8	22,7	20,1	0,62	0,03
	Száraz térf. súly	γ_d	kN/m ³	84	14,4	19,8	16,0	0,94	0,06
	Telítettség	S _r	-	84	0,89	1,00	0,99	0,02	0,02
	Hézagterefogat	n	%	84	29,3	47,6	40,7	3,78	0,09
	Hézagtenyező	e	-	84	0,42	0,91	0,69	0,11	0,15
	Víztartalom	w	%	84	14,8	33,0	25,4	3,60	0,14
	Szilárd fázis	s	%	84	52,4	70,7	59,3	3,79	0,06
	Folyadék fázis	v	%	84	29,3	47,6	40,4	3,68	0,09
Légnemű fázis	l	%	84	0,0	4,9	0,3	0,81	-	

3.2.3.8.4 Háromtengelyű nyomóvizsgálatok

A „H” jelű réteg mintáiból készített triaxiális vizsgálatok statisztikai paramétereinek összesítését a 132. táblázat mutatja.

132. táblázat „H” jelű réteg triaxiális vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elemszám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
"H" réteg	φ'	°	55	3,00	45,60	23,51	13,57	0,58
	φ'_{res}	°	21	6,00	40,40	30,12	9,01	0,30
	c'	kPa	53	0	200,00	27,45	45,48	-
	c'_{res}	kPa	21	0	190,00	12,86	43,38	-

3.2.3.8.5 Kompressziós vizsgálatok

A „H” jelű réteg kompressziós vizsgálati eredményeinek összesítését az 133. táblázat mutatja.

133. táblázat „H” jelű réteg kompressziós vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

Réteg	Elem- szám	Min	Max	Átlag Eoed (Mpa)	Szórás	Variációs tényező
	n	min	max	μ	δ	Cv
"H" réteg	14	10,0	50,0	32,0	14,1	0,44

3.2.3.8.6 Vizáteresztő-képességi vizsgálatok

A „H” jelű réteg laboratóriumban meghatározott vízáteresztő-képességi együtthatóinak összesítését az 134. táblázat mutatja.

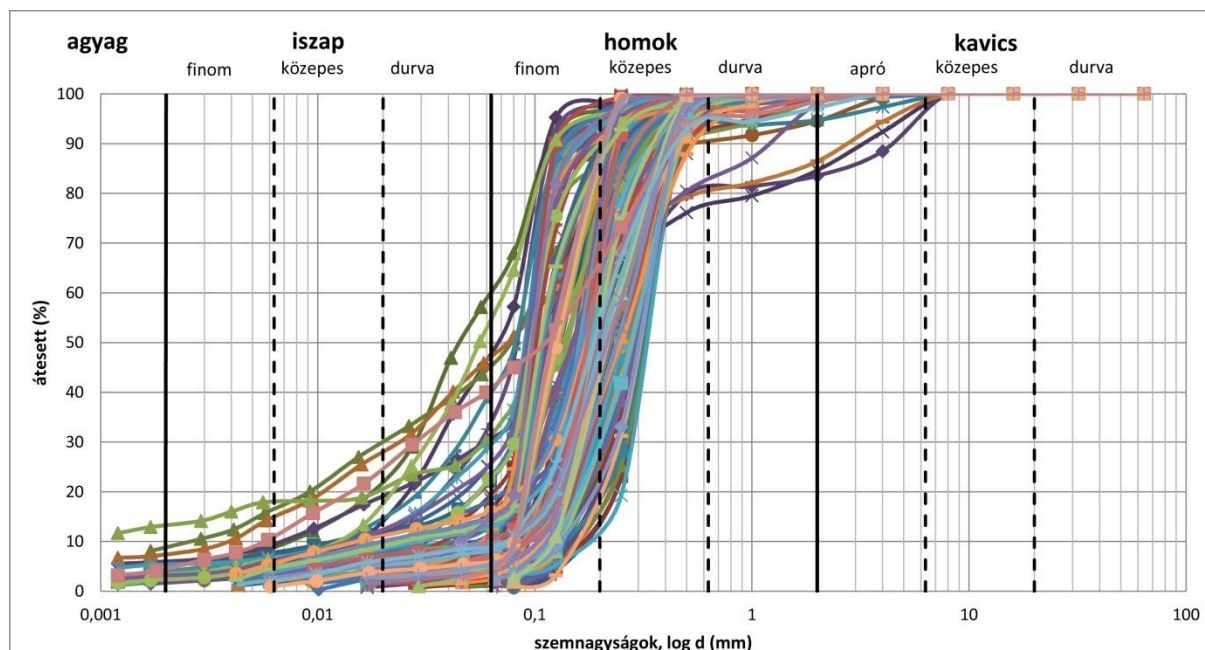
134. táblázat „H” jelű réteg vízáteresztő-képességi vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

Réteg	Réteg megnevezése	Elemszám	Minimum	Maximum
		n	k (m/s)	k (m/s)
„H” réteg	Pannon „H”	12	1,87E-09	3,94E-07

3.2.3.9 Pannon „I” réteg

3.2.3.9.1 Azonosító vizsgálatok

Az „I” jelű pannon réteg szemeloszlási görbéit a 302. ábra, a statisztikai jellemzőket az 135. táblázat mutatja. A plasztikus határok vizsgálatának statisztikai paramétereit az 136. táblázat tartalmazza.



302. ábra „I” rétegben készült vizsgálatok szemeloszlási görbéi

135. táblázat „I” jelű réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői

Talajjellemző neve	Jel, mértékegység		Elem-	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			szám					
			n	min.	max.	μ	δ	C_v
Kavics frakció	'K'	%	44	0,02	16,5	1,73	3,86	-
Homok frakció	'H'	%	149	39,9	100,0	91,0	12,1	0,13
Iszap frakció	'I'	%	103	1,1	56,17	11,46	10,95	-
Agyag frakció	'A'	%	19	1,66	13,27	4,50	2,83	0,63
Víztartalom	w	%	149	10,1	32,13	23,5	3,27	0,14
10%-hoz tartozó szemmagyság	D_{10}	mm	148	0,003	0,17	0,08	0,04	0,49
60%-hoz tartozó szemmagyság	D_{60}	mm	149	0,063	0,38	0,21	0,08	0,39
Egyenlőtlenégi mutató	C_U	-	148	1,36	13,3	2,99	1,85	0,62

136. táblázat „I” jelű réteg Atterberg-határok vizsgálati eredményeinek statisztikai jellemzői

Fúrás jele	Minta mélysége	Víztartalom w (%)	Folyási határ, w_L (%)	Sodrásí határ, w_p (%)	Plaszticitási index, I_p (%)	Konzisztencia-index, I_c (-)
I-2-C	45,3	21,69	52,2	26,6	25,5	1,194
I-4-C	42,5-42,9	25,75	57,6	27,2	30,4	1,046
I-6-D	55,05	22,56	57	26,6	30,4	1,131
II-6-D	56,3	23,95	50,4	21,4	29	0,912

3.2.3.9.2 Állapotjellemzők

Az „I” jelű pannon réteg állapotjellemzőit zavartalan magminták vizsgálati eredményei alapján az 137. táblázat foglalja össze.

137. táblázat „I” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása magminták alapján

Rtg.	Állapotjellemző	Jel és mértékegység		Elem-szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
				n	min.	max.	μ	σ	Cv
"I" réteg	Nedves térf. súly	γ	kN/m ³	32	18,5	21,7	20,1	0,83	0,04
	Száraz térf. súly	γ_d	kN/m ³	32	14,4	18,8	16,3	1,26	0,08
	Telítettség	S_r	-	32	0,90	1,00	0,99	0,03	0,03
	Hézagterfogat	n	%	32	29,0	45,8	38,5	4,84	0,13
	Hézagtenyező	e	-	32	0,41	0,85	0,64	0,13	0,20
	Víztartalom	w	%	32	15,4	30,8	23,5	4,40	0,19
	Szilárd fázis	s	%	32	54,2	71,0	61,5	4,84	0,08
	Folyadék fázis	v	%	32	29,0	44,9	37,9	4,42	0,12
Légnemű fázis	l	%	32	0,0	4,5	0,6	1,25	-	

3.2.3.9.3 Háromtengelyű nyomóvizsgálatok

Az „I” jelű réteg mintáiból készített triaxiális vizsgálatok statisztikai paramétereinek összesítését az 138. táblázat mutatja.

138. táblázat „I” jelű réteg triaxiális vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elem-szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
"I" réteg	φ'	°	20	27,00	45,00	35,46	4,83	0,14
	φ'_{res}	°	11	29,60	38,00	33,92	2,27	0,07
	c'	kPa	19			0		
	c'_{res}	kPa	11			0		

3.2.3.9.4 Kompressziós vizsgálatok

Az „I” jelű réteg kompressziós vizsgálati eredményeinek összesítését az 139. táblázat mutatja.

139. táblázat „I” jelű réteg kompressziós vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

Réteg	Elem-szám	Min	Max	Átlag Eoed (Mpa)	Szórás	Variációs tényező
	n	min	max	μ	δ	Cv
"I" réteg	8	40,0	100,0	66,3	23,7	0,36

3.2.3.10 Pannon „J” réteg

3.2.3.10.1 Azonosító vizsgálatok

A „J” réteg mintáin készített Atterberg-határok vizsgálati eredmények statisztikai paramétereit az 140. táblázat tartalmazza.

140. táblázat „J” jelű réteg Atterberg-határok vizsgálati eredményeinek statisztikai jellemzői

Talajjellemző neve	Jel és mértékegység		Elem- szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	C_v
Természetes víztart.	w	%	17	18,3	32,4	25,9	4,08	0,16
Folyási határ	w _L	%		49,6	66,40	58,33	4,92	0,08
Sodrásí határ	w _p	%		21,8	34,00	27,36	3,54	0,13
Plaszticitási index	I _p	-		23,6	39,60	30,96	4,83	0,16
Konzisztenciaindex	I _c	-		0,95	1,25	1,08	0,09	0,08

3.2.3.10.2 Állapotjellemzők

A „J” jelű pannon réteg állapotjellemzőit zavartalan magminták vizsgálati eredményei alapján az 141. táblázat foglalja össze.

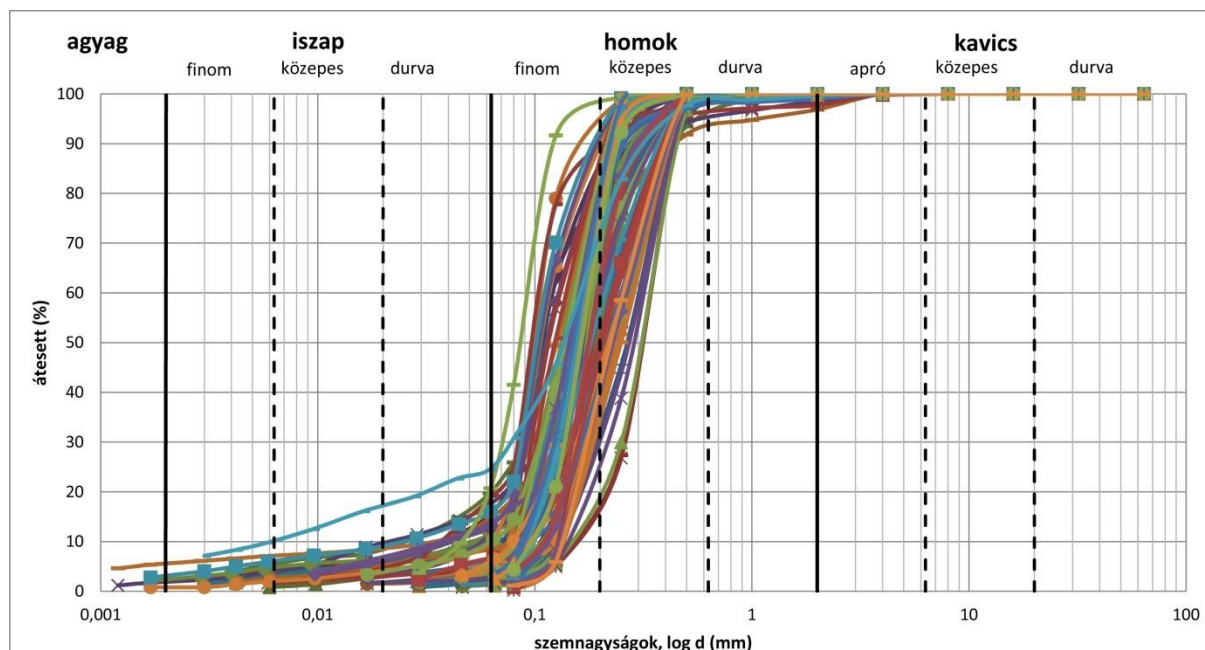
141. táblázat „J” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása magminták alapján

Rtg.	Állapotjellemző	Jel és mértékegység		Elem- szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
				n	min.	max.	μ	σ	C_v
„J” rtg	Nedves térf. súly	γ	kN/m ³	8	19,6	21,5	20,7	0,79	0,04
	Száraz térf. súly	γ_d	kN/m ³	8	15,3	18,1	17,0	1,17	0,07
	Telítettség	S _r	-	8	0,99	1,00	1,00	0	0
	Hézagterfogát	n	%	8	33,2	43,4	36,9	4,02	0,11
	Hézagtenyező	e	-	8	0,50	0,77	0,59	0,10	0,18
	Víztartalom	w	%	8	18,7	28,3	21,9	4,07	0,19
	Szilárd fázis	s	%	8	56,6	66,8	63,1	4,02	0,06
	Folyadék fázis	v	%	8	33,1	43,3	36,8	4,03	0,11
Légnemű fázis	l	%	8	0,0	0,3	0,1	0,11	-	

3.2.3.11 Pannon „K” réteg

3.2.3.11.1 Azonosító vizsgálatok

A „K” jelű pannon homokréteg szemeloszlási görbét a 303. ábra, a görbék statisztikai jellemzőit az 142. táblázat mutatja.



303. ábra „K” rétegben készült vizsgálatok szemeloszlási görbéi

142. táblázat „K” jelű réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői

Talajjellemző neve	Jel, mértékegység		Elem-szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	C_v
Kavics frakció	'K'	%	17	0,05	3,14	0,66	0,87	-
Homok frakció	'H'	%	89	74,66	100,00	95,11	6,06	0,06
Iszap frakció	'I'	%	53	1,53	24,95	7,74	5,54	0,72
Agyag frakció	'A'	%	5	0,83	5,54	2,73	1,77	0,65
Víztartalom	w	%	89	17,0	29,6	24,4	2,2	0,09
10%-hoz tartozó szemmagyság	D_{10}	mm	89	0,006	0,15	0,09	0,03	0,35
60%-hoz tartozó szemmagyság	D_{60}	mm	89	0,097	0,37	0,21	0,06	0,28
Egyenlőtlenégi mutató	C_U	-	89	1,53	8,18	2,53	1,16	0,46

3.2.3.11.2 Állapotjellemzők

A „K” jelű pannon réteg állapotjellemzőit zavartalan magminták vizsgálati eredményei alapján a 143. táblázat foglalja össze.

143. táblázat „K” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása magminták alapján

Rtg.	Állapotjellemző	Jel és mértékegység		Elem-szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
				n	min.	max.	μ	σ	C_v
"K" réteg	Nedves térf. súly	γ	kN/m^3	6	18,9	21,0	20,2	0,78	0,04
	Száraz térf. súly	γ_d	kN/m^3	6	15,0	17,7	16,5	1,05	0,06
	Telítettség	S_r	-	6	0,90	1,00	0,98	0,04	0,04
	Hézagterfogat	n	%	6	33,3	43,5	37,7	3,94	0,10
	Hézagtenyező	e	-	6	0,50	0,77	0,61	0,10	0,17

Rtg.	Állapotjellemező	Jel és mértékegység		Elem- szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
				n	min.	max.	μ	σ	Cv
	Víztartalom	w	%	6	18,8	26,1	22,5	3,12	0,14
	Szilárd fázis	s	%	6	56,5	66,7	62,3	3,94	0,06
	Folyadék fázis	v	%	6	33,3	40,7	37,0	2,92	0,08
	Légnemű fázis	l	%	6	0,0	4,4	0,7	1,80	-

3.2.3.12 Pannon „L” réteg

3.2.3.12.1 Azonosító vizsgálatok

Az „L” jelű pannon agyag plasztikus határok vizsgálatának jellemző értékeit a 144. táblázat mutatja.

144. táblázat „L” jelű réteg Atterberg-határ vizsgálati eredményeinek statisztikai jellemzői

Talajjellemező neve	Jel és mértékegység		Elem- szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
Természetes víztart.	w	%	16	16,9	31,97	22,11	3,82	0,17
Folyási határ	w _L	%		49	74,90	61,31	7,50	0,12
Sodrasi határ	w _p	%		22,8	35,20	27,09	3,29	0,12
Plaszticitási index	I _p	-		20,1	44,20	34,21	6,83	0,20
Konzisztenciaindex	I _c	-		0,968	1,33	1,16	0,11	0,09

3.2.3.12.2 Állapotjellemezők

Az „L” jelű pannon réteg állapotjellemezőit zavartalan magminták vizsgálati eredményei alapján a 145. táblázat foglalja össze.

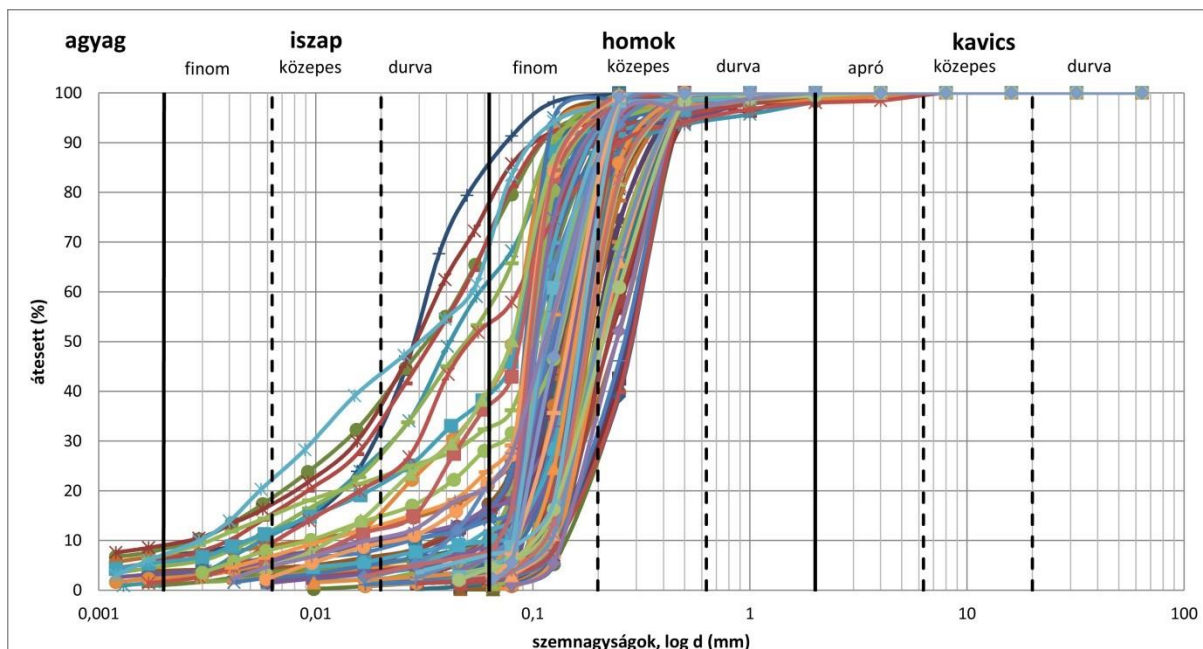
145. táblázat „L” jelű réteg állapotjellemezőinek feldolgozása magminták alapján

Rtg.	Állapotjellemező	Jel és mértékegység		Elem- szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
				n	min.	max.	μ	σ	Cv
"L" rtg	Nedves térf. súly	γ	kN/m ³	6	20,1	21,8	21,2	0,64	0,03
	Száraz térf. súly	γ_d	kN/m ³	6	15,9	18,4	17,7	0,96	0,05
	Telítettség	S _r	-	6	0,99	1,00	1,00	0	0
	Hézagterfogat	n	%	6	32,0	42,3	35,3	3,65	0,10
	Hézagtenyező	e	-	6	0,47	0,73	0,55	0,09	0,17
	Víztartalom	w	%	6	17,4	26,6	20,1	3,36	0,17
	Szilárd fázis	s	%	6	57,7	68,1	64,7	3,68	0,06
	Folyadék fázis	v	%	6	32,0	42,3	35,2	3,70	0,10
	Légnemű fázis	l	%	6	0,0	0,4	0,1	0,16	-

3.2.3.13 Pannon „M” réteg

3.2.3.13.1 Azonosító vizsgálatok

Az „M” jelű réteg szemeloszlási görbéit a 304. ábra, míg a statisztikai feldolgozás eredményeit a 146. táblázat mutatja.



304. ábra „M” rétegben készült vizsgálatok szemeloszlási görbéi

146. táblázat „M” jelű réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői

Talajjellemző neve	Jel, mértékegység		Elem-	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			szám					
			n	min.	max.	μ	δ	C_v
Kavics frakció	'K'	%	24	0,02	1,98	0,59	0,56	(0,95)
Homok frakció	'H'	%	140	15,37	100,00	90,35	16,98	0,19
Iszap frakció	'I'	%	105	0,15	77,87	11,95	16,84	(1,41)
Agyag frakció	'A'	%	17	1,01	9,04	4,83	2,44	0,50
Víztartalom	w	%	140	16,3	33,45	26,30	2,63	0,10
10%-hoz tartozó szemmagyság	D_{10}	mm	140	0,003	0,14	0,08	0,04	0,46
60%-hoz tartozó szemmagyság	D_{60}	mm	140	0,033	0,34	0,17	0,06	0,38
Egyenlőtlenégi mutató	C_U	-	140	1,31	9,91	2,39	1,51	0,63

3.2.3.13.2 Állapotjellemzők

Az „M” jelű pannon réteg állapotjellemzőit zavartalan magminták vizsgálati eredményei alapján a 147. táblázat foglalja össze.

147. táblázat „M” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása magminták alapján

Rtg.	Állapotjellemző	Jel és mértékegység		Elem-szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
				n	min.	max.	μ	σ	Cv
"M" rtg	Nedves térf. súly	γ	kN/m ³	29	19,0	22,2	20,1	0,70	0,03
	Száraz térf. súly	γ_d	kN/m ³	29	14,7	19,3	16,3	1,03	0,06
	Telítettség	S_r	-	29	0,96	1,00	1,00	0,01	0,01
	Hézagterfogat	n	%	29	28,3	44,5	38,8	3,58	0,09
	Hézagtényező	e	-	29	0,40	0,80	0,64	0,09	0,14
	Víztartalom	w	%	29	14,6	29,4	24,0	3,44	0,14
	Szilárd fázis	s	%	29	55,5	71,7	61,2	3,58	0,06
	Folyadék fázis	v	%	29	28,2	43,8	38,6	3,44	0,09
Légnemű fázis	l	%	29	0,0	1,9	0,2	0,44	-	

3.2.3.13.3 Háromtengelyű nyomóvizsgálatok

Az „M” jelű réteg mintáiból készített triaxiális vizsgálatok statisztikai paramétereinek összesítését a 148. táblázat mutatja.

148. táblázat „M” jelű réteg triaxiális vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

Rtg.	Jellemző és mértékegység		Elemszám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	Cv
"M" réteg	φ'	°	20	23	39,7	34,5	4,6	0,13
	φ'_{res}	°	17	17	45	32,0	6,0	0,19
	c'	kPa	3	15	430	188,3	215,8	-
	c'_{res}	kPa	2	15	430	222,5	293,5	-

3.2.3.13.4 Vizáteresztő-képességi vizsgálatok

Az „M” jelű réteg laboratóriumban meghatározott vizáteresztő-képességi együtthatóinak összesítését a 149. táblázat mutatja.

149. táblázat „M” jelű réteg vizáteresztő-képességi vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

Réteg	Réteg megnevezése	Elemszám	Minimum	Maximum
		n	k (m/s)	k (m/s)
„M” réteg	Pannon „M”	2	3,51E-07	2,11E-06

3.2.3.14 Pannon „N” réteg

3.2.3.14.1 Azonosító vizsgálatok

Az „N” jelű agyagréteg Atterberg-határok vizsgálati eredményeinek statisztikai értékelését a 150. táblázat mutatja.

150. táblázat „N” jelű réteg Atterberg-határ vizsgálati eredményeinek statisztikai jellemzői

Talajjellemző neve	Jel és mértékegység		Elem- szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	C_v
Természetes víztart.	w	%	21	12,94	28,13	22,13	4,22	0,19
Folyási határ	w _L	%		52,1	80,20	62,42	7,17	0,11
Sodrás határ	w _p	%		22,5	37,80	27,30	3,65	0,13
Plaszticitási index	I _p	-		24,8	48,80	35,12	5,84	0,17
Konzisztenciaindex	I _c	-		0,946	1,58	1,16	0,15	0,13

3.2.3.14.2 Állapotjellemzők

Az „N” jelű pannon réteg állapotjellemzőit zavartalan magminták vizsgálati eredményei alapján a 151. táblázat foglalja össze.

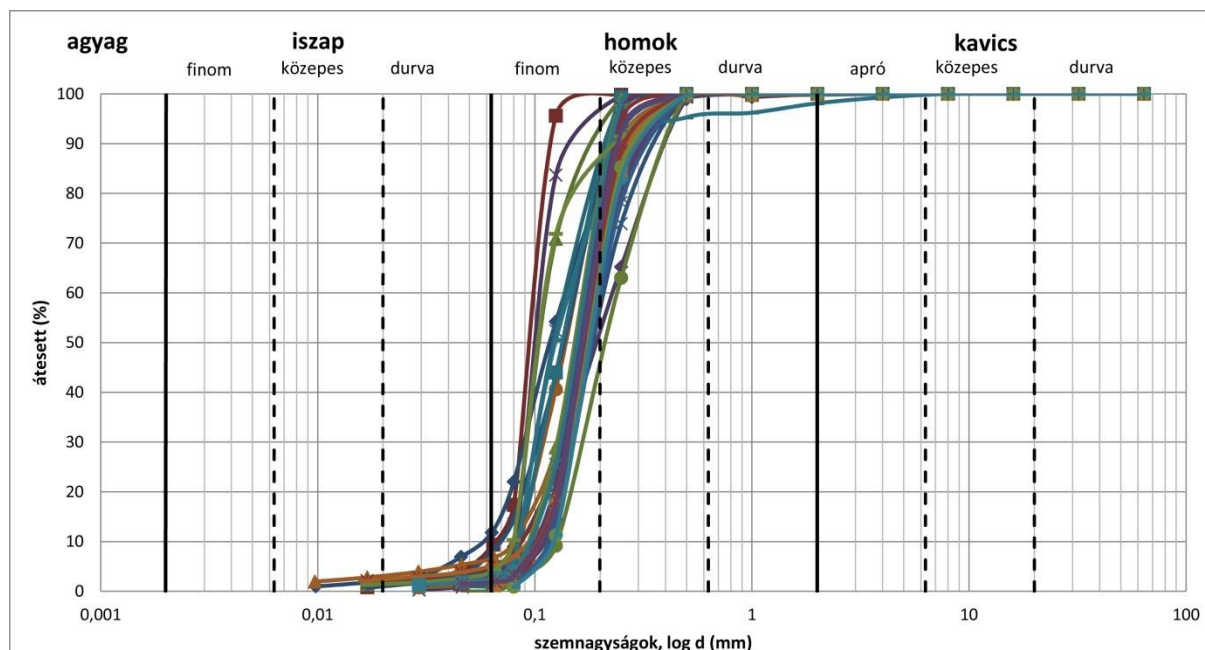
151. táblázat „N” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása magminták alapján

Rtg.	Állapotjellemző	Jel és mértékegység		Elem- szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
				n	min.	max.	μ	σ	C_v
"N" rtg	Nedves térf. súly	γ	kN/m ³	8	20,2	22,3	21,4	0,80	0,04
	Száraz térf. súly	γ_d	kN/m ³	8	16,4	19,6	18,1	1,20	0,07
	Telítettség	S _r	-	8	0,99	1,00	1,00	0,01	0,01
	Hézagterfogat	n	%	8	27,3	38,0	32,6	3,96	0,12
	Hézagtényező	e	-	8	0,38	0,61	0,49	0,09	0,18
	Víztartalom	w	%	8	13,8	23,0	18,1	3,36	0,19
	Szilárd fázis	s	%	8	62,0	72,7	67,4	3,96	0,06
	Folyadék fázis	v	%	8	27,1	37,8	32,5	3,90	0,12
Légnemű fázis	l	%	8	0,0	0,3	0,1	0,14	-	

3.2.3.15 Pannon „O” réteg

3.2.3.15.1 Azonosító vizsgálatok

Az „O” jelű réteg szemeloszlási görbéit a 305. ábra, míg a statisztikai jellemzőket a 152. táblázat mutatja.



305. ábra „O” rétegben készült vizsgálatok szemeloszlási görbéi

152. táblázat „O” jelű réteg szemeloszlásának statisztikai jellemzői

Talajjellemző neve	Jel, mértékegység		Elem-szám	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min.	max.	μ	δ	C_v
Kavics frakció	'K'	%	2	0,16	1,88	1,02	1,22	1,19
Homok frakció	'H'	%	34	88,3	100,0	97,2	2,87	0,03
Iszap frakció	'I'	%	24	0,19	11,72	3,83	2,67	0,70
Agyag frakció	'A'	%	-	-	-	-	-	-
Víztartalom	w	%	34	0,057	0,13	0,09	0,02	0,16
10%-hoz tartozó szemmagyság	D_{10}	mm	34	0,105	0,24	0,18	0,03	0,19
60%-hoz tartozó szemmagyság	D_{60}	mm	34	19,9	29,2	25,7	2,28	0,09
Egyenlőtlenégi mutató	C_u	-	34	1,35	2,69	1,97	0,29	0,15

3.2.3.15.2 Állapotjellemzők

Az „O” jelű pannon réteg állapotjellemzőit zavartalan magminták vizsgálati eredményei alapján a 153. táblázat foglalja össze.

153. táblázat „O” jelű réteg állapotjellemzőinek feldolgozása magminták alapján

Rtg.	Állapotjellemző	Jel és mértékegység		Elem-szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
				n	min.	max.	μ	σ	C_v
"O" rtg	Nedves térf. súly	γ	kN/m^3	4	18,7	20,5	19,4	0,83	0,04
	Száraz térf. súly	γ_d	kN/m^3	4	14,1	16,8	15,3	1,24	0,08
	Telítettség	S_r	-	4	0,90	1,00	0,96	0,05	0,05
	Hézagterfogat	n	%	4	36,6	46,9	42,3	4,67	0,11
	Hézagtenyező	e	-	4	0,58	0,88	0,74	0,14	0,19

Rtg.	Állapotjellemező	Jel és mértékegység		Elem- szám	Min	Max	Átlag	Szórás	Variációs tényező
				n	min.	max.	μ	σ	Cv
	Víztartalom	w	%	4	21,8	33,3	26,7	5,39	0,20
	Szilárd fázis	s	%	4	53,1	63,4	57,7	4,68	0,08
	Folyadék fázis	v	%	4	36,3	46,9	40,4	5,02	0,12
	Légnemű fázis	l	%	4	0,0	4,1	1,9	2,16	-

3.2.4 A földrengés-veszélyeztetettség meghatározásához szükséges geotechnikai talajparaméterek

A szeizmológiai és talajfolyósodási vizsgálatok fontos bemenő adatai a talajrétegek dinamikus geotechnikai paraméterei.

A dinamikus vizsgálatok során kerültek meghatározásra a talajrétegek maximális nyírási modulusai valamint a ciklikus szilárdsági és leromlási görbéi.

3.2.4.1 Vizsgált minták

A dinamikus mérések összesen 22 db – különböző peremfeltétel mellett vizsgált – mintán készültek. Az egyes minták típusát, helyét valamint a mérések során alkalmazott cellanyomásokat a 154. táblázat összesíti.

154. táblázat Dinamikus mérések során vizsgált minták összesítése

#	Talajtípus	Fúrás / minta mélysége	Cellanyomás	Vizsgálat célja
01	iszapos homok	III-6-D / 7,5 m	50 kPa	általános rétegsor vizsgálata
02	iszapos homok	III-6-D / 7,5 m	80 kPa	általános rétegsor vizsgálata
03	futóhomok	3. sz. típusomok	80 kPa	általános rétegsor vizsgálata
04	futóhomok	3. sz. típusomok	80 kPa	általános rétegsor vizsgálata
05	futóhomok	3. sz. típusomok	160 kPa	általános rétegsor vizsgálata
06	futóhomok	3. sz. típusomok	160 kPa	általános rétegsor vizsgálata
07	öntéshomok	7. sz. típusomok	80 kPa	általános rétegsor vizsgálata
08	öntéshomok	7. sz. típusomok	160 kPa	általános rétegsor vizsgálata
09	öntéshomok	7. sz. típusomok	160 kPa	általános rétegsor vizsgálata
10	kavicsos homok	III-6-D / 15,5 m	160 kPa	általános rétegsor vizsgálata
11	kavicsos homok	III-6-D / 15,5 m	250 kPa	általános rétegsor vizsgálata
12	pannon homok cementált	-	180kPa	általános rétegsor vizsgálata
13	pannon homok	-	100 kPa	általános rétegsor vizsgálata
14	iszapos homok	III-6-D / 7,5 m	130 kPa	crosshole összevetés
15	homok	III-6-D / 11,5 m	180 kPa	crosshole összevetés
16	homok	III-6-D / 15,5 m	220 kPa	crosshole összevetés
17	iszapos homok	IV-6-D / 3,5 m	50 kPa	crosshole összevetés
18	iszapos homok	IV-6-D / 9,5 m	160 kPa	crosshole összevetés
19	pannon homok	-	200 kPa	általános rétegsor vizsgálata
20	pannon homok	-	300 kPa	általános rétegsor vizsgálata
21	futóhomok (száraz)	3. sz. típusomok	80 kPa	általános rétegsor vizsgálata
22	futóhomok (száraz)	7. sz. típusomok	160 kPa	általános rétegsor vizsgálata

3.2.4.2 Ciklikus szilárdság/teherbírás görbék

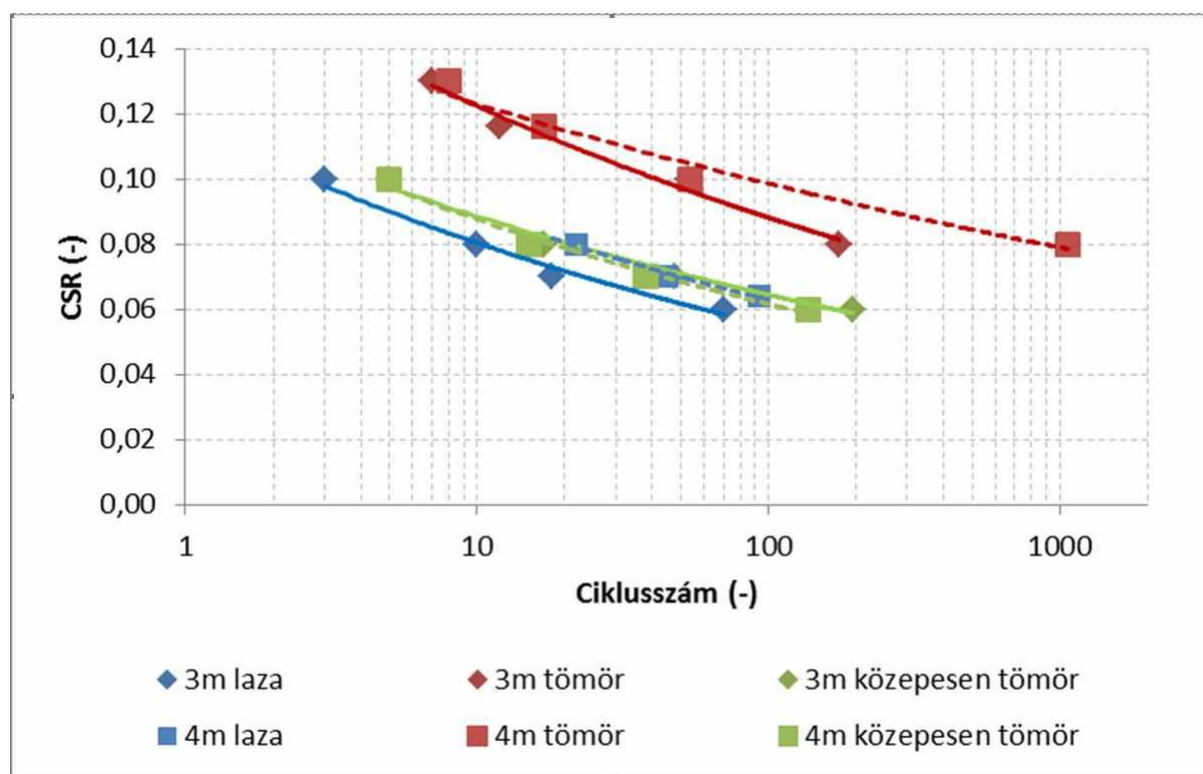
A talajfolyósodás vizsgálat eredményét leggyakrabban az ún. ciklikus szilárdság/teherbírás görbével (cyclic strength curve) jellemzik, amely a ciklikus feszültség arány (CSR) és a megfolyósodásig eltelt ciklusszám közötti összefüggést mutatja be.

A szakirodalom alapján a ciklikus ellenállás arány (CRR; a CSR azon értéke mellynél adott ciklusszám mellett bekövetkezik a megfolyósodás) és a ciklusszám között hatványos összefüggés vehető fel, így ennek megfelelően trendvonal volt illeszthető a kapott mérési pontokra.

A mérések a megfolyósodás szempontjából veszélyesnek ítélt futóhomok és öntéshomok mintáin készültek.

3.2.4.2.1 „D” jelű réteg - Futóhomok

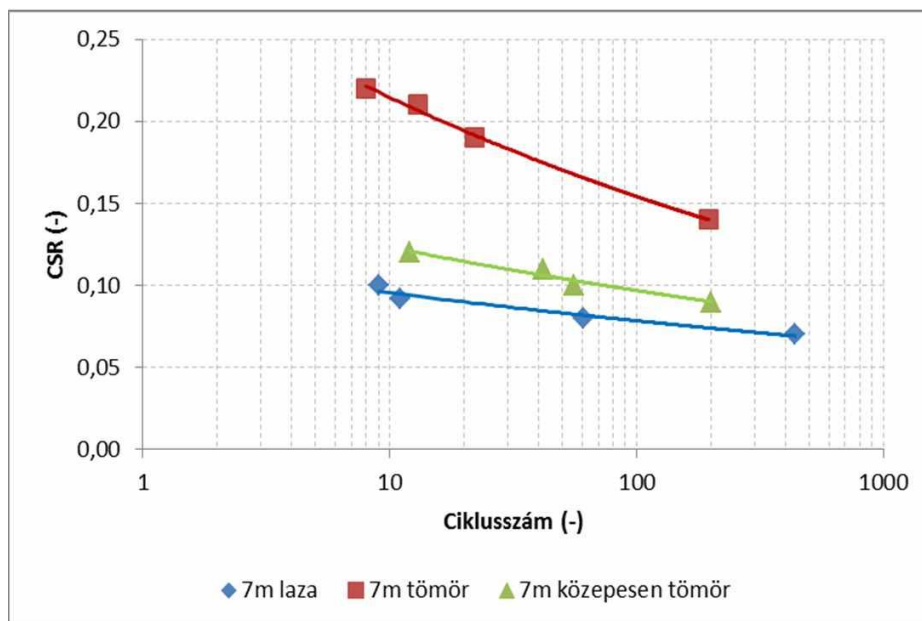
A futóhomok rétegre jellemző ciklikus szilárdság/teherbírás görbét a 306. ábra mutatja.



306. ábra Futóhomok minta különböző tömörséghez tartozó ciklikus szilárdság görbéi

3.2.4.2.2 „E” jelű réteg - Öntéshomok

Az öntéshomok rétegre jellemző ciklikus szilárdság/teherbírás görbét a 307. ábra mutatja.



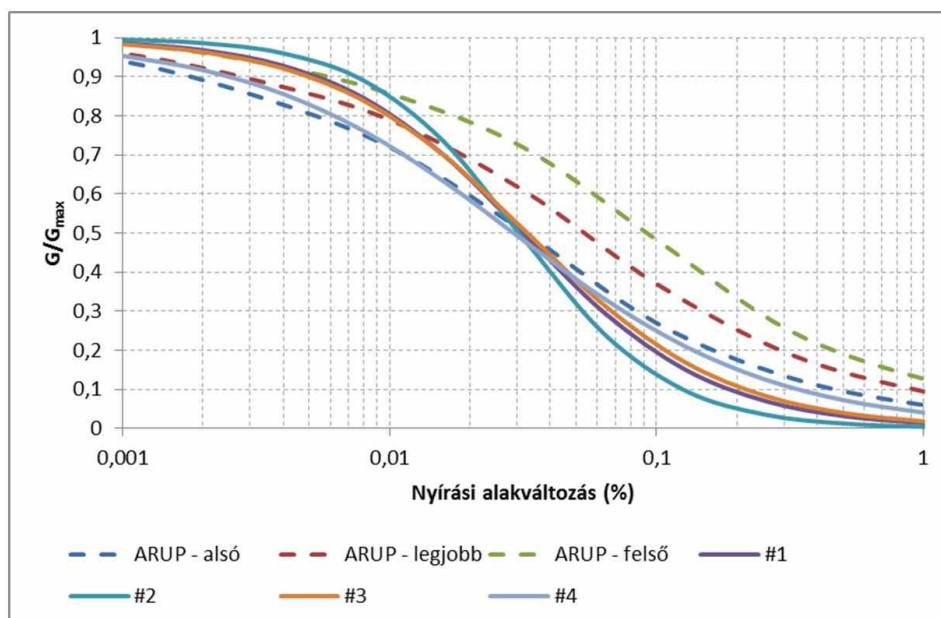
307. ábra Öntéshomok különböző tömörséghez tartozó ciklikus szilárdság görbéi

3.2.4.3 Leromlási görbék (G/G_{max})

A talajfolyósodási kockázatelemzés fontos bemenő adatai az egyes rétegekre jellemző leromlási görbe, mely az alakváltozás függvényében adja meg a nyírási modulus változását.

3.2.4.3.1 „A” jelű réteg – Mesterséges feltöltés

A feltöltésből vett minták leromlási görbéit a 308. ábra mutatja.

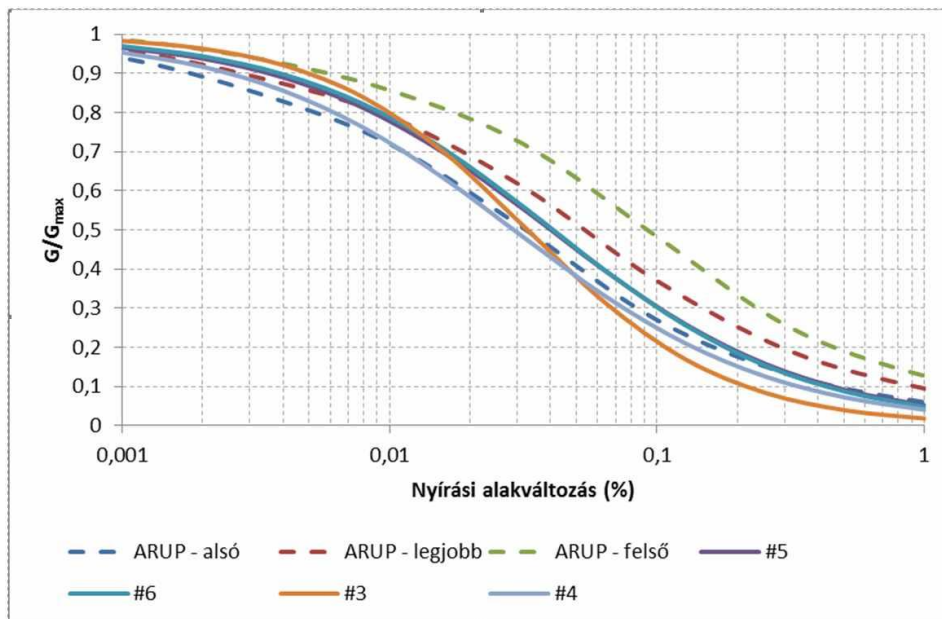


308. ábra A feltöltéshez rendelt leromlási görbék

#1 (agyagos homok, $\sigma'_3=50$ kPa, $e=0,74$), #2 (agyagos homok, $\sigma'_3=80$ kPa, $e=0,66$), #3 (fűtőhomok, $\sigma'_3=80$ kPa, $e=0,74$), #4 (fűtőhomok, $\sigma'_3=80$ kPa, $e=0,64$) és az Ove Arup által a Paks 1 telephelyre meghatározott becslések

3.2.4.3.2 „D” jelű réteg – Futóhomok

A futóhomok leromlási görbéit a 309. ábra mutatja.

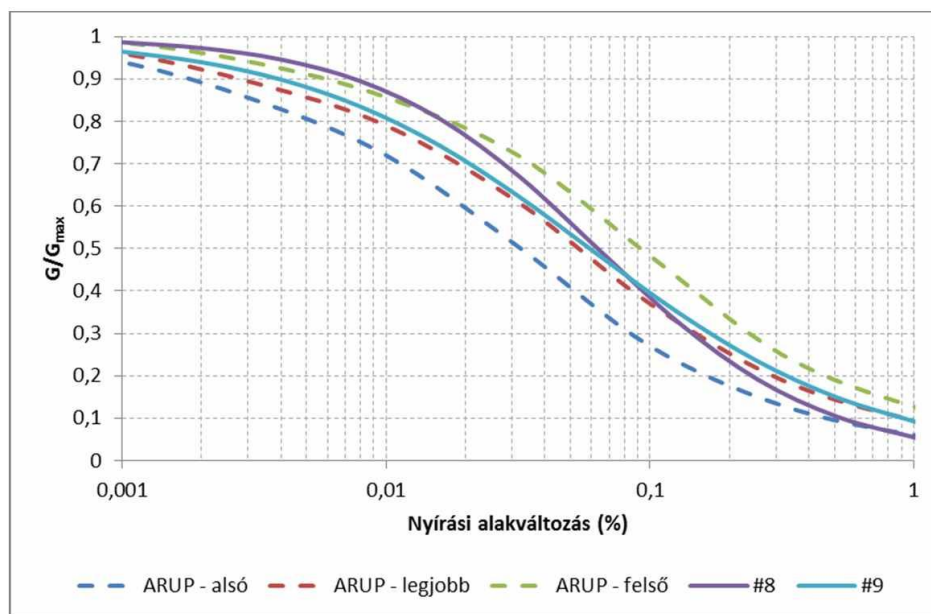


309. ábra A futóhomokhoz rendelt leromlási görbék

#3 ($\sigma'_3=80$ kPa, $e=0,74$), #4 ($\sigma'_3=80$ kPa, $e=0,64$), #5 ($\sigma'_3=160$ kPa, $e=0,74$), #6 ($\sigma'_3=160$ kPa, $e=0,55$) és az Ove Arup által a Paks 1 telephelyre meghatározott becslések

3.2.4.3.3 E” jelű réteg – Öntéshomok

Az öntéshomok leromlási görbéit a 310. ábra mutatja.

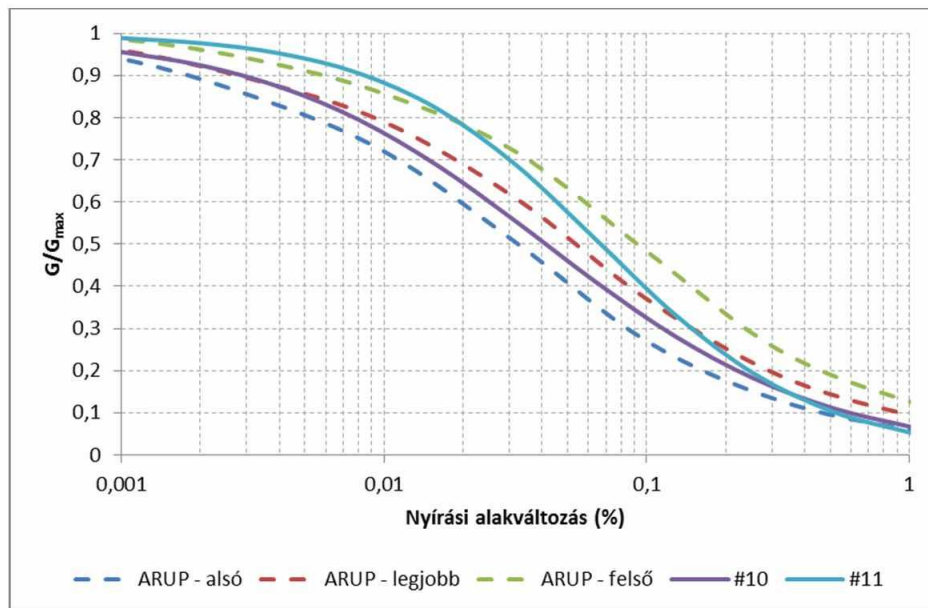


310. ábra Az öntéshomokhoz rendelt leromlási görbék

#8 ($\sigma'_3=160$ kPa, $e=0,66$), #9 ($\sigma'_3=160$ kPa, $e=0,45$) és az Ove Arup által a Paks 1 telephelyre meghatározott becslések

3.2.4.3.4 „F” jelű réteg – Kavicssterasz

A kavicssterasz rétegeiből kapott leromlási görbéket a 311. ábra mutatja.

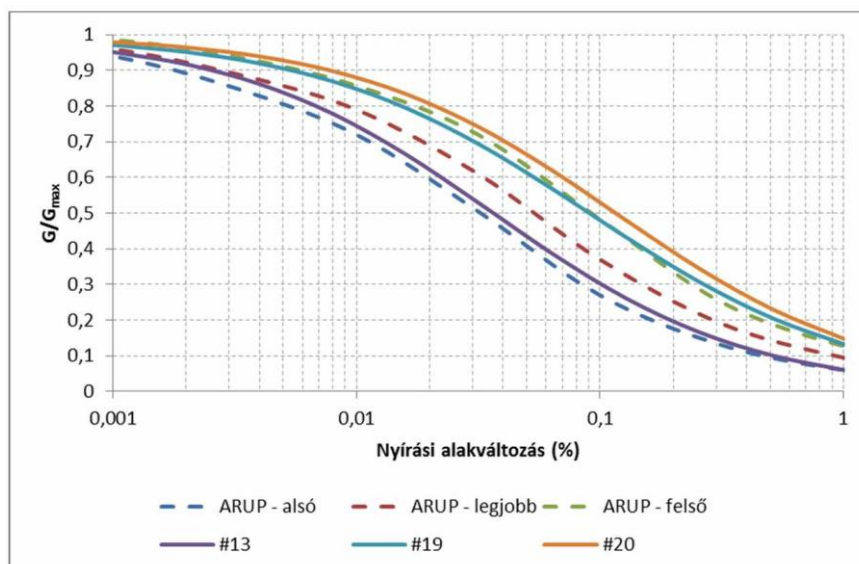


311. ábra A kavicssteraszhoz rendelt leromlási görbék

#10 ($\sigma'3=160$ kPa, $e=0,63$), #11 ($\sigma'3=250$ kPa, $e=0,44$) és az Ove Arup által a Paks 1 telephelyre meghatározott becslések

3.2.4.3.5 Pannon rétegek

A megfolyósodás szempontjából még vizsgált felső pannon rétegek (G, H jelűek) leromlási görbéit a 312. ábra mutatja.



312. ábra A pannon réteghez rendelt leromlási görbék

#13 ($\sigma'3=100$ kPa, $e=0,61$), #19 ($\sigma'3=200$ kPa, $e=0,61$), #20 ($\sigma'3=300$ kPa, $e=0,61$) és az Ove Arup által a Paks 1 telephelyre meghatározott becslések

3.2.4.4 Maximális nyírási modulus (G_{max})

A maximális nyírási modulus (G_{max}) értéke kétféle módszerrel került meghatározásra:

- Rezonancia oszlop (resonant column) vizsgálattal
- Helyszíni nyíróhullám sebesség (V_s) mérésből.

Az eredmények összehasonlítását a 155. táblázat mutatja.

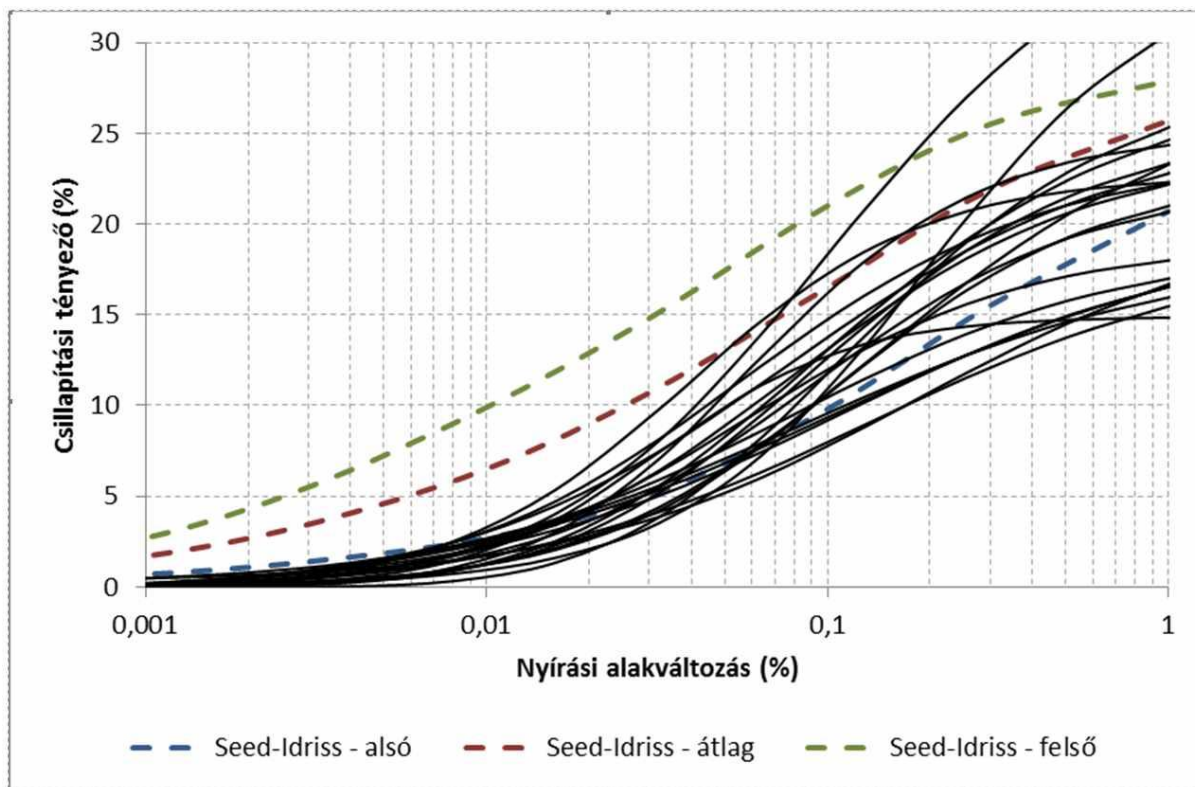
155. táblázat Rezonancia oszloppal mért és nyíróhullám sebességéből visszszámolt G_{max} -ok összehasonlítása

Rezonancia oszlop teszt	Fúrás	Mélység (m)	G_{max} (kPa)	V_s (m/s)	térfogsűrűség (g/cm^3)	G_{max} (V_s -ből) (kPa)	G_{max} -ok aránya
#14	III-6-D	7,5	86209	316	1,89	188728	2,19
#15	III-6-D	11,5	99433	276	1,95	148543	1,49
#16	III-6-D	15,5	126395	299	1,96	175226	1,39
#17	IV-6-D	3,5	50929	249	1,72	106642	2,09
#18	IV-6-D	9,5	82577	355	1,65	207941	2,52

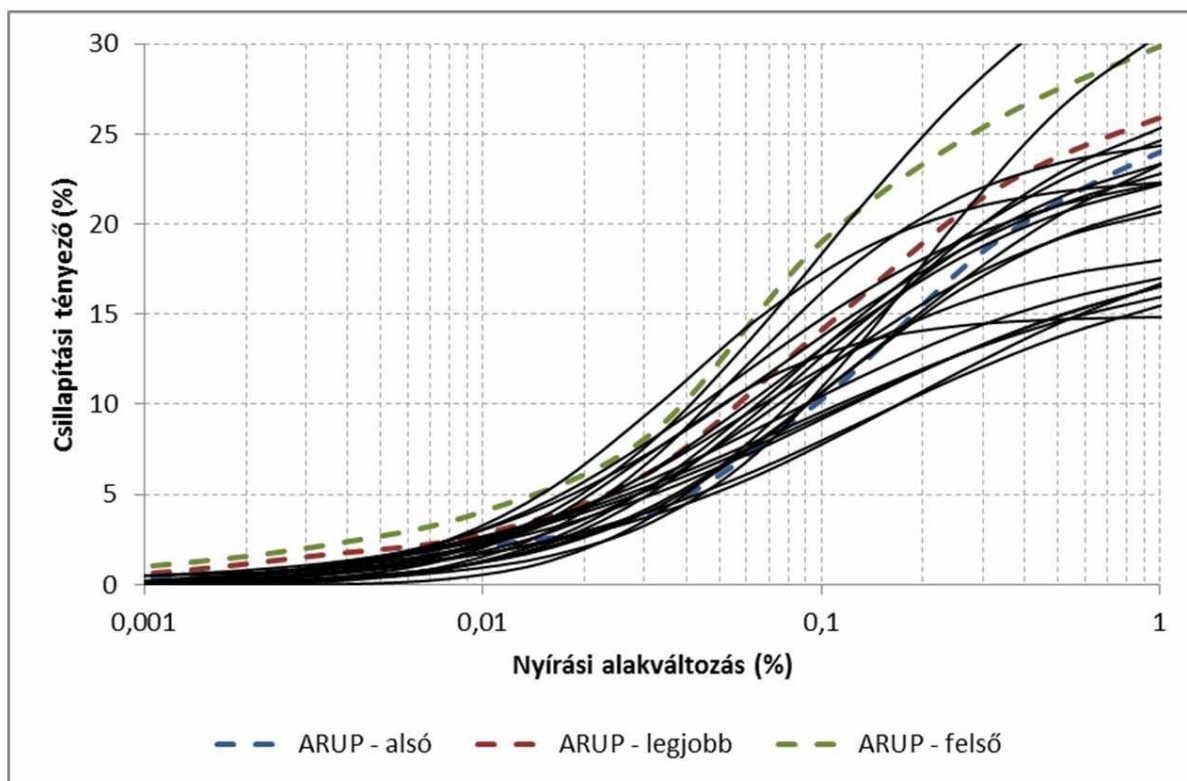
3.2.4.5 Csillapítási tényező és csillapítási görbék

Tekintettel arra, hogy a nyírási modulus pontosabban mérhető és ezáltal kisebb bizonytalansággal határozható meg, ezért bevet szokás a gyakorlatban, hogy a csillapítási modulust a G/G_{max} függvényhez illesztik. Ennek során a csillapítási tényező mért adatpontjaihoz regresszióval egy függvényt illesztnek.

A területen található negyedidőszaki rétegek csillapítási görbéit a 313. ábra mutatja Seed-Idriss által javasolt görbékkel együtt. A 314. ábra mutatja be a mérési eredményeket a Paks 1-4. blokkok telephelyére az Ove-Arup által megadott görbékkel.



313. ábra Jelen talajvizsgálati jelentés keretében mért és a homoktalajokra javasolt (Seed-Idriss 1970) csillapítási tényezők görbéi



314. ábra Jelen talajvizsgálati jelentés keretében mért csillapítási tényezők és a Paks 1 telephelyre meghatározott alsó, legjobb és felső becslés

3.2.5 A telephely geotechnikai jellemzőinek bemutatása

3.2.5.1 Feltárt talajrétegek főbb geotechnikai paramétere

Az előzőekben részletesen bemutatott rétegek és eredmények alapján kerültek megállapításra a legfontosabb geotechnikai paraméterek jellemző értéktartományai.

A táblázatban a kizárólag az egyes paraméterek jellemző értéktartománya kerül megadásra. A részletes tervezéshez használható talajfizikai és alakváltozási paraméterek (azok karakterisztikus értékei) kizárólag a létesítmények ismeretében, célzott helyszíni és laboratóriumi vizsgálatok után adhatók meg.

156. táblázat Feltárt talajrétegek főbb geotechnikai paramétereinek jellemző értéktartománya

Réteg jele	Réteg megnevezése	Jellemző talajtípus	Nedves/ telített térfogat- sűrűség	Hatékony belső súrlódási szög	Hatékony kohézió	Ösze- nyomó- dási modulus
			r (g/cm ³)	f' (°)	c' (kN/m ²)	Eoed (MPa)
„A” réteg	Mesterséges feltöltés	homokos agyagos iszap, iszapos finomhomok	felső tömörebb zóna 1,80-2,00 alsó lazább zóna 1,60-1,80	25-32	0-10	5-20
„B” réteg	Szerves-szervesnyomos „fedőréteg”	szerves-szervesnyomos agyagos iszap; iszapos agyag	1,50-1,70	20-25	0-10	5-10
„C” réteg	Holocén szürke agyag	változó plaszticitású agyag	1,85-2,05	21-24	31-38	11-23
„D” réteg	Futóhomok	finomhomok, (agyagos) iszapos homok	talajvíz felett 1,75-1,85 talajvíz alatt 1,90-2,00	27-33	0	10-20
„E” réteg	Öntéshomok	homok, kavicsos homok	1,92-1,98	29-34	0	20-35
„F” réteg	Kavicsterasz	kavicsos homok, homokos kavics	1,92-2,08	32-39	0	25-40
„G-O” rétegek (pannon)	Pannon „G-O”	pannon homok, agyag	1,90-2,20	22-40	0-50	20-200

3.3 Vízföldtani értékelés

3.3.1 Vízföldtani monitoring eredmények értékelése

3.3.1.1 A vízszintészlelések eredményei

A vízföldtani monitoring keretében vízszintregisztrálók üzemeltetési történet 2016. januárjától. A műszerek a vízhőmérsékletet és a fajlagos vezetőképességet is regisztrálják. A monitoring keretében 2016 elejétől negyedéves gyakorisággal történtek vízmintavételek és laborvizsgálatok. Ez az alfejezet az eddig eredményekről ad összefoglalást.

A 66 kútban regisztrált vízszintek közül 2 kútcsoport kerül bemutatásra, a Dunához közel eső kútcsoporté és egy a Duna távol eső kútcsoport adatai. A 2016. I. féléves adatsorokat ugyanebből időszakból származó, paksi vízmércén mért Duna vízállásokkal kerül összevetésre.

Az „A” és „B” talajvízes rétegekben a vízszinteket a Duna mozgása erősen befolyásolja. A Hidegvízes-csatorna/Duna közelében a vízszintek nagyon hamar, hasonlóan nagy amplitúdóval követik a Duna vízszintváltozásait. Ez az I-6 kútcsoport ábráján jól látható (315. ábra). A május eleji negatív anomáliát az I-6-B kútban a kutatási program keretében végrehajtott egymásrahatás vizsgálat okozta. A Dunától távolodva az árhullámok levonulása időben egyre jobban eltolódva, valamint jóval kisebb hatással vagy alig jelentkezik. Erre példa a beruházási terület nyugati felén lévő IV-2 kútnegyves (316. ábra). Méréseink szerint a Duna hatása mintegy 1,5 km-es sávban érzékelhető. Az átlagos hidraulikus gradiens a területen 2,5-3 m/km körül alakul.

A talajvíz természetes állapotában – átlagos és alacsony vízállás mellett – mintegy 2–3‰-es eséssel DK-felé áramlik a folyó medre irányába. Ilyenkor a víz utánpótlódása a háttér felől, a Mezőföld löszplatóin beszivárgó csapadékvizekből történik.

Magas vízálláskor, árvízkor a folyó betáplál a talajvíztartó rétegekbe, a háttér felől szivárgó talajvíz visszaduzzad, és a talajvíznívó megemelkedik. A Duna vízállás-változásainak – a vízjáték meghaladja a 8,5 métert – hatása a talajvízfigyelő kutak adatai szerint a folyót szegélyező mintegy 200–500 m-es szélességű sávban jelentkezik leginkább, de ez a hatás még a partéltől számított 1500 méteres távolságban is kimutatható. A hatás késleltetett, csak a tartós árvizek ideje alatt jelentkezik, a vízszint-emelkedés mértéke a parttól távolodva egyre kisebb, rövid idejű árhullámok idején mértéke jelentéktelen. Az árhullámok okozta talajvízszint emelkedés a parttól 100–200 méterre kb. 2 nap múlva jelentkezik.

A rétegvizek hidraulikus potenciálszintje (nyomásszintje) a telephely északi részén jellemzően a talajvíz szintje fölött húzódik. E területen minél mélyebben van a terepszint alatt a megnyitott szakasz, annál magasabb a rétegben uralkodó hidraulikus potenciál, ami a mélyebb rétegek felől a felszín irányába irányuló vízáramlásra utal.

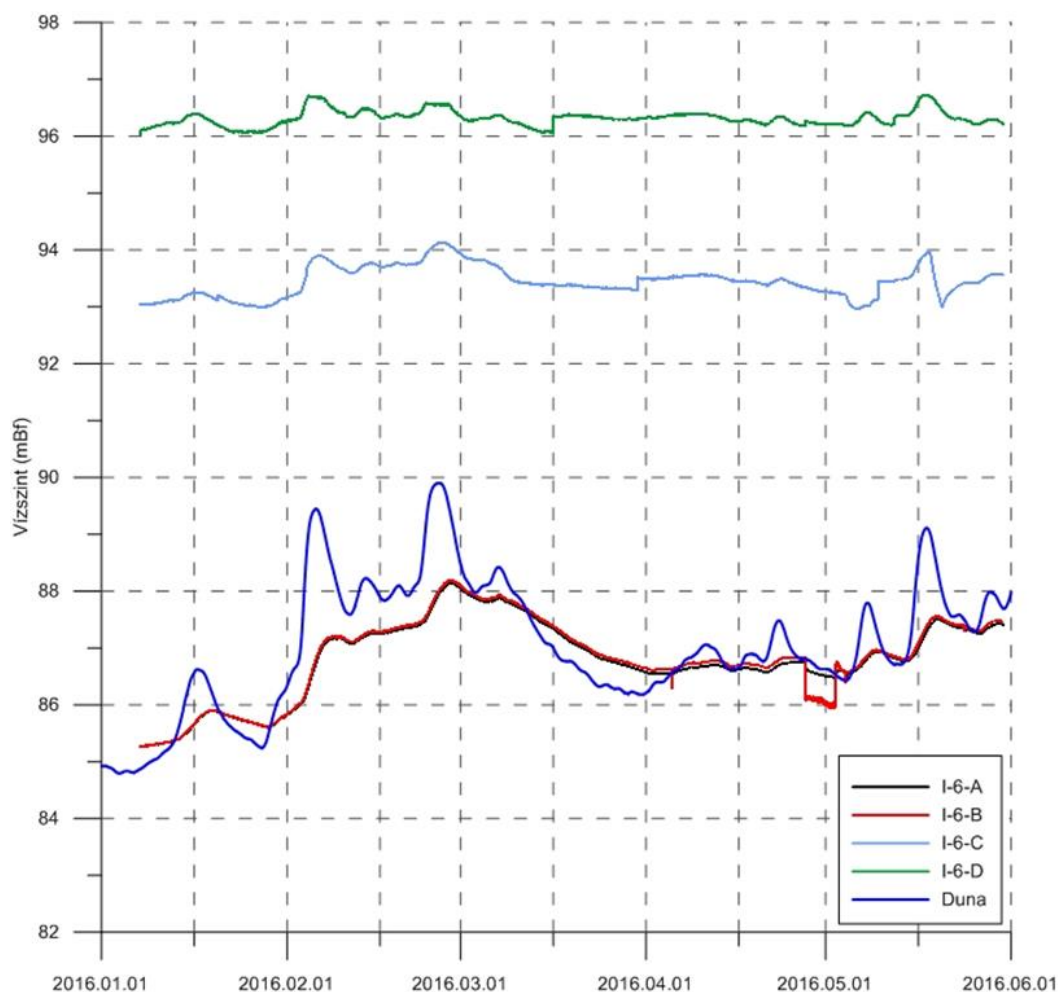
A telephely déli részén, a IV. szelvényben elhelyezkedő geotechnikai fúrások vonalától déli irányban azonban a rétegvízszintek csökkenő középérték körül ingadoznak. Míg az I-6-C és II-6-C kutak vízszintje szinte együtt mozog (93–94 mBf értékek között), a III-6-C kút közepes vízszintje már az 90–91 mBf tartományban változik, a IV-6-C és V-6-C kutak vízszintje a talajvízszint körüli sávban ingadozik (ezekben a Duna hatása is kimutatható). A

rétegvízszintek időbeli alakulását a 318. ábra mutatja be a 6. pozíciójú kutakra illesztett, közel É–D-i irányú szelvény mentén.

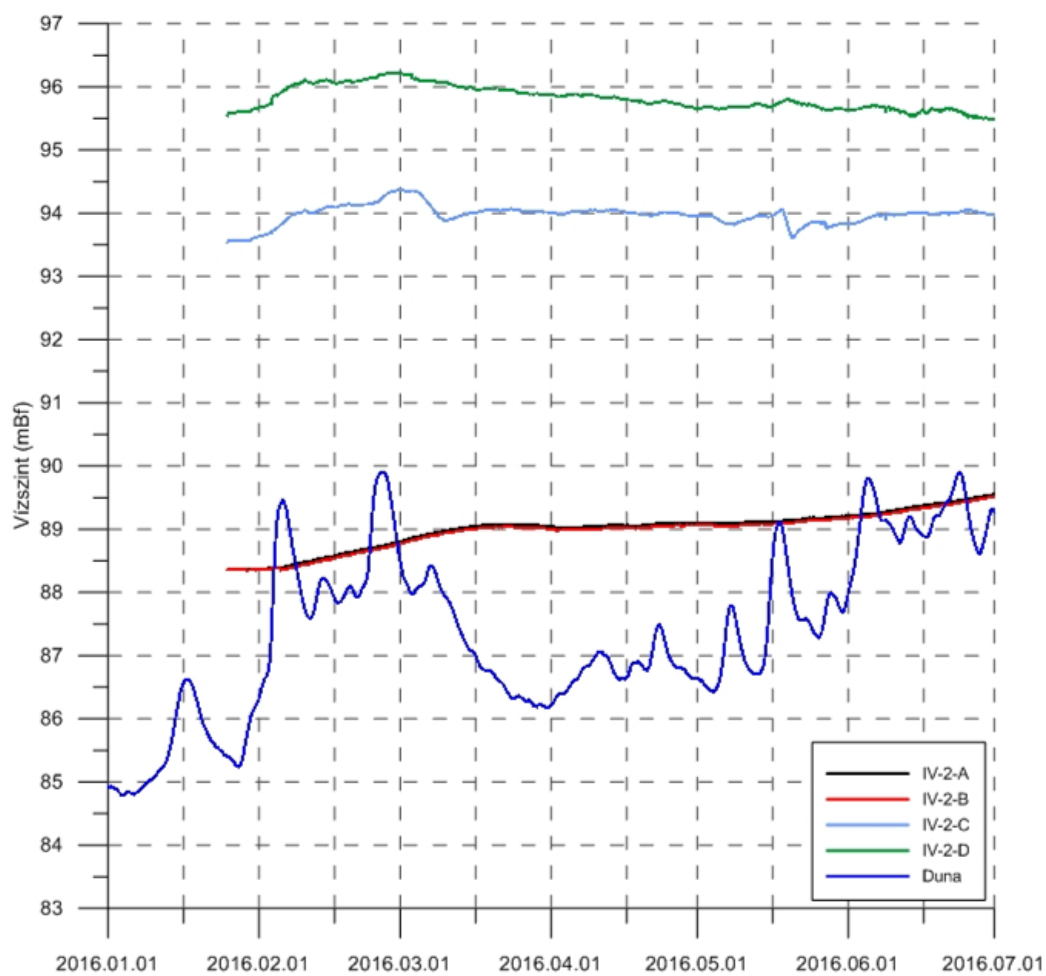
A 100 m mély D-jelű kutak vízszintje hasonló jellegzetességeket mutat (318. ábra). Az I-6-D, II-6-D és III-6-D kutak vízszintje a vizsgált időszak (2016.01.08–2016.05.30.) kezdetén szinte együtt mozog, 96–97 mBf közötti potenciálszintekkel, majd 2016.03.01. után a II-6-D kút potenciálszintje fokozatosan a 93 mBf körüli értékre csökken. A potenciálszint csökkenésének kezdete időben egybeesik a IV-6-D kútban történt szivattyúzásos vizsgálat kezdetével, de a szivattyúzott kút visszatöltődése után is folytatódott a fokozatos potenciálszint-csökkenés.

A IV-6-D kút víztermelés által nem befolyásolt („nyugalmi”) potenciálja a 94–95 mBf intervallumban ingadozik, tehát kb. 2 m-rel az I-6-D és III-6-D kutak nyugalmi szintje alatt. Az V-6-D kútban mért nyugalmi potenciálok ennél is alacsonyabbak, a 93 mBf szint körül mozognak, amely viszont már az I-6-C ill. II-6-C kutak vízszintjének felel meg.

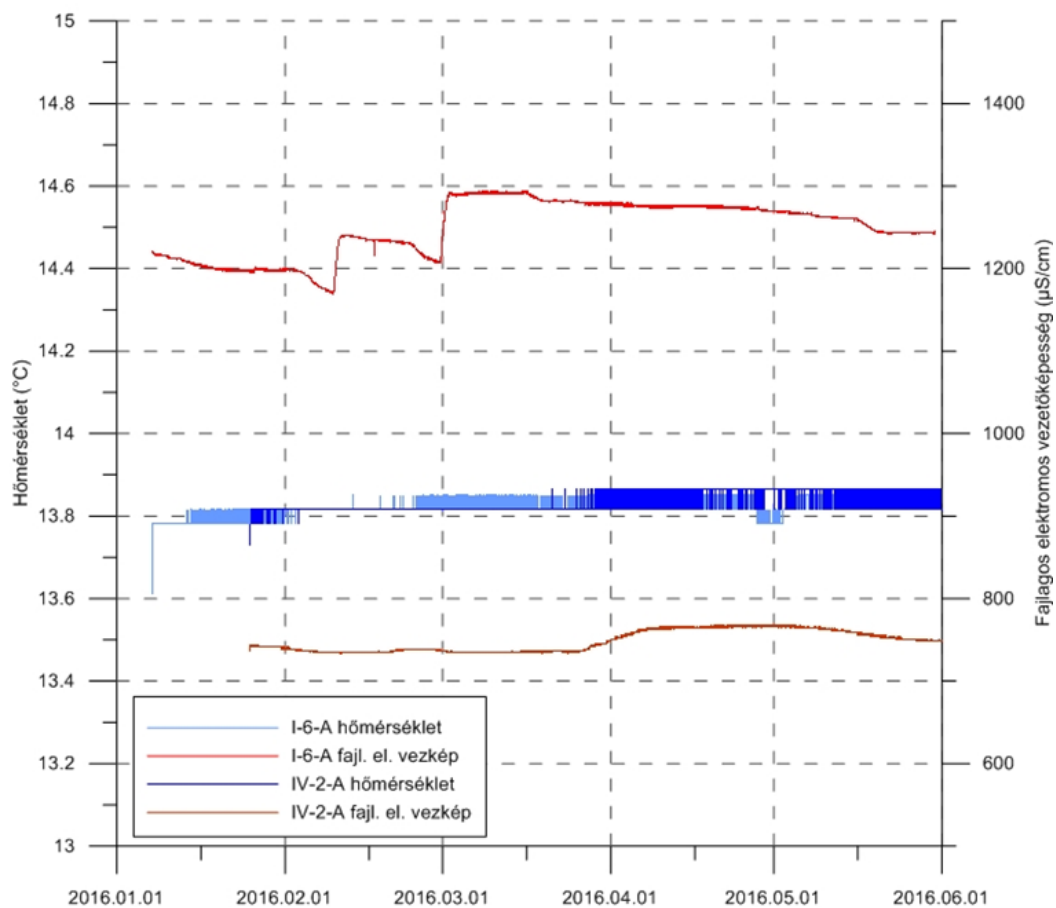
A háromcsatornás regisztráló műszerek a vízszint mellett fajlagos elektromos vezetőképesség és hőmérséklet mérésére is alkalmasak. Az alábbi ábrán az előbbi kútnegyесek „A” jelű pontjaiban mért idősorokat mutatjuk be, 2016. I. félévében (317. ábra).



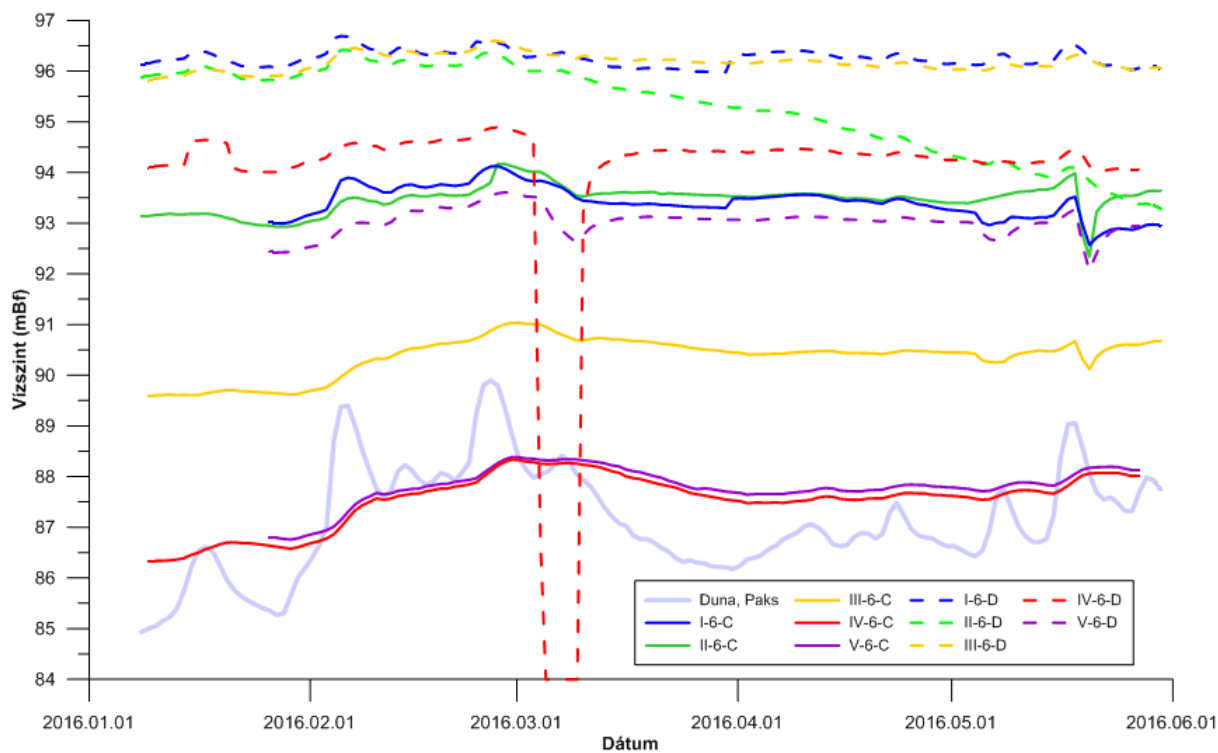
315. ábra Az I-6 kútcsoport és a Duna vízszint idősora, 2016. I. félév



316. ábra A IV-2 kútcsoport és a Duna vízszint időszora, 2016. I. félév



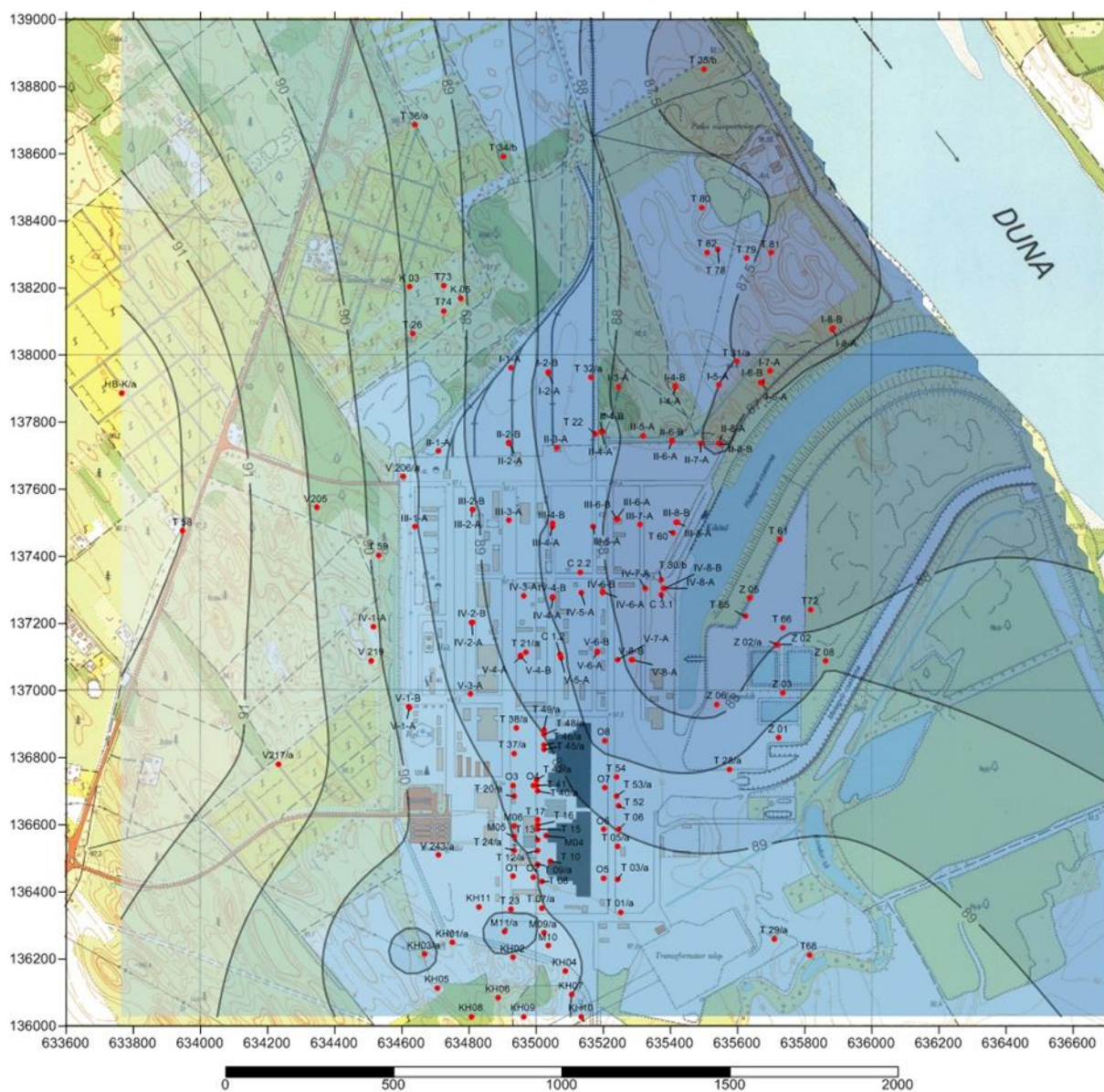
317. ábra Az I-6-A és IV-2-A kutak fajlagos elektromos vezetőképesség és hőmérséklet idősorai, 2016. I. félév



318. ábra Rétegvízszintek időbeli alakulása egy É–D irányú szelvény mentén elhelyezkedő figyelőkutakban

A kutatási program keretben a hidrogeológiai mérési programban 6 db egyidejű vízszintmérési kampányt került végrehajtásra a már meglévő (Paks I.) monitoring hálózatot is bevonva. A mérésekből itt is megállapítható volt, hogy a Duna magas vízállásnál rátáplál a talajvízre, megemeli a vízszinteket, míg alacsony és közepes vízállásnál a folyó leszívó hatása érvényesül. Minden vízszintmérésből kiderült, hogy a terület délkeleti részén elhelyezkedő mélyebb rétegvizes kutak esetén hiányzik, vagy alig megtalálható a ~30-40 m mélyen elhelyezkedő agyagos vízrekesztő réteg, így itt a „C” (50 m) kutak is talajvizesként viselkednek, ezeket ún. „C2” típusú kutaknak hívjuk a továbbiakban.

Az alábbi két térképen, két különböző Duna vízálláshoz kapcsolódó talajvízszinttérképet mutatunk be. A 3. kampány során látható a folyó magasabb vízállása során létrejövő visszaduzzasztó hatás (319. ábra), amely így pufferzónaként használja a talajvizes rétegeket. A 2016. július végi, 5. kampány során kisebb vízállásnál sokkal jobban látszódik a talajvízszinteken a folyó leszívó hatása (320. ábra), a talajvízszintekben nem jelenik meg a pufferzóna sem.



319. ábra A 3. egyidejű vízszintmérési kampány talajvízszinttérképe, 2016. május 27.

koncentrációkkal csak néhány „A” kútban talákoztunk NO₃ esetén(a II-1-A kútban 75 mg/dm³, míg a IV-5-A jelű kútban 56 mg/dm³ volt a mennyisége (157. táblázat)).

157. táblázat Az újonnan létesített monitoring kutak vízkémiai vizsgálatának főbb eredményei

Kutak a szűrőzés felszínétől számított mélysége szerint	Víz típus	Főkomponensek mennyisége
„A” jelű kutak (9 – 14 m)	Ca-(Mg)-HCO ₃	nátrium: 7,9 – 52,9 mg/dm ³ kalcium: 31 – 180 mg/dm ³ kálium: 1,2 – 6,6 mg/dm ³ magnézium: 17,6 – 81,0 mg/dm ³ szulfát: 40 – 140 mg/dm ³ klorid: 14 – 135 mg/dm ³ hidrogénkarbonát: 372 – 750 mg/dm ³ pH: 6,7 – 7,3 mg/dm ³ fajlagos elektromos vezetőképesség: 710 – 1230 μS/cm
„B” jelű kutak (19 – 24 m)	Ca-Mg-HCO ₃	nátrium: 9,6 – 16,9 mg/dm ³ kalcium: 53 – 118 mg/dm ³ kálium: 1,2 – 2,6 mg/dm ³ magnézium: 26,9 – 35,4 mg/dm ³ szulfát: 5 – 88 mg/dm ³ klorid: 3 – 42 mg/dm ³ hidrogénkarbonát: 354 – 464 mg/dm ³ pH: 7,1 – 7,5 fajlagos elektromos vezetőképesség: 500 – 830 μS/cm
„C” jelű kutak (44 – 49 m)	Mg-Ca-HCO ₃	nátrium: 8,8 – 19,5 mg/dm ³ kalcium: 41,5 – 73,0 mg/dm ³ kálium: 1,2 – 8,2 mg/dm ³ magnézium: 24,4 – 35,4 mg/dm ³ szulfát: <5 – 13 mg/dm ³ klorid: 2 – 4 mg/dm ³ hidrogénkarbonát: 317 – 403 mg/dm ³ pH: 7,4 – 7,7 fajlagos elektromos vezetőképesség: 450 – 540 μS/cm
„D” jelű kutak (94 – 99 m)	Mg-HCO ₃	nátrium: 10,6 – 16,5 mg/dm ³ kalcium: <3 – 61 mg/dm ³ kálium: 1,3 – 1,6 mg/dm ³ magnézium: 27,4 – 38,4 mg/dm ³ szulfát: <5 mg/dm ³ klorid: 2 – 3 mg/dm ³ hidrogénkarbonát: 372 – 427 mg/dm ³ pH: 7,4 – 7,6 fajlagos elektromos vezetőképesség: 520 – 570 μS/cm

Az általános vízkémiai és nyomelem vizsgálatok mellett stabil izotóp és vízkor vizsgálatok is történtek, amelyek alapján az alábbi megállapítások tehetők. A ³H és ¹⁴C adatok szerint az „A” jelű kutakban friss beszivárgású talajvizet találunk, ami a területre hulló csapadékból származik, valamint a δ¹⁸O és δ²H adatok átlaga jól egyezik a hazai csapadék, és az ország egyéb területein frissen beszivárgott talajvizek adataival. A „B” kavicsrétegben lévő talajvíz az „A” réteg talajvizének illetve a „C” és „D” rétegek vizének keveréke, amelyet a vízkémiai és izotóphidrogeológiai vizsgálatok eredményei is megerősítettek. A „C” sekély-rétegvíz átlagosan 1600 éves ¹⁴C kora alapján, a telephely néhány kilométeres környezetében beszivárgott vízből kapja utánpótlását, amelyhez a telephely DK-i részén (ezeket neveztük el, ún. „C2” típusú kutaknak), a „D” rétegből feláramló, 11000 éves korú víz is hozzákeveredik.

Ezt a vízkémiai adatok mellett a ^{14}C vízkor és a stabil izotóp adatok is megerősítik. A „D” rétegvízben mért, átlagosan 11000 éves a víz kora (jégkorszak végi beszivárgás), amit a stabilizotóp adatok is alátámasztanak. Az átlagos $\delta^{18}\text{O}$ és $\delta^2\text{H}$ értékek alapján ugyanis - a „hőmérsékleti hatás” egyenletével - a mainál 2 °C-kal hidegebb, 8,5 °C beszivárgáskori hőmérséklet számítható a „D” rétegben lévő vízre. A nyugalmi vízszintek szerint a regionális utánpótlási területen a rétegvizek nyugalmi szintjének 95 mBf-nél lényegesen magasabbnak és a ^{14}C vízkornak fiatalnak kell lenni.

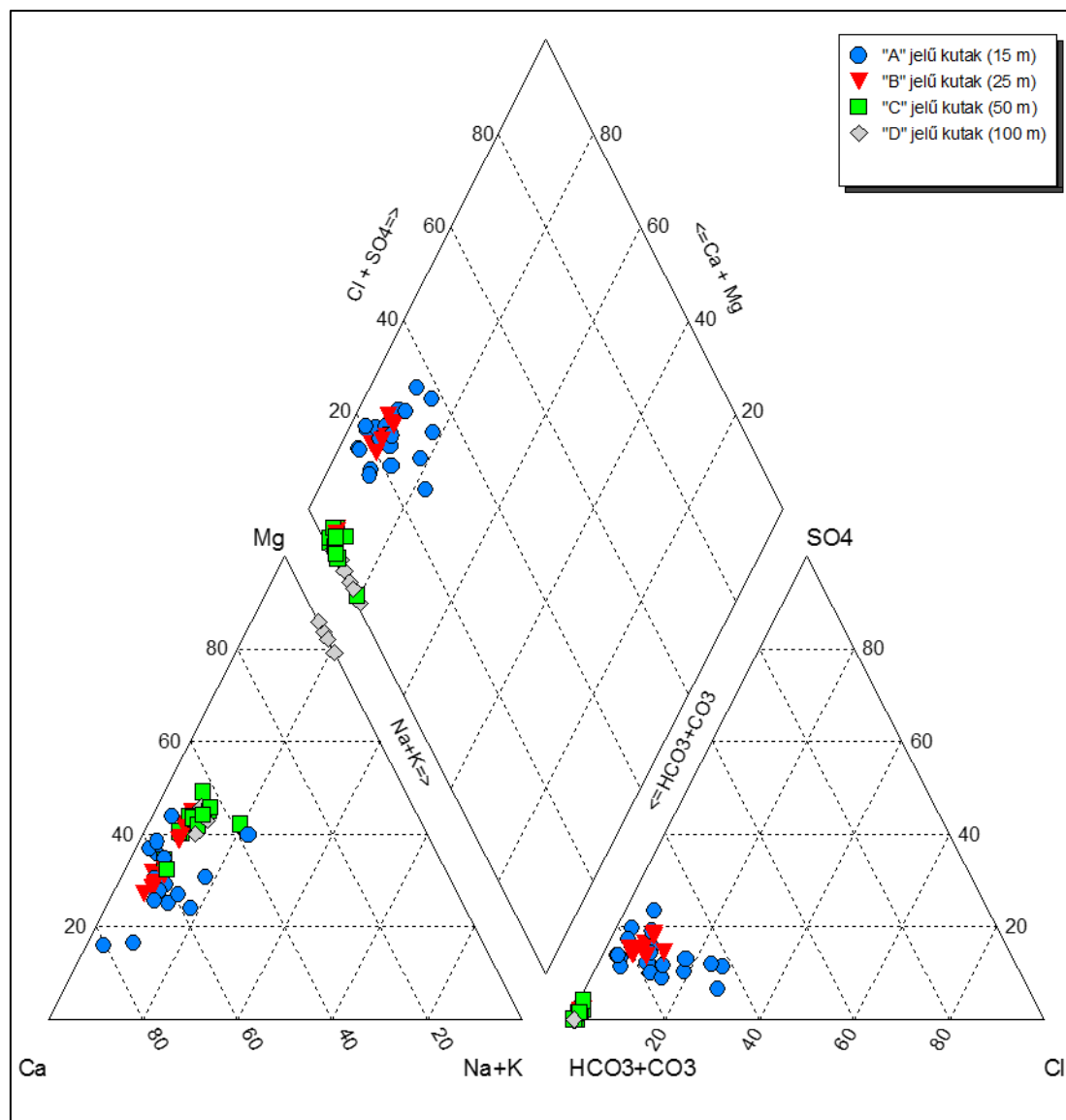
A vízgeokémiai program keretében az terület szennyezettségi alapállapotának értékelése is feladat volt, ezért összesen 20 db különböző mélységű megfigyelő kútban komplex vízkémiai szűrővizsgálatot is végeztünk a 14/2005. (VI. 28.) rendelet alapján, a 6/2009. együttes rendelet kimutatási határértékeit figyelembe véve. A mérési eredmények alapján egy kivétellel mindegyik kimutatási, illetve szennyezettségi határértéket el nem érő mennyiségben fordult elő. A V-3-A kút esetében a tetrahidrofurán kis mértékben meghaladta azt, ennek ellenőrzését a későbbi monitoring tevékenység során javasolt tovább végezni.

A komplex szűrővizsgálat eredményeit összefoglalva a tartalmazza (158. táblázat).

158. táblázat A komplex szűrővizsgálat eredményei

Kutak a szűrőzés felszínétől számított mélysége szerint	Vizsgált komponensek mennyisége	Vizsgált vegyületcsoportok
„A” jelű kutak (9 – 14 m)	ammónia: 0,03 – 0,08 mg/dm ³ Cr(VI): < 5 ug/dm ³ oldott PO4: 0,03 – 0,13 mg/dm ³ fluorid: 0,10 – 0,16 mg/dm ³ klorid: 4 – 55 mg/dm ³ nitrát: 0,1 – 75 mg/dm ³ nitrit: < 0,1 mg/dm ³ szulfát: 44 – 180 mg/dm ³ Ag: < 2 ug/dm ³ As: 0,2 – 5,45 ug/dm ³ Ba: 27,5 – 161,0 ug/dm ³ Cd: < 0,05 ug/dm ³ Co: < 5 ug/dm ³ Cu: < 5 ug/dm ³ Hg: < 0,05 ug/dm ³ Mo: < 5 ug/dm ³ Ni: < 5 ug/dm ³ Pb: 0,10 – 0,21 ug/dm ³ Se: 0,10 – 4,54 ug/dm ³ Sn: 0,30 – 1,24 ug/dm ³ Zn: < 5 ug/dm ³	TPH: mind kimutatási határ alatt BTEX: mind kimutatási határ alatt halogénezett aromás CH-k: mind kimutatási határ alatt halogénezett alifás CH-k: mind kimutatási határ alatt 6/2009. szerinti egyéb vegyületek: mind kimutatási határ alatt fenolok: mind kimutatási határ alatt klórfenolok: mind kimutatási határ alatt PAH: mind kimutatási határ alatt növényvédőszer: mind kimutatási határ alatt Tetrahidrofurán: 7,6 ug/dm ³ az V-3-A kútban
„B” jelű kutak (19 – 24 m)	ammónia: 0,03 – 0,11 mg/dm ³ Cr(VI): < 5 ug/dm ³ oldott PO4: 0,04 – 0,09 mg/dm ³ fluorid: 0,10 – 0,16 mg/dm ³ klorid: 3 – 33 mg/dm ³ nitrát: < 0,1 mg/dm ³ nitrit: < 0,1 mg/dm ³ szulfát: 5 – 90 mg/dm ³ Ag: < 2 ug/dm ³ As: 0,71 – 3,19 ug/dm ³	TPH: mind kimutatási határ alatt BTEX: mind kimutatási határ alatt halogénezett aromás CH-k: mind kimutatási határ alatt halogénezett alifás CH-k: mind kimutatási határ alatt 6/2009. szerinti egyéb vegyületek: mind kimutatási határ alatt fenolok: mind kimutatási határ alatt klórfenolok: mind kimutatási határ alatt PAH: mind kimutatási határ alatt

Kutak a szűrőzés felszínétől számított mélysége szerint	Vizsgált komponensek mennyisége	Vizsgált vegyületcsoportok
	Ba: 37,6 – 112,0 mg/dm ³ Cd: < 0,05 ug/dm ³ Co: < 5 ug/dm ³ Cu: < 5 ug/dm ³ Hg: < 0,05 ug/dm ³ Mo: < 5 ug/dm ³ Ni: < 5 ug/dm ³ Pb: < 0,1 ug/dm ³ Se: 0,10 – 0,12 ug/dm ³ Sn: 0,30 – 0,40 ug/dm ³ Zn: < 5 – 16,2 ug/dm ³	növényvédőszer: mind kimutatási határ alatt
„C” jelű kutak (44 – 49 m)	ammónia: 0,03 – 0,18 mg/dm ³ Cr(VI): < 5 ug/dm ³ oldott PO ₄ : 0,05 – 0,18 mg/dm ³ fluorid: 0,14 – 0,23 mg/dm ³ klorid: 2 – 3 mg/dm ³ nitrát: < 0,1 mg/dm ³ nitrit: < 0,1 mg/dm ³ szulfát: 5 – 9 mg/dm ³ Ag: < 2 ug/dm ³ As: 0,59 – 8,14 ug/dm ³ Ba: 34,0 – 59,3 ug/dm ³ Cd: < 0,05 ug/dm ³ Co: < 5 ug/dm ³ Cu: < 5 ug/dm ³ Hg: < 0,05 ug/dm ³ Mo: < 5 ug/dm ³ Ni: < 5 ug/dm ³ Pb: < 0,1 ug/dm ³ Se: < 0,1 ug/dm ³ Sn: < 0,3 ug/dm ³ Zn: < 5 – 12,1 ug/dm ³	TPH: mind kimutatási határ alatt BTEX: mind kimutatási határ alatt halogénezett aromás CH-k: mind kimutatási határ alatt halogénezett alifás CH-k: mind kimutatási határ alatt 6/2009. szerinti egyéb vegyületek: mind kimutatási határ alatt fenolok: mind kimutatási határ alatt klórfenolok: mind kimutatási határ alatt PAH: mind kimutatási határ alatt növényvédőszer: mind kimutatási határ alatt
„D” jelű kutak (94 – 99 m)	ammónia: 0,03 – 0,18 mg/dm ³ Cr(VI): < 5 ug/dm ³ oldott PO ₄ : 0,16 – 0,17 mg/dm ³ fluorid: 0,11 – 0,17 mg/dm ³ klorid: 2 mg/dm ³ nitrát: < 0,1 mg/dm ³ nitrit: < 0,1 mg/dm ³ szulfát: < 5 mg/dm ³ Ag: < 2 ug/dm ³ As: 0,28 – 1,01 mg/dm ³ Ba: 50,7 – 53,4 mg/dm ³ Cd: < 0,05 ug/dm ³ Co: < 5 ug/dm ³ Cu: < 5 ug/dm ³ Hg: < 0,05 ug/dm ³ Mo: < 5 ug/dm ³ Ni: < 5 ug/dm ³ Pb: < 0,1 ug/dm ³ Se: < 0,1 ug/dm ³ Sn: < 0,3 ug/dm ³ Zn: < 5 ug/dm ³	TPH: mind kimutatási határ alatt BTEX: mind kimutatási határ alatt halogénezett aromás CH-k: mind kimutatási határ alatt halogénezett alifás CH-k: mind kimutatási határ alatt 6/2009. szerinti egyéb vegyületek: mind kimutatási határ alatt fenolok: mind kimutatási határ alatt klórfenolok: mind kimutatási határ alatt PAH: mind kimutatási határ alatt növényvédőszer: mind kimutatási határ alatt



321. ábra Az első vízkémiai monitoring kampány eredményei Piper-diagramon – 2016. első negyedév

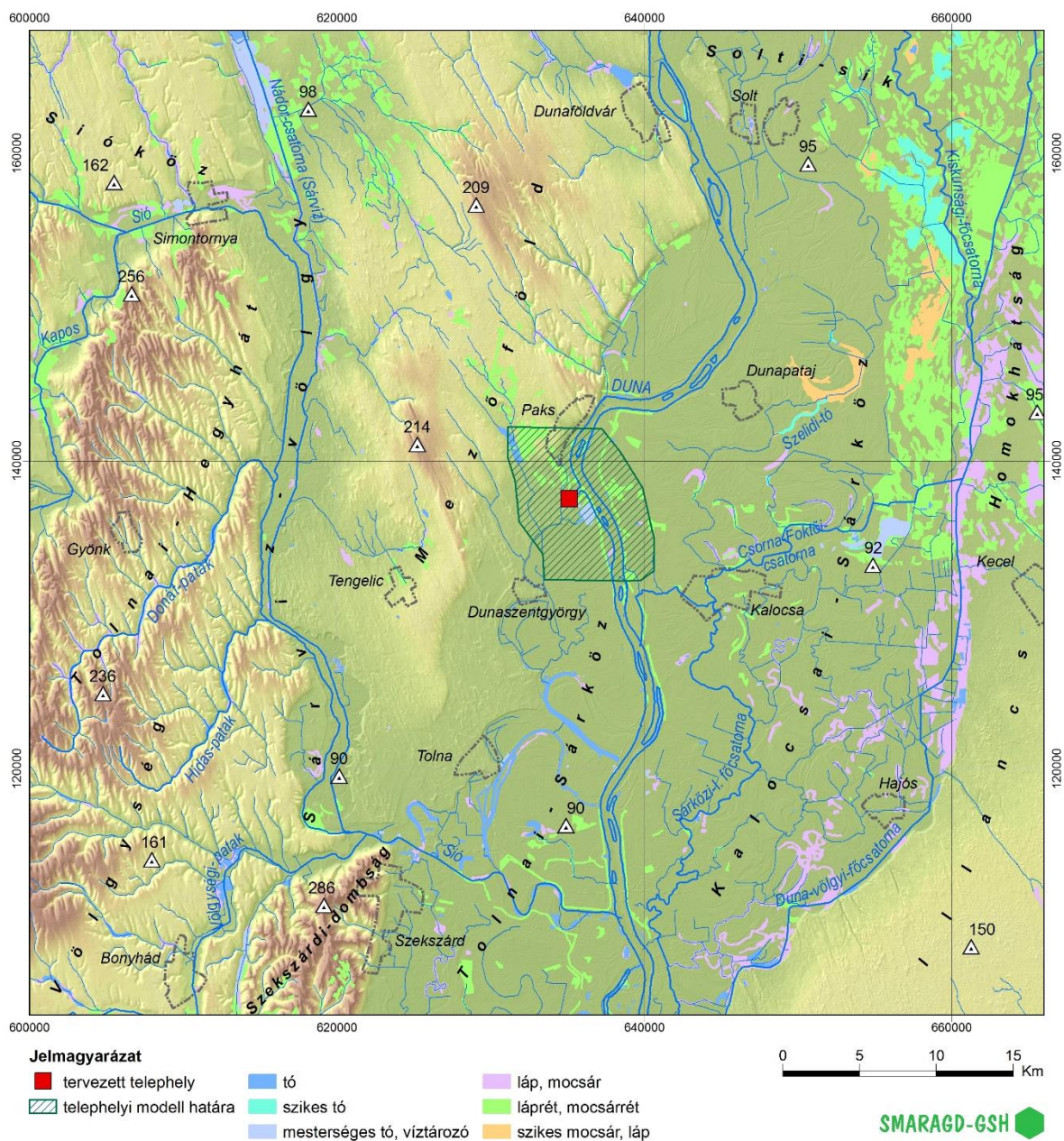
3.3.2 Regionális vízföldtani vizsgálatok eredményeinek összefoglalása

3.3.2.1 Bevezetés

A regionális vízföldtani vizsgálati területre vonatkozó részletes ismertetést a „Gondár K. ed. (2016): Értékelő jelentés a vízföldtani viszonyokról és a vízföldtani modellezés eredményeiről” című szakterületi összefoglaló jelentés [109] tartalmazza (56. melléklet, 57. melléklet.).

A Nukleáris Biztonsági Szabályzat legfontosabb elvárása a regionális hidrogeológiai vizsgálatokkal szemben, hogy vizsgálja és rögzítse azokat a hidrogeológiai peremfeltételeket és folyamatokat, amelyek meghatározzák a felszín alatti vizek állapotát a telephely szűkebb környezetében: értékelje a víztartó rétegek legfontosabb jellemzőit, leírja a felszín alatti áramlási rendszereket, és azok felszíni vizekkel való kölcsönhatását. Értékelje a meteorológia körülmények hatását a felszín alatti vizekre, valamint a legfontosabb emberi hatás, a vízhasználatok változását.

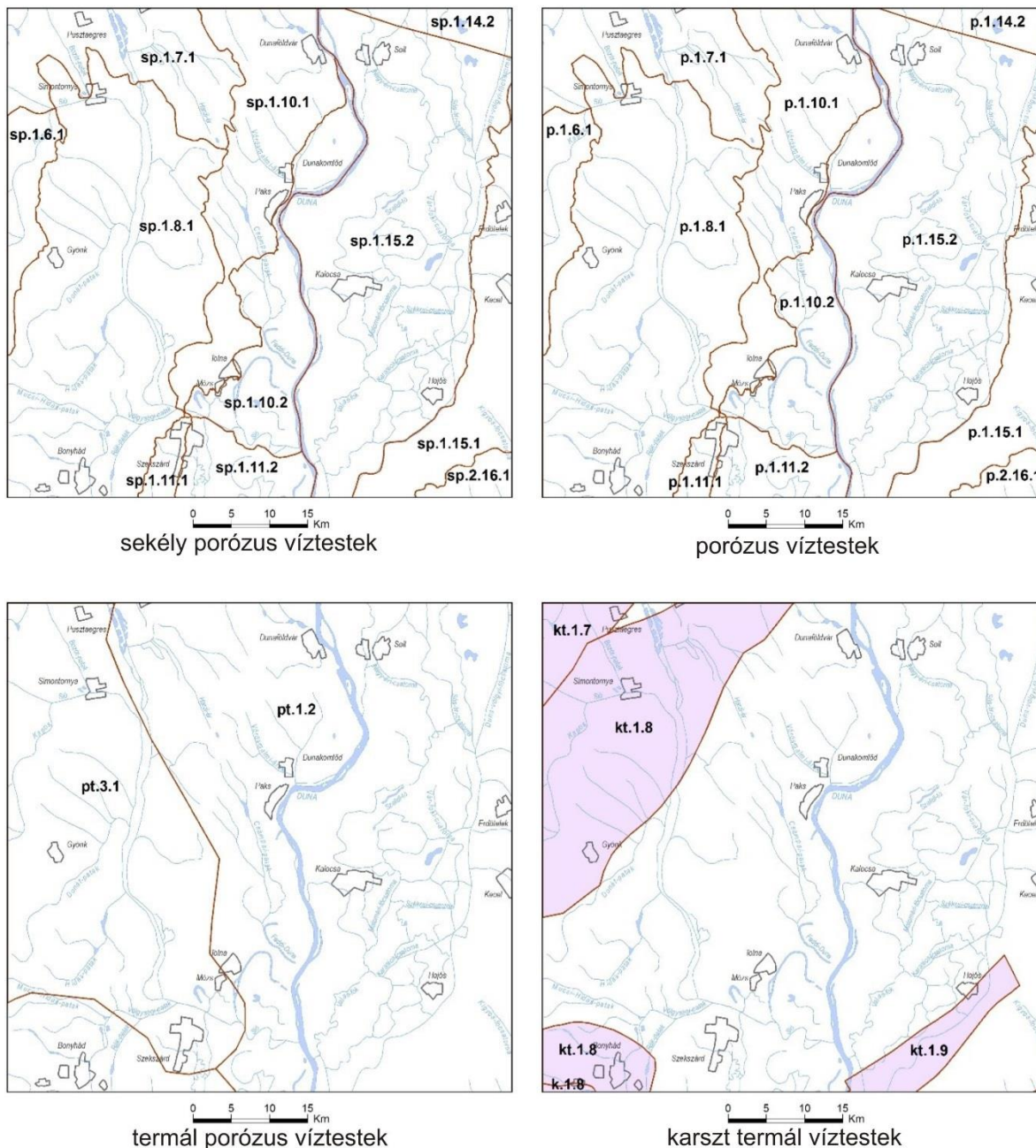
Az értékelés az áramlási és vízgeokémiai viszonyok megértéséhez és leírásához szükséges térrészre terjedt ki. Horizontálisan a vízföldtani modellezés számára megfelelő peremek szerint került lehatárolásra az EOVS 666 000-600 000 és az EOVS 104 000-168 000 koordináták által határolt 66 és 64 km oldalhosszúságú terület. Annak érdekében, hogy a mélységi folyamatokat is figyelembe lehessen venni, a vizsgálati és modellezési terület vertikálisan -3000 mBf mélységig terjedt ki.



322. ábra A regionális hidrogeológiai vizsgálat és a numerikus hidrodinamikai modellezés területe

A lehatárolt terület az Alföld és a Dunántúli domboság területén található, azokon belül több változatos közép és kistájat is érint. Az Alföldön négy középtáj: a Duna menti síkság, Duna-Tisza közti síkvidék, Bácskai síkvidék és a Mezőföld egyes részei tartoznak ide. A Dunántúli domboságnak egyetlen középtája a Mecsek és Tolnai-Baranyai dombvidék ÉK-i sarka nyúlik be a vizsgálati területre.

Magyarország Vízyűjtő-gazdálkodási Terve [369] – a 2000/60/EK európai parlamenti és tanácsi irányelvvel (Víz Keretirányelv – VKI) összhangban – az 1127/2010. (V. 21.) Korm. határozat 1. mellékleteként jelent meg. A VGT szerint a Tervezett telephely környezete az 1-11 Sió vízgyűjtő-tervezési alegységhez tartozik, és annak K-i peremén helyezkedik el. A regionális vizsgálati terület azonban horizontálisan és vertikálisan is több víztestet érint.



323. ábra Az érintett felszín alatti víztestek Magyarország Vízyűjtő-gazdálkodási Terve szerint

3.3.2.2 A regionális vízföldtani kutatások és modellezés koncepciója

A vizsgálatok és a numerikus hidraulikai modellezés igazolta azt a koncepcionális modellt, miszerint a vizsgálati terület felszín alatti áramlási rendszerének működése összetett. A felső, gravitációs áramlási rendszer utánpótlása a csapadékból származik és meghatározott megcsapolódási és kiáramlási területeken a felszínre lép. A gravitációs áramlási rendszert a

talajvízdomborzat hajtja meg, a talajvíztükör helyzete pedig alapvetően a vertikális talajvízforgalom függvényében alakul. A szivárgás irányait és sebességét nagymértékben befolyásolja a földtani felépítés, a kőzetek vízvezető képessége, a rétegek geometriája, a vetők mélysége és iránya. Az áramlási rendszert lokálisan módosítják a társadalom szükségleteit biztosító vízkivételek. A gravitációs felszín alatti áramlási rendszerben a felszín alatti víz tartózkodási idejétől függően különböző hosszúságú – lokális, intermedier és regionális – áramlási pályák alakultak ki.

A gravitációs áramlási rendszertől határozottan elkülönül egy alsó nagy energiájú túlnyomásos rezsím. Túlnyomás abban rendszerben mutatható ki, ahol a felszín alatti víz nyomása meghaladja az adott mélységben várható hidrosztatikus nyomást. A területen két fúrásban fordul elő egyértelműen túlnyomás: a Tengelic (K-37) és a Kiskőrös (KisK-É-1) fúrásokban. A PAET-30-as, PAET-34-es és a Jánoshalma-Új-18-as fúrásokban észlelt nyomás többlet oka nem egyértelmű, de a hidrodinamikai modellezésnél figyelembe lett véve az anomália. A túlnyomást, mint a Pannon-medencében, főként a Nagyalföldi-medencében itt is alapvetően a kompakció, a tektonikus kompresszió és az aquatermális nyomás alakíthatja ki [9]. A vizsgálati területen rendelkezésre álló adatok azonban nem elégendők az okok pontos meghatározására.

3.3.2.3 A felszín alatti vizek utánpótlási viszonyai a regionális vízföldtani vizsgálati területen

A vizsgálati területen a gravitációs rendszer utánpótlódása a csapadék beszivárgásából származik. Emellett más tényezők is előfordulnak, mint pl. a települési és ipari szikkasztások, csatornák és vízvezetékek elszivárgásai, kisvízfolyások ideiglenes rátáplálása a felszín alatti vízre, de ezek hatása csak lokális, és elhanyagolható mértékű a csapadék szerepéhez képest.

A vizsgálati terület porózus kőzetekből álló gravitációs áramlási rendszerében a tárolt felszín alatti vizek legfontosabb területi forrása a csapadékból származó, talajvizet elérő beszivárgás, természetes megcsapolásukban pedig a talajvízpárolgásnak (fizikai párolgás és növényi párologtatás) van döntő jelentősége, különösen a vizsgálati terület alföldi részén. A kettő előjeles összege adja meg a vertikális talajvízforgalmat. A telített közeg vízháztartási mérlegének e két eleme időben változó, és nagymértékben függ a klimatikus viszonyoktól.

A regionális vizsgálati terület dunántúli részén az évi középhőmérséklet 10-10,5 °C között alakul, az évi átlag értéke a terület magasabban fekvő nyugati és déli részein az alacsonyabb. A vizsgálati terület Duna-völgyi része Magyarország legmelegebb vidékei közé tartozik. Az évi középhőmérséklet sokéves átlaga 11,0 °C körüli. A meteorológiai állomások észlelési adatai alapján az évi középhőmérsékletekben folyamatos emelkedés tapasztalható. Az átlaghőmérsékletek területi eloszlása meglehetősen homogén. A dunántúli területen az éves csapadékösszeg 550-650 mm között alakul. A Sió-csatornától délre eső területek a csapadékosabbak, Dunaföldvár közelében a legalacsonyabb a csapadék éves összege. A vizsgálati terület alföldi része az ország mérsékelt csapadékos területei közé tartozik, az éves csapadékösszeg 500-550 mm. A csapadék mennyisége délről észak felé haladva fokozatosan csökken.

Az OMSZ által üzemeltetett mérőállomások közül Paksra állt rendelkezésre 16 éves (2000-2015) napi minimum-, maximum- és középhőmérséklet, csapadékösszeg és relatív páratartalom idősor [278]. Ez a klimatikus viszonyok jellemzésére általánosan alkalmazott 30 éves intervallumnak csak kb. a fele, és önmagában semmilyen információt nem ad a területi különbségekről. Emiatt a meteorológiai adatok forrásaként a CARPATCLIM projekt [319]

adatbázisa lett használva. Az adatbázisból a csapadék, a napi középhőmérséklet és a relatív nedvességtartalom adatok kerültek felhasználásra. Az adatok napi bontásban az 1961-2010 közötti intervallumra érhetők el. Az adatbázis térbeli felbontása földrajzi koordináta rendszer szerint $0.1^\circ \times 0.1^\circ$, a modellezett területet 54 cella fedi le, a cellákon belül a meteorológiai változók homogének.

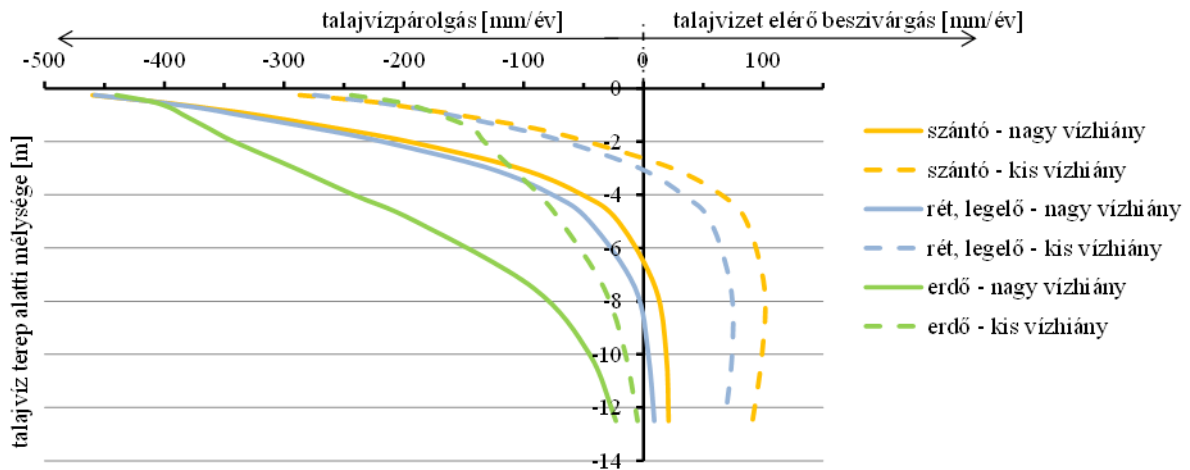
A klimatikus viszonyok mellett az effektív beszivárgást meghatározó legfontosabb tényezők a domborzat, a területhasználat, a talaj vastagsága és fizikai félesége.

A morfológiai viszonyokat tekintve a Dunától keletre eső terület meglehetősen homogénnek tekinthető, a síkvidéki, csupán mikro domborzati léptékben tagolt felszín a dél-keleti csücsökben töri meg a Duna-Tisza köze hátsági részének betüremkedése. A csatornákkal, fokokkal sűrűn behálózott Duna-völgy mélyártéri terület, amelynek lejtésiránya észak-dél. Ezzel szemben a vizsgált terület nyugati oldala magasabb térszínű, patakmedrekkel szabdalt, változatos domborzatú. A nyugati peremen húzódó Tolnai-Hegyhát legmagasabb pontja 256 mBf, a Völgység területén 150 mBf átlagmagasságú dombsorok húzódnak, a Mezőföld legmagasabb pontja 214 mBf.

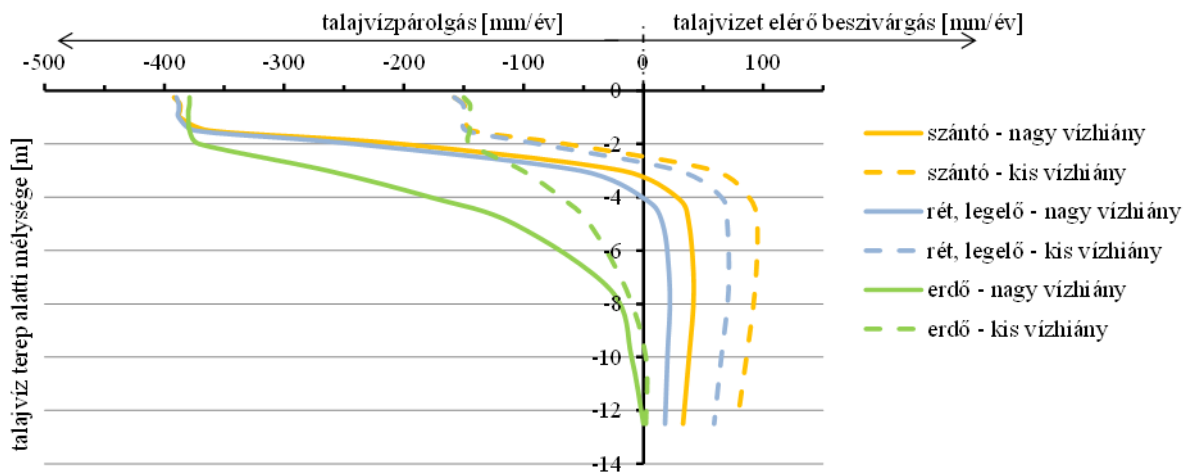
A beszivárgást meghatározó másik jelentős tényező a területhasználat. A talajvízháztartási modellezés számára a felszínborítási elemzés a Corine Land Cover (CLC, forrás: FÖMI) adatbázis alapján készült. A vizsgálati területen a mezőgazdasági terület, szőlő, gyümölcsös a domináns földhasználat (69,6%). Az erdők (15,7%) az árterekhez és a magasabb térszínűkhöz köthetők. Összefüggő erdő csak a dombvidéki területeken (Dél-Mezőföld, Tolnai-hegyhát és Völgység), valamint az Illancs területén található. Rétek, gyepek (4,9%) az erdők közé ékelődve kisebb foltokban, valamint nagyobb kiterjedésben a Duna-Tisza köze általában szikes jellegű laposain található, a vizenyős, magas talajvízállású területek (2,9%) is itt jelennek meg nagyobb területen.

A felszín közeli hidrológiai folyamatok szempontjából legfontosabb felső 1 m talajfizikai féleségei az AGROTOPO adatbázisból (forrás: TAKI), az altalaj fizikai féleségei pedig a felső 10 m-t jellemző felszín közeli képződmények közet kifejlődési térképe (TATIP) adatbázisból (forrás: MFGI) származnak. A domináns fedőtalaj a vályog, de homokos vályog és homok is nagy területeken jelenik meg. Nagyobb, összefüggő homokfelszín a Duna-Tisza köze hátsági részének peremén (Illancs és Bugaci-homokhát) és a Dél-Mezőföld északi részén található. A kötöttebb és nagy szervesanyag tartalmú talajok ezek közé ékelődnek be foltszerűen.

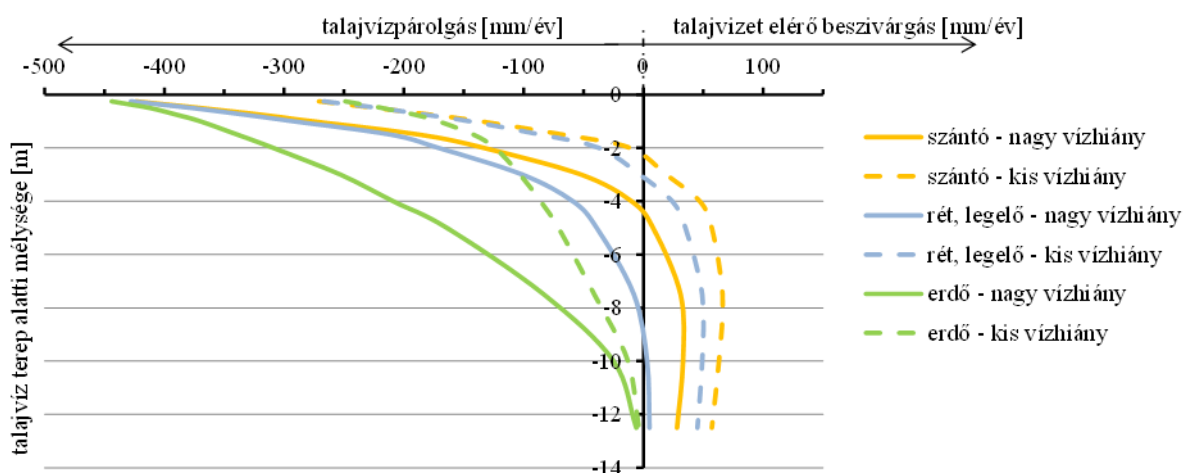
A regionális vízföldtani vizsgálati területen az effektív beszivárgás mértéke a fentiek figyelembe vételével, modellezéssel került meghatározásra. A meteorológiai, talajtani, területhasználati és domborzati viszonyok alapján típusszelvények kerültek definiálásra, és ezek alapján kerültek meghatározásra a talajvízháztartási jelleggörbék (324. ábra 325. ábra 326. ábra). A környezeti jellemzők területi változékonysága technikailag nehezen kezelhető mennyiségű típusszelvényt jelentett volna, ezért a vízháztartási szempontból hasonlóan viselkedő sekély földtani szelvények összevonásra kerültek, a meteorológiai idősorok száma pedig klaszterezéssel csökkent, így összesen 889 típusszelvényrel jellemezhető volt a modellezett terület. A talajvízháztartási jelleggörbék meghatározásánál típusszelvényenként 12 különböző talajvízálláshoz került számításra az átlagos beszivárgás és talajvízpárolgás értéke, amelyek a szimulációk eredményeként lekérdezett lefelé és felfelé irányuló alsó peremi fluxusok idősorainak átlagaiból lettek képezve. A két mennyiség előjeles összege adja meg az adott talajvízálláshoz tartozó nettó talajvízforgalom értékét.



324. ábra 1 m vályog fedőtálat, 9 m vályog altalaj típusszelvényre jellemző talajvízháztartási jelleggörbe.



325. ábra 1 m homok fedőtálat, 9 m homok altalaj típusszelvényre jellemző talajvízháztartási jelleggörbe.



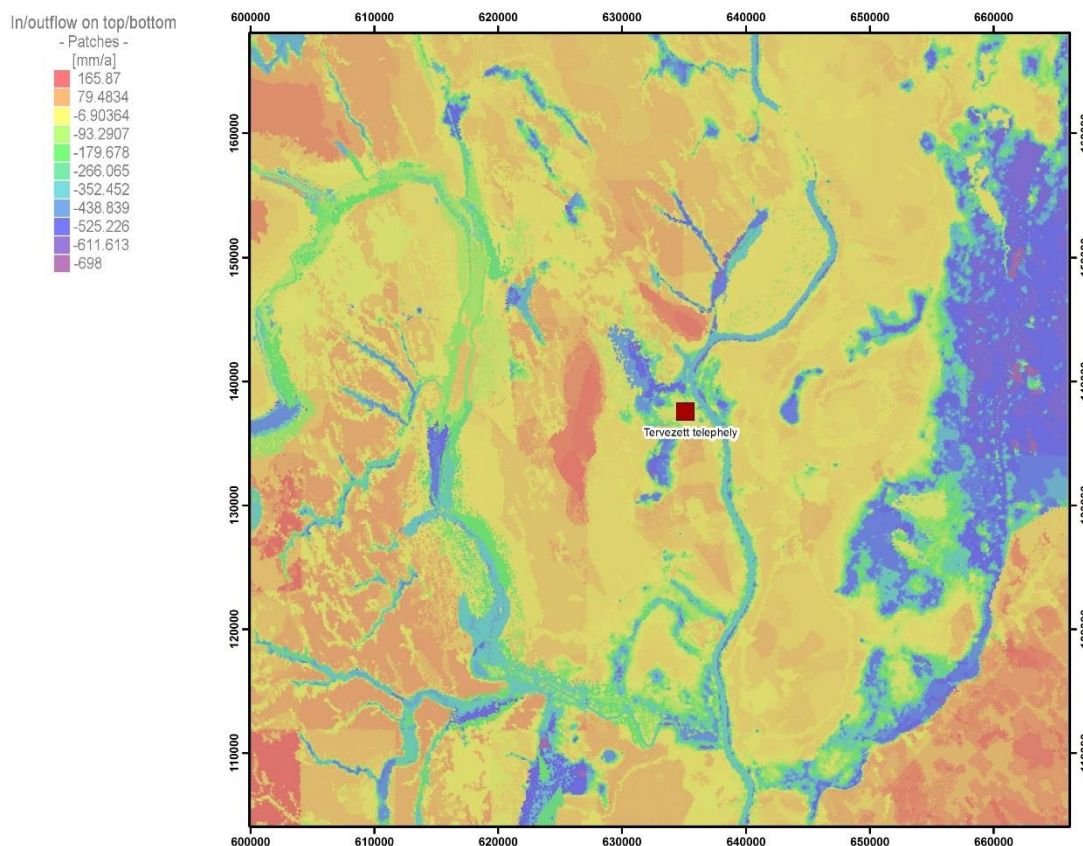
326. ábra 1 m vályog fedőtálat, 4 m agyag és 5 m homok altalaj típusszelvényre jellemző talajvízháztartási jelleggörbe.

A vizsgálati területre modellezett effektív beszivárgás értékeket a 327. ábra mutatja be. Az ábrán megfigyelhető, hogy a fő, jelentősen pozitív beszivárgási mérleggel bíró

részterületek (50 mm/év felett) egyértelműen a kiemeltebb, dombvidéki térszínhez kapcsolódnak, melyek elsősorban a Dunától nyugatra figyelhetőek meg. Közülük a legkiterjedtebbek elsősorban a Szekszárdi-dombság, a modellterület nyugati részén húzódó Völgyesség, a Tolnai-Hegyhát. Ezekhez kapcsolódik még a Duna és a Sárrét völgye között húzódó lösszel fedett Közép- és Dél-Mezőföldi tájegység, mint jelentős helyi beszivárgási terület. A Dunától keletre helyezkedik el a viszonylag jelentős beszivárgású Illancs, mely a regionális modellezési területen az egyik legnagyobb, akár 100 mm/év feletti utánpótlódással bíró részegység.

Lokálisan jelentősen negatív beszivárgási mérleggel bírnak az alacsonyabb térszínen elhelyezkedő területek. Ezek közül kiemelkedik az alföldi részt uraló szikes-tavak körzete, melyek extrém magas tényleges párolgási értékekkel jellemezhetőek, így ezen a területen gyakorlatilag nincs beszivárgás, a talajvíz párolgásból származó megcsapolása akár elérheti az 500 mm/évet. Az extrém negatív beszivárgás mérleggel jellemezhető terület dél-délnyugat irányába folytatódva, folyamatosan vékonyodó sávban a Duna-völgyi-főcsatorna mentén tagozódik be a Duna környezetébe, a modellterület fő megcsapolási egységét alkotva.

Ezen túlmenően a fontosabb vízfolyások környezetét szintén jelentős párolgási felületként lehet értékelni, helyenként akár több száz milliméteres negatív beszivárgási egyenleggel. Fentiek közül különösen jelentősnek számít egységesen a Duna völgye, a Sárvíz, a Sió, illetve a Kapos vízrendszere. Kiemelhetőek még jelentős víz-, és így párolgási felületként az egyes holtágak, természetes eredetű halastavak, illetve az állandóan vizenyős területként jellemezhető láprétek, mocsarak.



327. ábra A modellben alkalmazott beszivárgás értékek területi eloszlása, mm/év értékben.

3.3.2.4 A felszín alatti vizek és a felszíni vizek kapcsolata

Az elemzések alapját három értékelő jelentés képezi, amelyekben az adatelemzések részletesen is megtalálhatók:

- Gondár K. ed. (2016): Vízföldtani reambuláció a regionális vizsgálati területen (MÁ/PA2-15-HI-05) 770[113]
- Gondár K. ed. (2016): Hidrometeorológiai és hidrológiai adatok beszerzése, paraméterezése a regionális vízföldtani modell kiterjedésének területéről [110]
- Gondár K. ed. (2016): A telephely tágabb környezetében meglévő kutak, források és kisvízfolyások hidrogeológiai kiértékelése [107].

A koncepcionális modell alapján, a vizsgálati területen a gravitációs rendszer kisebb-nagyobb mértékű megcsapolási pontjainak tekinthetők a források, a kisvízfolyások, a belvízcsatornák, az élővízfolyástól már lefűződött, mentett oldali holtágak, az édes-, és sósvízű lápok és mocsarak területe, valamint a legjelentősebb szerepet betöltő Duna. A Duna és a felszíni vizek nemcsak a felszín alatti áramlási rendszer mennyiségi viszonyait határozzák meg, hanem a források fakadási szintje, a vízfolyások medrének feneké, a Duna vízszintje a potenciálviszonyokat is meghatározza, vagyis a hidrodinamikai modell számára fontos peremfeltételek.

A regionális vizsgálati területre a Duna 1491–1565 fkm közötti szakasza esik. A folyó átlagos szélessége 400-600 m, esése Fajszig 6-8 cm/km, az alatt pedig 4-5 cm/km. A Duna közelében elhelyezkedő területek talajvízszintjét a beszivárgáson kívül a dunai vízállások is befolyásolják, ez a terület a Duna hidrodinamikai hatásterülete. A Duna a vízjárásától függően, különböző módon és mértékben hat a talajvízre. Kis-, és középvíz idején a Duna megcsapolója a háttér felől szivárgó felszín alatti vizeknek. Az árhullámok talajvízszint emelkedést idéznek elő, ezt azonban többnyire nem a talajvíztartóba történő tényleges beszivárgás okozza, hanem a talajvíz visszaduzzadása miatt jön létre. Az árhullám hatása a háttér felé nyomáshullámok formájában terjed, és a talajvízszintben növekedést eredményez. A nyomáshullámok terjedését a magas szivárgási tényezővel jellemezhető kvarter kavics, homok összlet közvetíti a háttér felé. A Duna közelében, a távlati vízbázisokon található monitoring kutak talajvízjárásának és a Duna vízszintjeinek korreláció számítása alapján megállapítható, hogy a legtávolabbi kút, amelyben a talajvízjárás még korrelál a Duna vízszintjével, a jobb parton a Dunától kb. 328 m-re, a bal parton a Dunától kb. 570 m-re található. A Tervezett telephely környezetében a legtávolabbi monitoring kutakban az árhullám csúcsok már nem látszódnak, a Duna hatásterülete egy kb. 1000 m-es sávra terjed ki.

A mederből tényleges vízbehatolást a hirtelen vízállás emelkedés, vagy a nagyon magas árhullám csúcsok válhatnak csak ki. Ez azonban csak a nagyon jó szivárgási tényezővel jellemezhető kavics-összleteken keresztül történhet. A meder anyaga a dunaföldvári híd térségében kemény márgás, alatta Kalocsáig durvább szemcséjű kavics és homok, Kalocsa alatt pedig finom szemcséjű homok és iszap a jellemző. A természetes folyamatokat módosítja, ha a partszakaszon hosszútávon partiszűrősű termelőkút működik. A hatásterület ilyenkor a termelőkútsorig húzódik, és tényleges vízbeáramlással lehet számolni. A vizsgálati területen két üzemelő partiszűrősű vízbázis található: a *Foktő-Barákai vízbázis* Kalocsa vízellátására, és a Szekszárd város vízellátására létesült Fadd-Dombori-Bogyiszló Északi vízbázis.

A Tervezett telephely területén az FKP során végzett mederkapcsolati vizsgálatok szerint, a Duna vízének talajvíztartó rétegekbe történő beáramlása csak 2000-3000 l/perc termelés, és 88,0 mBf Duna vízállás felett történik meg.

A regionális hidrogeológiai vizsgálati területen a Duna jobb partján található kvázi természetes állapotú kisvízfolyások. A Mezőföldről a Dunába torkolló jelentősebb jobb parti kisvízfolyások: Nagykarácsonyi-vízfolyás, Kert-kanális, Dunakömlödi-főcsatorna, Csámpai-patak. A Mezőföld maradék részéről a Sárvíz irányába folynak a vizek. Jelentősebb vízfolyások: Alap-Cecei-vízfolyás, Piszkeri-patak, bikácsi Malom-árok, Nagydorogi patak, Éri-patak. A Tolnai-hegyhát és a Szekszárdi-domság vizeinek nagy részét a Sió gyűjti össze. A dombvidékről a Kisszékelyi-árok, Donát-patak, Hidas-patak, a Völgyégi-patak és mellékvizei és a Parásztai-árok vezetik a vizeket a Sió irányába. A dombvidék kisebbik részéről a déli irányba tartó Szekszárdi-Séd vezeti el a vizeket.

A vizsgálati terület Dunától keletre eső, alföldi része más jellegű vízrajzzal jellemezhető. A Duna és a Duna-völgyi-főcsatorna közti terület csatornákkal sűrűn átszőtt, jelentősebbek a Sárközi I., II., III. csatornák [251]. A jelenlegi csatornarendszer mesterséges vízfolyásokból áll, amelyek a valamikori fokmedrek és mélyedések összekötése révén jöttek létre. A mederesés kicsi, lassú folyású csatornák a jellemzőek. A fokmedrekben húzódó vízfolyás-szakaszokra jellemző a csésze alakú meder, jelentős 20-25 m-es szélesség, a mesterséges szakaszok 5-10 m-es fenékszélességgel, trapéz szelvényvel épültek meg. Foktónél, Érsekcsanádnál és Vajastoroknál (Ósükösd) közvetlen dunai kivezetés biztosítja a belvizek levezetését.

A vizsgálati terület nagyobb vízfolyásainak vize a szomszédos területekről érkezik. A vizsgálati területen fakadó hegy- és dombvidéki vízfolyások vize az év túlnyomó részében a felszíni lefolyásból származik. Kisvízi időszakban, amikor nincs felszíni lefolyás, a kis és közepes méretű vízfolyások alaphozama teljes egészében a felszín alatti vízből származik. A felszín alatti víz a vízfolyások medrében, a fellazult szerkezetű, ezért jó vízvezető képességű allúviumon keresztül lép a felszínre. A síkvidéki vízfolyások nagy része időszakos jellegű, és nincs számottevő felszín alatti készlete, a közvetlen környezete talajvizének átmeneti megcsapolása nem jelentős. A belvízcsatornák vizének mennyisége az év nagy részében nem természetes eredetű. A hidrodinamikai modellezés szempontjából a kisvízfolyások augusztusi 80%-os tartóssággal előforduló alap-vízhozama a meghatározó, ez származtatható a felszín alatti lokális áramlási rendszerekből.

A vízföldtani modellezési terület Dunától nyugatra eső részén számos, mintegy 160 db kisebb-nagyobb állóvíz található. A tavak többsége duzzasztott tározó, sekélyek, vagy nagyon sekélyek, az üzemeltetéstől függően időszakos vízborítottságúak, felszín alatti víz utánpótlásuk nem jellemző.

Megcsapolónak tekinthető azonban az összes olyan állóvíz, ami felszíni utánpótlással nem rendelkezik, a párolgással távozó vízkészlet a talajvízből, vagy mélyebb régióból feláramló vízből táplálkozik. Ilyen, az áramlási rendszer szempontjából kulcsfontosságú terület a vizsgálati terület ÉK-i részén található meszes-szódás szikes puszták, amelynek mélyedéseiben lefolyástalan, magas sótartalmú (2500-4000 g/m³) szikes tavak, szikes mocsarak, nádas mocsarak alakultak ki. Ezek az időszakos vízborítású területek a regionális, mély áramlási pályák megcsapolási területei. Az eddigi elképzelésekkel [197] szemben azonban nemcsak a Homokhátság regionális megcsapolói, hanem a Dunántúl felől, nyugat felől érkező mély felszín alatti áramlási rendszereknek is.

A megmaradt lápok közül a legjelentősebb az Örjegnek nevezett lápvonulat a Duna-Tisza közti Hátság löszös nyugati peremvidékén [157]. Ennek középső részén található a védett Császártöltési Vörös-mocsár, amely holocén kori Duna-mederben jött létre. A Kalocsai-síkság legmélyebb részén fekvő Vörös-mocsár édesvízű, vízutánpótlását korábban a

Duna áradásainak köszönhetően. Ma az 5-20 méterrel magasabb löszös bácskai perem lokális áramlási rendszerének megcsapolója.

3.3.2.5 A felszín alatti vizek használatára vonatkozó adatok

Az adatok részletes értékelését a „Gondár K. ed. (2016): A vízhasználatok értékelése (MÁ/PA2-16-HI-16)” című jelentés mutatja be [108].

A vizsgálati területen található termelőkutakat és vízbázisokat a „MÁ/PA2-16-HL23-V1 1. térképmelléklet SMARAGD” jelzésű térkép mutatja be [109].

A regionális vízföldtani vizsgálati területen 826 db termelőkút található. 680 db termelőkút rendelkezik legalább 1 db átlagos éves termelési adattal a 2008-2013 időszakra vonatkozóan. Ezek alapján az átlagos éves termelés a 2008-2013 közötti időszakban 16 378 789 m³/év, azaz 44 873 m³/nap volt. A 159. táblázatból látható, hogy a felszín alatti vízhasználatok között a közüzemi vízellátás dominál (85,4%).

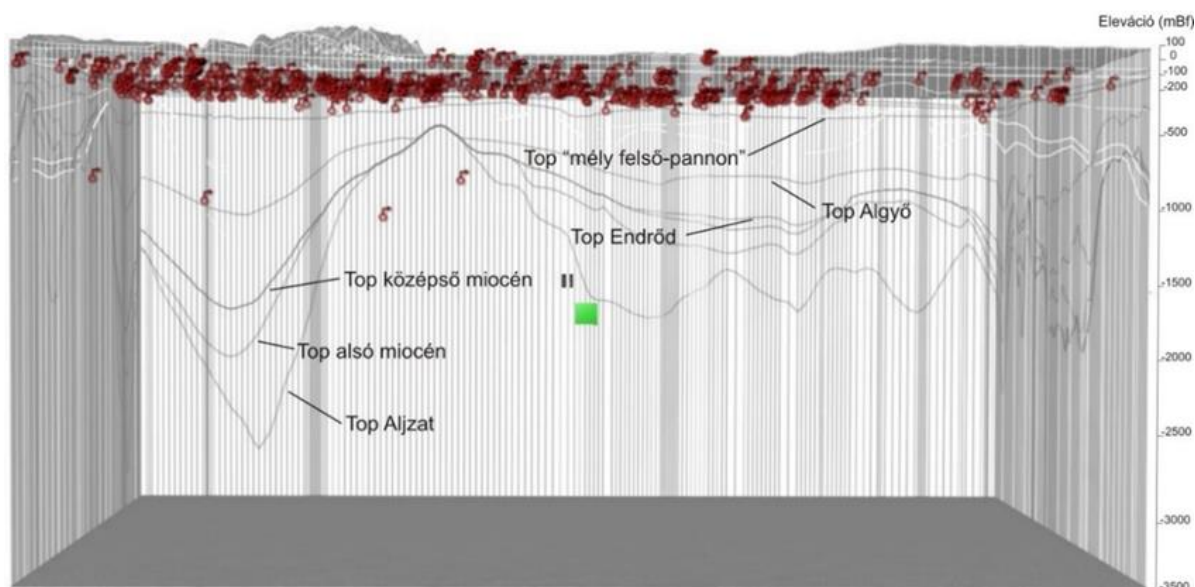
159. táblázat A vízhasználatok a regionális vizsgálati területen

Vízhasználat (2008-2013)		Vízadó kora			Vízhasználat összesen
		kvarter	felső-pannóniai	triász, miocén	
közüzemi vízellátás	éves átlag (m ³)	5 580 880	8 397 017	5 819	13 983 716
	éves átlag (%)	40	60	0	100
	kút darabszám	56	265	1	322
mezőgazdasági egyéb	éves átlag (m ³)	138 238	818 034		956 272
	éves átlag (%)	14	86		100
	kút darabszám	54	125		179
ipari vízhasználat	éves átlag (m ³)	141 080	577 611		718 691
	éves átlag (%)	20	80		100
	kút darabszám	32	37		69
fürdő/gyógyászat	éves átlag (m ³)		458 946	67 250	526 196
	éves átlag (%)		87	13	100
	kút darabszám		13	3	16
mezőgazdasági öntözés	éves átlag (m ³)	87 254	31 753		119 007
	éves átlag (%)	73	27		100
	kút darabszám	39	11		50
egyéb	éves átlag (m ³)	49 318	25 589		74 907
	éves átlag (%)	66	34		100

Vízhasználat (2008-2013)		Vízadó kora			Vízhasználat összesen
		kvarter	felső-pannóniai	triász, miocén	
	kút darabszám	28	16		44
Vízadó kora szerint összesen	éves átlag (m ³)	5 996 770	10 308 951	73 068	16 378 789
Kút darabszám összesen		209	467	4	680

A vizsgálati területen a víztermelő kutak három fő, geológiai felépítésben és vízadó képességben eltérő viselkedésű vízadót csapolnak meg. A vízadók megoszlása szerint a legnagyobb vízmennyiség a felső-pannóniai rétegekből származik (63%), míg a kvarter rétegekből az össztermelés 36,6%-a. A felső-pannóniaiak közül a termelőkutak 90%-ának a szűrőzött szakasza -150 mBf fölött helyezkedik el (328. ábra). Az idősebb triász és miocén vízadókból kitermelt víz aránya nagyságrendekkel alacsonyabb, a teljes kitermelt vízmennyiség mindössze 0,4%-a.

A felszín alatti vízkészletre alapozott víztermelések az ezredforduló után országosan stabilizálódtak. A vizsgált 2004-2013 közötti időszakban a termelés viszonylag kiegyenlített képet mutatott. A legalacsonyabb kitermelt összes vízmennyiség 2005-ben 15 582,7 ezer m³/év volt, a legmagasabb pedig 2007-ben 17 517,6 ezer m³/év.

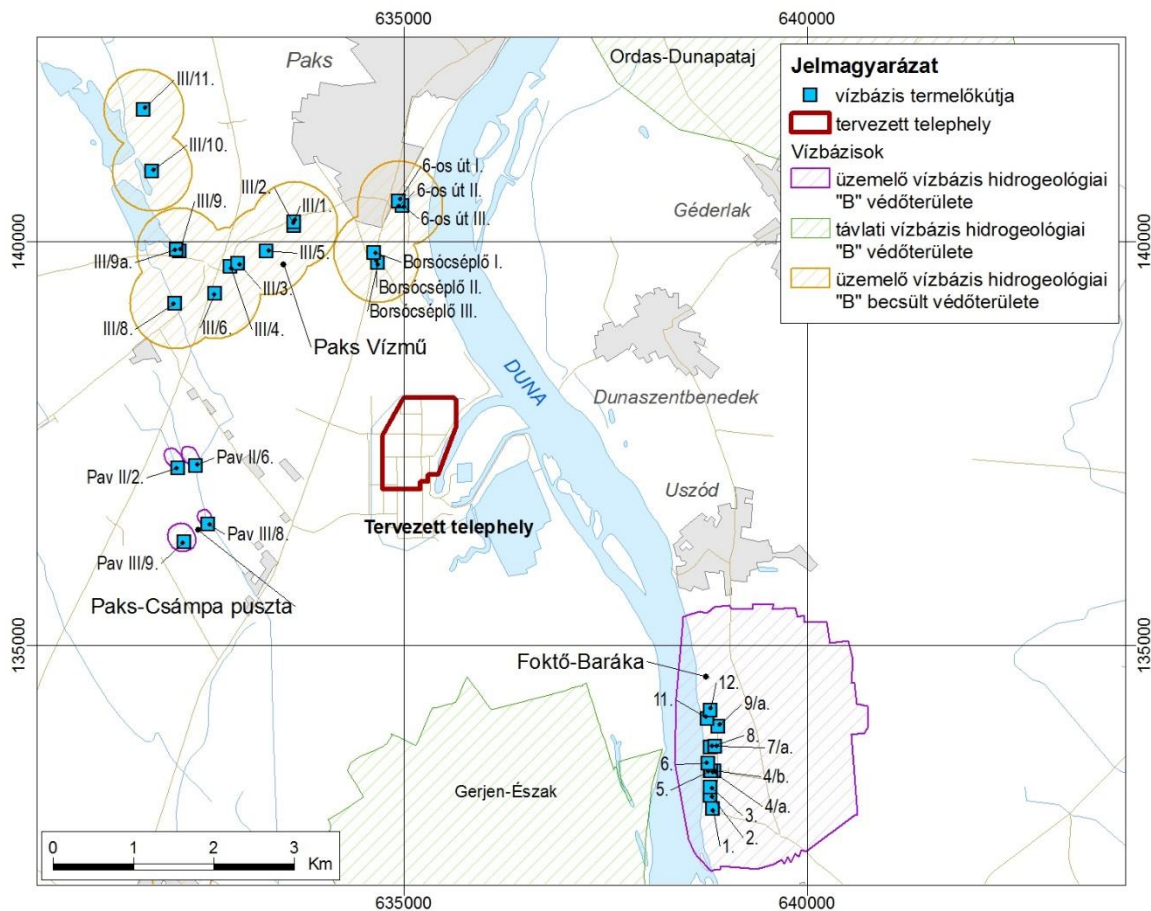


328. ábra A hidrodinamikai modellbe beépített termelések vertikális eloszlása a regionális modellterületen, nyugat-keleti irányú, 10x vertikális túlmagyasítású szelvény.

A Dunamenti-síkság területén, a nagyvastagságú kavicsos, illetve homokos rétegek megléte kedvező feltételeket teremt a partiszűrésű víz kitermeléséhez. A regionális vizsgálati területen a Duna jobb partján 9 db, a bal parton 7 db távlati partiszűrésű vízbázis található, amelyek jogilag is védett potenciálisan kitermelhető vízkészlete 468 000 m³/nap.

A Tervezett telephely 5 km sugarú környezetében három, jelentős vízkivétellel jellemezhető, üzemelő vízbázis található: az atomerőműtől északra, a település déli részén

lévő Paksi vízbázis, az erőműtől nyugatra található Paks-Csámpa pusztai vízbázis, valamint a Duna bal partján, Uszód alatt elhelyezkedő Foktő-Barákai vízbázis 329. ábra).



329. ábra Jelentős vízbázisok a Tervezett telephely környezetében.

3.3.2.6 Az áramlási rendszert felépítő rétegek legfontosabb jellemzői

A vizsgálati területen kilenc, alapvetően egységes vízföldtani tulajdonsággal jellemezhető, regionálisan is jelentős elterjedésű, ezért az áramlási rendszer szempontjából meghatározó hidrosztratigráfiai egység különíthető el. Ezek a hidrosztratigráfiai egységek megegyeznek a numerikus hidrodinamikai modell egyes rétegeivel. Geometriájuk, azaz horizontális és vertikális elterjedésük az FKP alatt végzett kutatások alapján került lehatárolásra: az alsó öt határfelület a 3D szeizmikus mérés, és földtani értelmezés [378], az e fölött lévő felületek a fúrési adatok geostatistikai feldolgozása alapján ([90] 50p.).

3.3.2.6.1 Negyedidőszaki üledékek, kvarter törmelékes sorozat (1. réteg)

A kutatási terület meghatározó vízáadó képződménye a Duna által a holocén-pleisztocén során lerakott homokos, kavicsos összlet, mely egy kiterjedt, kelet felé fokozatosan vastagodó (akár 100-120 méteres), összefüggő vízáadó komplexum. A mezőföldi dombvidékeken akár több tíz méter vastagságú lösz, illetve néhány méter vastagságú futóhomok figyelhető meg a negyedidőszaki üledékekben. A szivárgási tényezők tekintetében ez a változatos közettani felépítés egyértelműen megjelenik az értékek jelentős szórásában (10^{-3} - 10^{-7} m/s között). A

dombvidéki képződmények egyúttal talajvíztartó képződmények is, és a beszivárgás közvetítésében van szerepük elsősorban a Duna-völgy talajvizei, másodsorban a pannóniai rétegvizek irányába. Az utánpótlást biztosító dombvidéki részek alatt a potenciál-szintek a mélységgel csökkennek, azaz ott megvan a mélybeszivárgás lehetősége is az anizotrópia, illetve a földtani kényszerpályák függvényében. Nem termelt, természetes állapotában a Duna-völgyben a rétegvíz potenciálszintje lefelé növekszik, vagyis feláramlási területről beszélhetünk.

3.3.2.6.2 Tengelici Vörösagyag Formáció (2. réteg)

A kvarter vízadó homokos-kavics komplexum fekéjét, a kvarter Tengelici Vörösagyag Formáció rossz vízvezető képességű kőzetei alkotják, leginkább vöröses agyag, aleurolit, helyenként homok betelepülésekkel. A vizsgált területen foltokban van jelen, elsősorban a modellezett terület nyugati részén. Általános vastagsága 30-50 méter közötti, viszont helyenként ez meghaladja a 100 métert is. Szivárgási tényező értékeiben alacsonyabb mind a fedő, mind a fekvő rétegeknél (10^{-5} - 10^{-8} m/s). A formáció alapvetően elszeparálja a kvarter és a felső- pannóniai áramlási rendszereket, ezek kommunikációjára elsősorban a Tengelici Vörösagyag Formáció hiányában van lehetőség, mint egy hidrodinamikai „ablakokat” kialakítva. Ebből következően felszín felől terjedő szennyeződésekkel szemben védetté teszi a felső- pannóniai rétegvízre települő vízbázisokat, mivel gátolja a szennyező anyagok mélybe jutását.

3.3.2.6.3 Felső pannóniai képződmények (3. és 4. réteg)

A felső- pannóniai feltöltődés révén ritmikus homokos és agyagos üledékek (elsősorban az Újfalui Formáció) halmozódtak fel. Ennek következtében a szivárgási tényező értékei az agyag/homok arány függvényében rendkívül nagy szórást mutatnak (10^{-3} - 10^{-8} m/s). A kutatási területen ezek a rétegek 250-600 m-es vastagságot érhetnek el. A terület fontos vízadója az Újfalui Formáció felső homokos kifejlődése. Ez indokolta a vertikálisan igen kiterjedt felső- pannóniai összletek felosztását egy mélyebb és egy sekélyebb rétegre egy nagyjából 50 mBf és 0 mBf között megjelenő első homokos réteg talpa alapján. A felső pannóniai rendszer esetében feltételezhető, hogy az uralkodóan horizontális vízáramlás mellett leáramlás leginkább a dombvidékeken történik, míg a Tervezett telephely környezetében, és az attól keletre eső modell területeken feláramlás jellemző. A feláramlási rezsim jelleg védelemet biztosít a földtani közeg mélyebb rétegei és a bennük tárolt felszín alatti víz részére a felszínről lefelé szivárgó, vízben oldott szennyeződésekkel szemben.

3.3.2.6.4 Alsó pannóniai agyagok-agyagmárgák (5. és 6. réteg)

Az alsó- pannóniai kőzetsorozaton belül külön rétegeként kezeltük az Endrődi, illetve az Algyői Formációt, de közetfizikai paraméterekben egységesek voltak. A legidősebb pannóniai üledéksorozatot alkotó Endrődi Márga Formáció a területen nagy vastagságban mindössze a Keceli-árok környezetében (helyenként 400 méter) fordul elő, az ezt követő Algyői Formáció deltalejtő üledékei (agyagmárga-aleurolit) a kutatási terület egészén általános elterjedésűek és nagy vastagságban fejlődtek ki (300-400 méter). Az alsó- pannóniai Algyői, illetve Endrődi Formációk regionális vízzáró testként viselkednek, szivárgási tényezőjük széles sávban mozog (10^{-5} - 10^{-9} m/s). Egyes lokális mélymedencékben teljesen elszeparált mélységi áramlási rendszert alakíthatnak ki, elzárva a felszín közeli áramlási rendszereket a mélységi hidrogeológiai rezsimtól és megakadályozva az esetleges szennyezőanyagok mélységi beszivárgását.

3.3.2.6.5 Középső miocén (7. réteg)

A középső-miocén során abrázios törmelékes üledékek (Budafai Formáció), pelágikus márgák (Tekeresi Slír és Szilágyi Formáció), majd csökkent sós vízi képződmények (Tinnyei és Kozárdi Formáció) ülepedtek le. A középső-miocén összlet a kutatási terület K-i részén egyes aljzat magaslatokról hiányzik, a nyugati területen viszont csak a mélyebb árkokban jelenik meg, összességében egy 200-400 méter között változó vastagságban. A réteg paramétereit pontos vízföldtani adatok hiányában csak becsülni lehetett, ezt a kalibráció eredménye szolgáltatta (szivárgási tényezője 10^{-6} m/s), mely általánosságban egy viszonylag jó szivárgási tényezőjű rétegre utal.

3.3.2.6.6 Alsó miocén (8. réteg)

A kora-miocénben vulkanoklasztikus sorozatok (Gyulakeszi Riolituffa és Mecseki Andezit Formáció) ülepedtek le, illetve tavi-folyóvízi törmelékes üledékek (Szászvári Formáció) halmozódtak fel a tektonikus árkokban. Az üledékes képződmények az aljzat magaslatoknál kiékelődnek, továbbá a Keceli-árok területéről hiányoznak. A vulkanikus képződmények alapvetően a Kapos-vonaltól északra elhelyezkedő medencékben (Tengelic-Paks-Géderlaki-süllyedék) halmozódtak fel nagy vastagságban (1000 méter felett). Pakker tesztek alapján a réteg egy záró testként lett kezelve (szivárgási tényezője 10^{-11} m/s alatti), mely gyakran hidrodinamikailag egységesen viselkedett a pre-tercier aljzattal.

3.3.2.6.7 Pre-tercier aljzat (9. réteg)

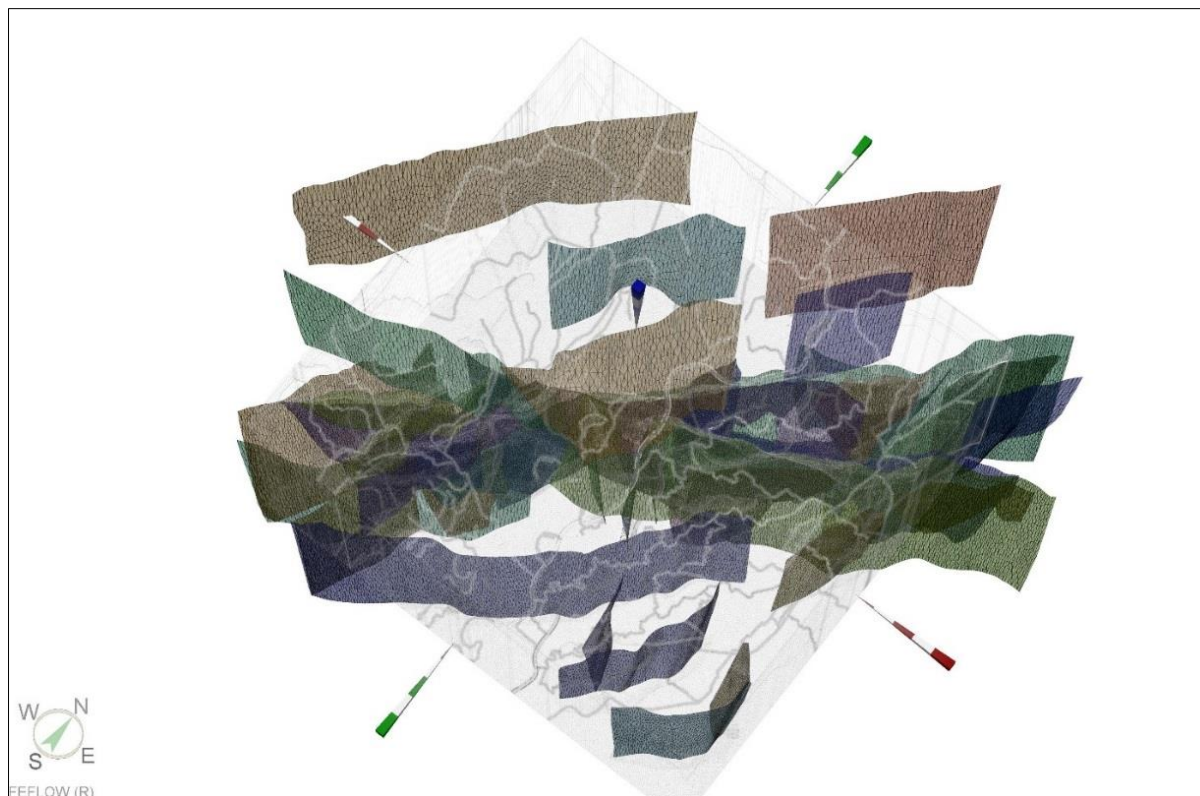
A hidrodinamikai modell legalsó rétegét a pre-tercier aljzat alkotja, melyet részben variszkuszi metamorfitek és granitoidok, illetve permo-mezozoos sziliciklasztos és karbonátos kőzetsorozatok alkotnak. Az aljzattető helyenként a felszín néhány száz méteren belül megközelítve (Németkéri, Tolnai-magaslat), máshol mély 2000 méter alatti medencéket (Ozorai, Keceli, Géderlaki-árok) alkotva jelenik meg. Áramlási rendszerükről kevés, pontszerű adat áll rendelkezésre, pakker tesztek alapján általánosságban alacsony szivárgási tényezőjű testként lehet vele számolni (10^{-8} m/s körüli szivárgási tényező értékkel). Feltételezhető, hogy a kiemelt aljzat magaslatok a fedő üledékekkel összekapcsolódva gravitáció által hajtott áramlási rezsimet alkothatnak, míg a mélyebb részekben gyakran kialakulhatnak túlnyomásos részterületek. Ezenkívül valószínűsíthető mélységi, magas oldottanyag tartalmú vizek aljzaton keresztüli feláramlása, melyben kulcsszerepe lehet a széles, repedezett vetőzónáknak. Ezeket összegezve megállapítható, hogy az aljzattól elsősorban feláramlás figyelhető meg, ebből következően esetleges szennyező anyagoknak nincs lehetőségük nagy mélységbe szivárogni.

3.3.2.7 Vetőzónák az áramlási rendszerben

A 3D földtani modell szerint [378] a vizsgált területen az ÉK-DNy-i csapásirányú vetőzónák oldalelmozdulásos ÉNy-DK-i tenziós, és erre merőleges kompressziós feszültségtérben keletkeztek. Ennek következtében feltételezhető, hogy az ÉK-DNy-i csapású vetőzónák hidrodinamikailag aktívak. Ezzel szemben a feszültségtérre közel merőleges csapású vetők, „kvázi” záró vetőként értelmezhetők. Az összes szerkezeti elem esetében horizontálisan, azaz a vetősíkokra merőlegesen gyengébb szivárgási tényező adható meg. A vetők vertikális szivárgási tényezője mindig egy nagyságrenddel nagyobb, mint a környezeté. Ennek elméleti alapját az a feltételezés adja, hogy a túlnyomásos zónák, limitált mértékben, de hidrodinamikailag kommunikálhatnak a fedő üledékekkel. Alapvetően

vagy a vízzáró pannóniai üledékek kiékelődéseinél, vagy a vetőzónákon keresztül találkozhat a gravitációs és a túlnyomásos áramlási rendszer.

A vizsgálati területen a szeizmikus modellben feltüntetett vetők több cellára, illetve rétegre is kiterjedő testként (vetőzónaként) kerültek megjelenítésre. Ebben az egyes szerkezeti elemek x,y,z ponthármas-sorozattal jellemezhetőek, és a numerikus modellben ehhez igazított rácshálóval, 3D-s testként kerültek beépítésre. (330. ábra).



330. ábra A numerikus regionális vízföldtani modellbe beépített vetők.

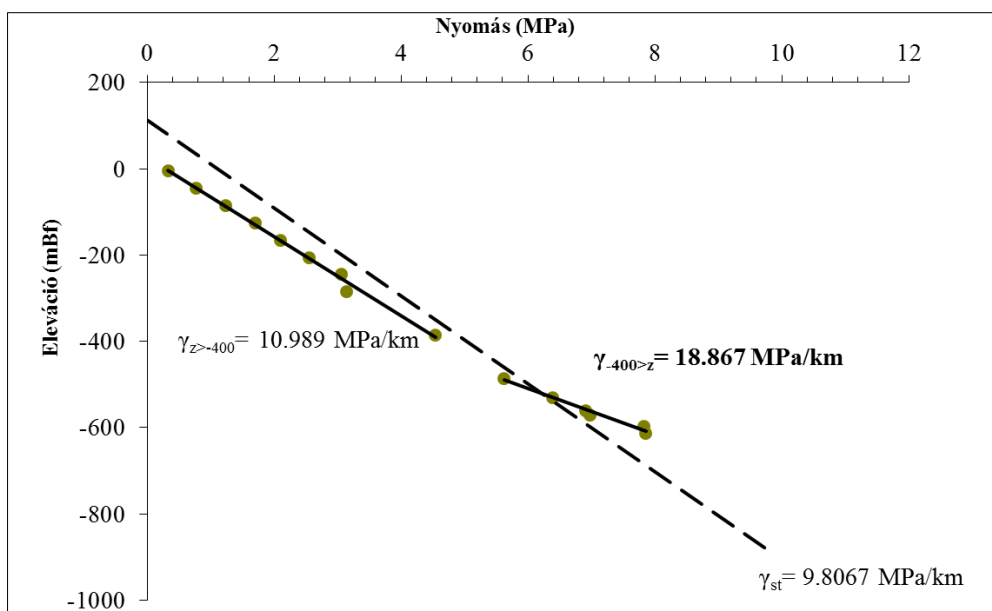
3.3.2.8 Túlnyomásos zónák kimutatása az áramlási térben

A mélyebb áramlási egységekről kevés vízföldtani információ áll rendelkezésre. A víztermelés nagy része a felső, porózus rétegekre koncentrálódik, így a felső- pannóniainál idősebb testeket elsősorban szénhidrogén, illetve termásvíz termelés céljából kutatták és fúrták meg. A pre- pannóniai és a pre-kainozoos kristályos és karbonátos aljzat nyomásviszonyairól mindössze a korábbi kutató fúrások, illetve az FKP során kialakított PAET jelű fúrások adnak pontos információkat.

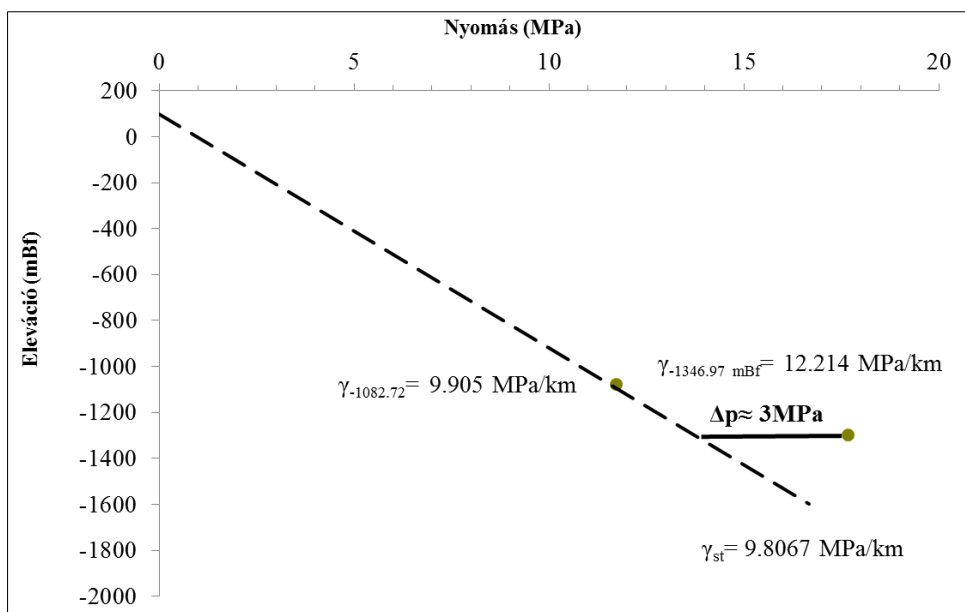
A kiemelt háttak felszín alatti vízáramlási pályái, túlnyomórészt azonos gravitációs rendszerbe tartoznak, mint a felső- pannóniai rétegvizei. Ezeken a helyeken a nyomásmélység profilok elemzése arra utal, hogy az alsó- pannóniai üledékek kiterjedése, vastagsága vagy agyagtartalma nem elegendő adott helyen a két áramlási rendszer (a mélyégi és a felső-pannóniai) elszeparálására. Ott viszont, ahol az alsó- pannóniai Algyői Formáció, és Endrődi Formáció vízzáró testként viselkedik, lokális mélymedencékben teljesen elszeparált mélyégi áramlási rendszert alakíthatnak ki. Túlnyomás abban a rendszerben mutatható ki, ahol a felszín alatti víz nyomása meghaladja az adott mélységben várható hidrosztatikus nyomást. A kutak nyomás profiljának elemzése során mélyégi túlnyomásra utaló nyomásértékeket mindössze

két fúrásban lehetett egyértelműen kimutatni: a Tengelic K-37 (331. ábra) és a Kiskőrös KisK-É-1 (332. ábra) fúrásokban. A PAET-30-as (333. ábra), PAET-34-es (334. ábra) és a Jánoshalma-Új-18-as (335. ábra) fúrásokban észlelt nyomás többlet oka nem egyértelmű, de a hidrodinamikai modellezésnél figyelembe lett véve az anomália. A tengelici, illetve a PAET-34-ben észlelt, a hidrosztatikus nyomást ~ 1 MPa-al meghaladó nyomástöbblet területileg a Tengelic-Paks árokszerkezethez kapcsolható (336. ábra). Az árokszerkezet DNy-i oldalán, két normálvető által közre zárt részegységen a PAET-30-as fúrás nyomásszintje is hasonló, ~ 1 MPa-os eltérést mutat a hidrosztatikushoz képest. A Kisk-É-1-es fúrás pakker tesztekkel vett adatai jelentős, majdnem ~ 3 MPa túlnyomást mutatnak. A fúrásban a túlnyomás, mind a mezozoos (karbonátos-mészmárgás) aljzatban, mind a fedő alsó-pannóniai finomszemcsés üledékekben kimutatható.

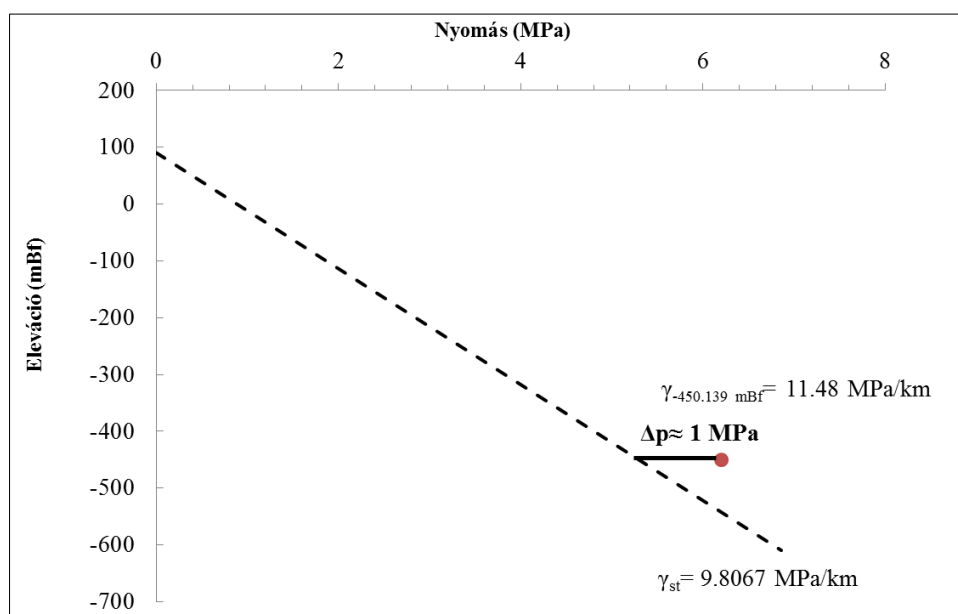
A modellezett területen belül a rendelkezésre álló vízföldtani adatok több mint 95%-a 1000 m-nél sekélyebb mélységből származik. Feltételezhető, hogy a fúrásokkal nem érintett a ~ 2000 m-nél mélyebb szerkezeti árkokban máshol is megjelenhet a túlnyomás. Mindazonáltal ezek a modellezés során nem lettek figyelembe véve, tekintettel arra, hogy sem a nagyságuk, sem a kiterjedésük nem becsülhető.



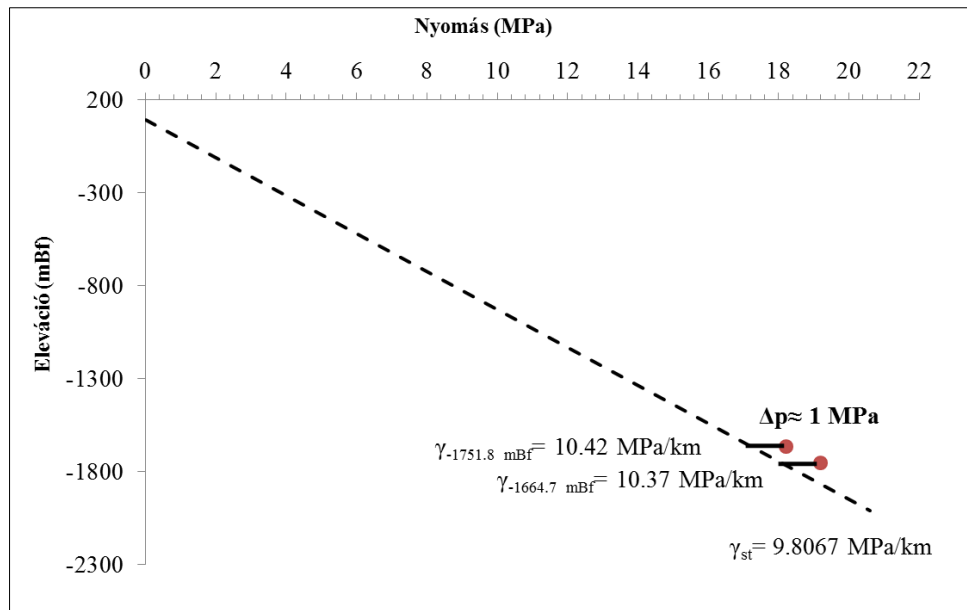
331. ábra A tengelici K-37-es kút kiértékelt $p(z)$ -profilja, melyen látható a pontokra illesztett egyenesek meredekségéből számolt vertikális nyomás gradiens érték



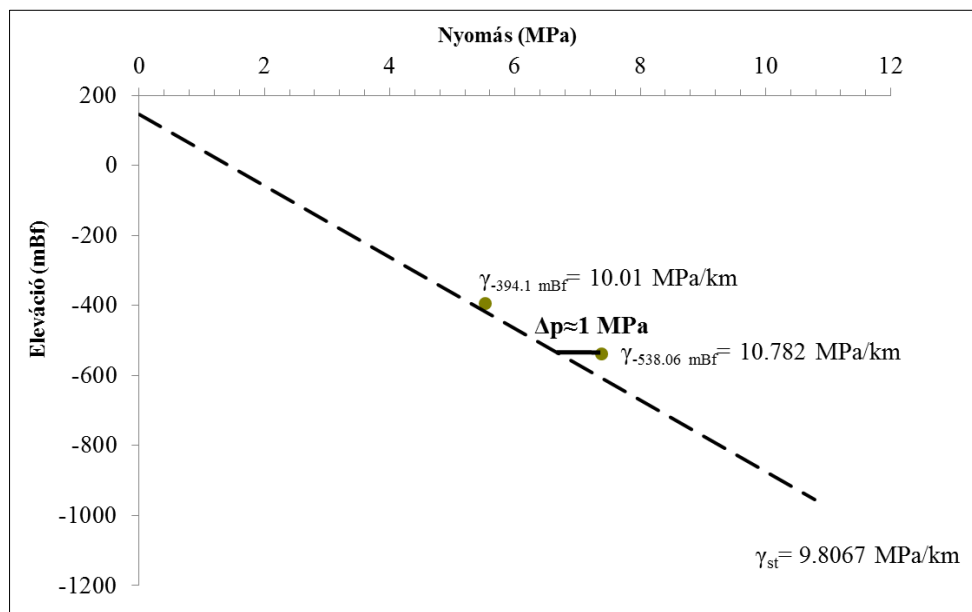
332. ábra A KisK-É-1-es szénhidrogén kutatófúrás kiértékelt p(z)-profilja, melyen a mért érték és a hidrosztatikus görbéhez képesti eltérés látható (Δp)



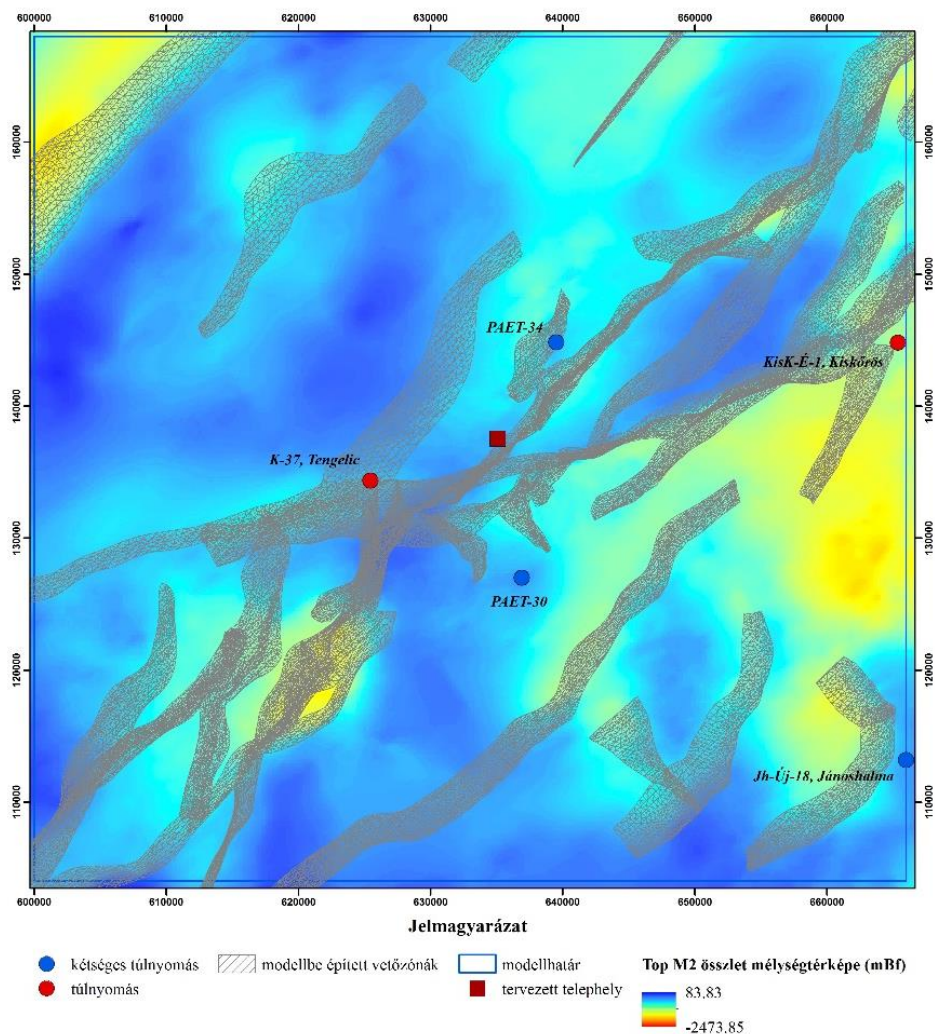
333. ábra A PAET-30-as fúrás kiértékelt p(z)-profilja, melyen a mért érték és a hidrosztatikus görbéhez képesti eltérés látható (Δp)



334. ábra A PAET-34-es fúrás kiértékelt p(z)-profilja, melyen a mért érték és a hidrosztatikus görbéhez képesti eltérés látható (Δp)



335. ábra A Jánoshalma-Új-18 szénhidrogén kutatófúrás kiértékelt p(z)-profilja, melyen a mért érték és a hidrosztatikus görbéhez képesti eltérés látható (Δp)



336. ábra A túlnyomásos kutak a felső-miocén mélységtérképen, az értelmezett vetőpoligonok feltüntetésével

3.3.2.9 A regionális felszín alatti áramlási rendszer ismertetése

A modellezés menetének és az eredmények részletes ismertetése a „Gondár K. (2016): Regionális vízföldtani modell elkészítése (MÁ/PA2-16-HI-22)” című jelentésben található.

A felszín alatti áramlási rendszer hidrodinamikai és hőtranszport modellezéssel került meghatározásra. A folyamatok megfelelő leképzése, valamint a jelentősen eltérő adatsűrűségű területek miatt a véges elemes módszert alkalmazó FEFLOW 6.1. szoftver hőtranszportos modulja került kiválasztásra. A DHI-WASY által fejlesztett FEFLOW (FiniteElementsubsurface FLOW system) programmal felszín alatti folyadékszivárgás, oldott szennyeződések transzportfolyamata és/vagy hőtranszport folyamatok modellezhetők, mely beépített numerikus megoldói segítségével komplex geológiai felépítésű, repedezett és porózus víztárolók hidrogeológiai és geotermikus problémakörei vizsgálhatók.

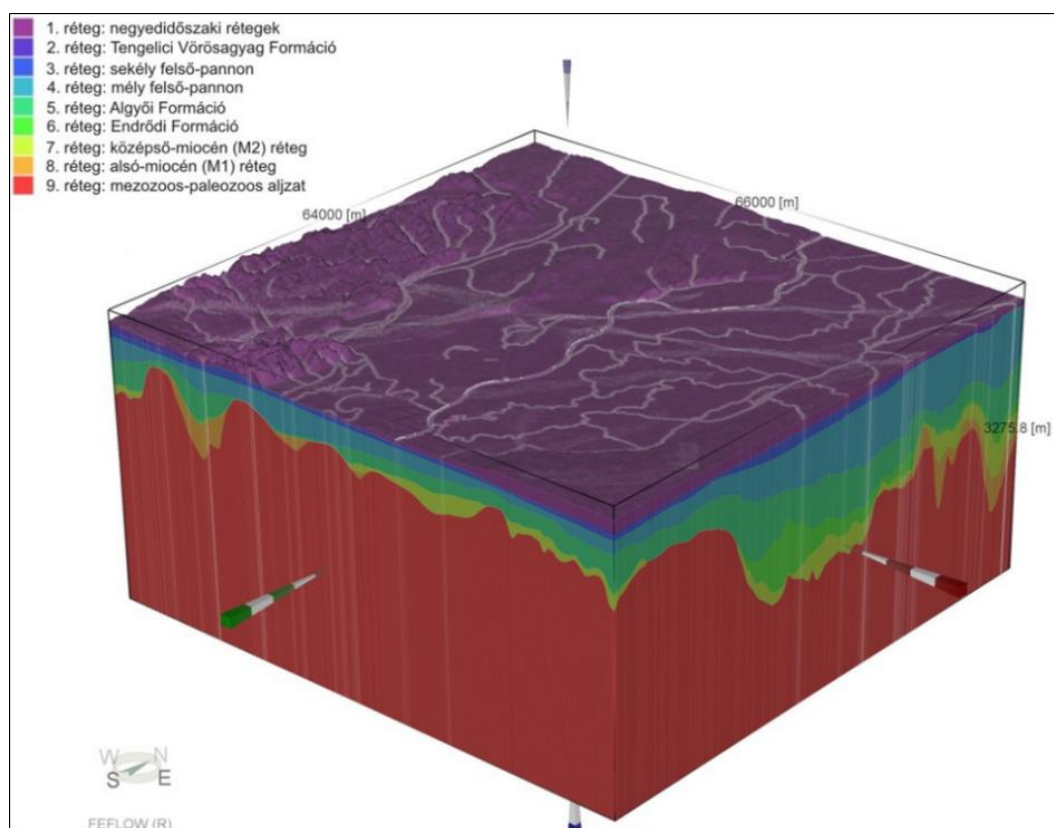
3.3.2.9.1 A hidrodinamikai és hőtranszport modell felépítése

A regionális vízföldtani modellezés területe az EOYV 666 000-600 000 és az EOYX 104 000-168 000 koordináták által határolt 66 és 64 km oldalhosszúságú terület, mely vertikálisan -3000 mBf-es mélységig terjed. A modell rétegekiosztása megegyezik a 3.3.2.6

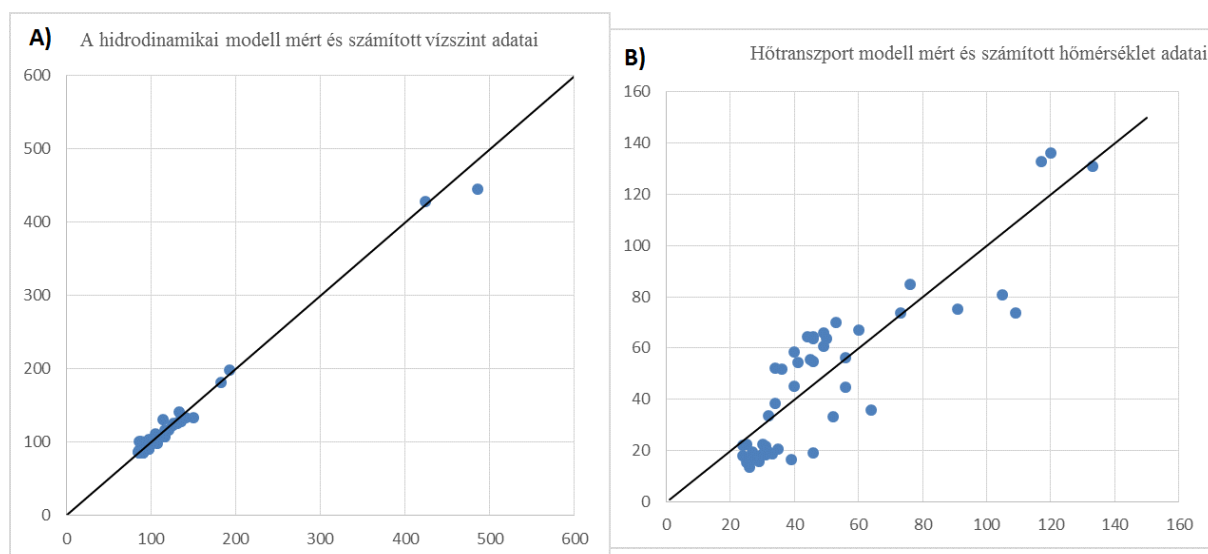
fejezetben bemutatott hidrosztratigráfiai egységekkel (337. ábra). A szerkezet, a rácskiosztás horizontális kialakításában a felszíni vizek hálózata, a tektonikai vonalak, valamint a termelő-, és figyelőkutak, források pontjai játszanak meghatározó szerepet. A regionális modellben permanens áramlás került modellezésre, kapcsolt permanens hőtranszport mellett. Az 1. réteg nyílt tükrű, a 2. rétegtől szigorúan zárt tükrű. A víz viszkozitásának és sűrűségének hőmérsékletfüggő változását a numerikus modellezés figyelembe vette. A modellezés célja a lehető legnagyobb lokális pontosság mellett, a koncepcionális modellben definiált általános regionális áramlásnak megfelelő potenciál kép kialakítása volt.

A modellterület reambuláció során felmért forrásai, tavai illetve a vizenyős területei kötött vízszintekkel, 1. típusú (Head) peremfeltételként jelennek meg a numerikus modellben. 2. típusú (Flux) peremfeltétel az ismert mélységi túlnyomásos zónák szimulációjához került alkalmazásra: az észlelt pontok szerkezeti vonalakkal lehatárolt környezetében néhány mm/éves bejövő fluxus került definiálásra a megnövekedett nyomásszint előidézése céljából. A vízfolyások vonalas objektumokként kerültek be a numerikus modellbe 3. típusú (Transfer) peremfeltétel alkalmazásával. A legjelentősebb vízfolyás, a Duna esetében 2013.03.21.-i, középvízi mérce szintek alapján számított vízállások kerültek felhasználásra. A területen előforduló összes ismert vízkivétel 4. típusú (Well) peremfeltétellel – 2008-2013 éves átlag hozamadattal – került a modellbe, a kúthoz tartozó csomóponthoz, és a kitermeléshez tartozó modellréteghez kötve. Az 3.3.2.3 fejezetben bemutatott beszivárgás értékek a numerikus modellben, mint a legfelső réteghez hozzáadott utánpótlóként lettek definiálva.

A modellezési adatok a terület legfontosabb vízfolyásának, a Dunának, egy hosszútávon jellemző középvízi időpontjával (2013.03.21.) és ahhoz tartozó ismert vízszintekkel lettek kalibrálva (Dunaföldvár: 88,86 mBf, Paks: 85,38 mBf, Dombori: 83,52 mBf). A hidrodinamikai modell kalibrációja 125 db nyugalmi vízszint adat felhasználásával készült. 96 db vízszint adat a negyedidőszaki összeleteket jellemezte, 29 db pedig a pannóniai, illetve pre-pannóniai aljzati nyomásviszonyokat (338. ábra A).



337. ábra A regionális hidrodinamikai modell rétegei



338. ábra A) A hidrodinamikai kalibráció során felhasznált vízszint adatok összesítése. B) A hőtranszport modell kalibráció során felhasznált hőmérséklet adatok összesítése.

Ábramagyarázat: A) Az x tengelyen a mért, míg az y-on a számított vízszintek (mBf) láthatóak. B) Az x tengelyen a mért, míg az y-on a számított vízhőmérsékletek (°C) láthatóak

3.3.2.9.2 *Eredmények, az áramkép bemutatása*

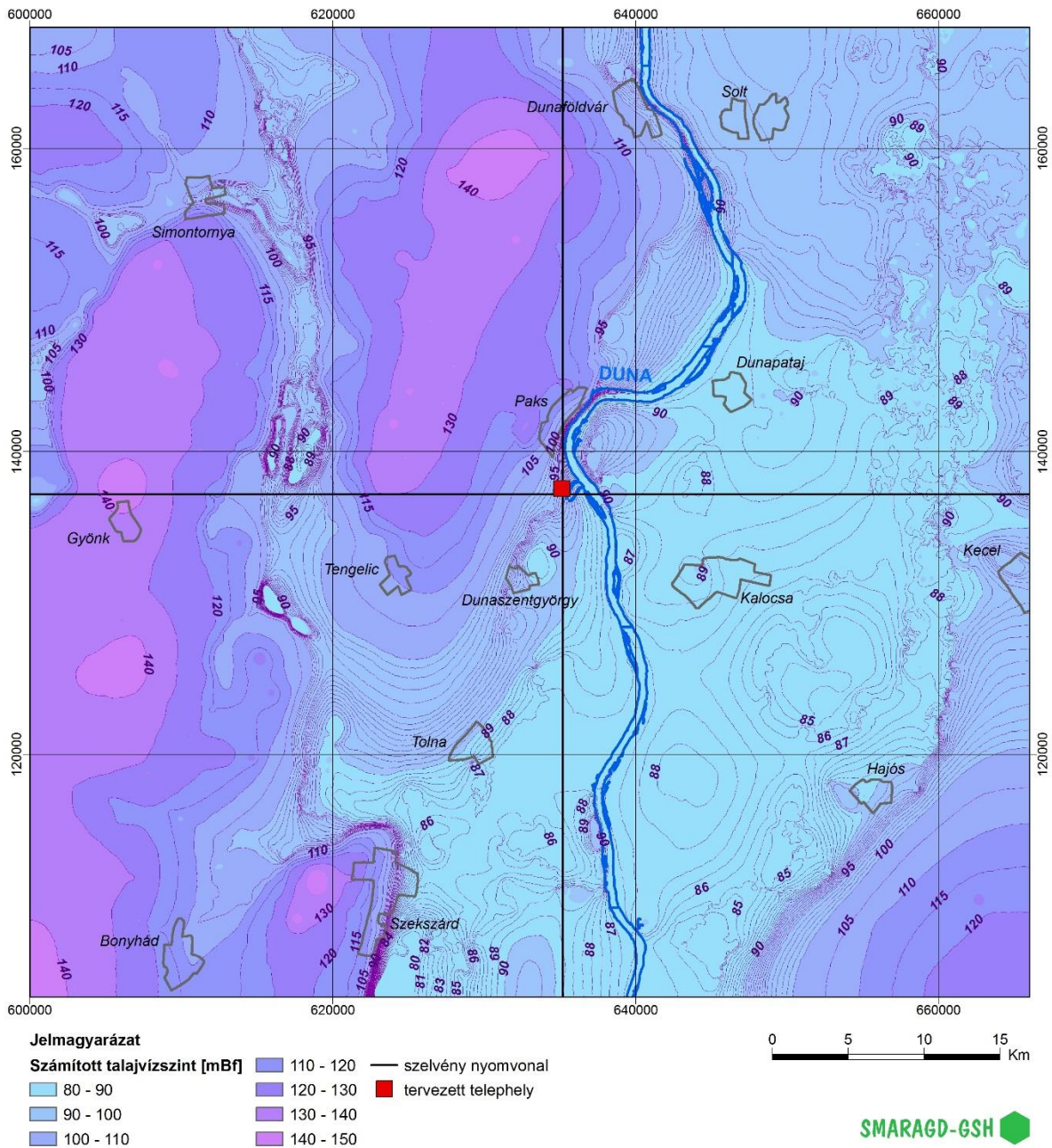
A legfelső, kvarter rétegre számított potenciálképet, gyakorlatilag a talajvízszint eloszlást a 339. ábra mutatja be.

A kutatási térrész nyugati felét – elsősorban a magas topográfiai pozícióknak, illetve a beszivárgásnak köszönhetően – 100-120 mBf, helyenként akár 150 mBf feletti vízszintek jellemzik. Az áramlási rendszer legmagasabb talajvízszinttel jellemezhető területei a Szekszárdi-dombság, a Tolnai dombvidék, a Völgyesség. A köztük futó vízfolyások (Sió, Sárvíz, Kapos, Völgyeségi-patak) völgyei, helyenként 30-40 méterrel alacsonyabb vízszinttel jellemezhetőek, és a tagolt topográfia miatt meredek potenciál-gradienssel választódnak el a kiemeltebb területektől. Kisebb minimum terület észlelhető a Sió folyásának Mezőföldtől délre elhelyezkedő részén, mely nyugatról csatlakozik a Duna völgyébe. A kiemelt beszivárgási területek (Mezőföld, Szekszárdi-dombság, Tolnai-Hegyhát) irányából a Duna bal-parti kiáramlási területek felé irányuló, nyugat-keleti áramlás a jellemző.

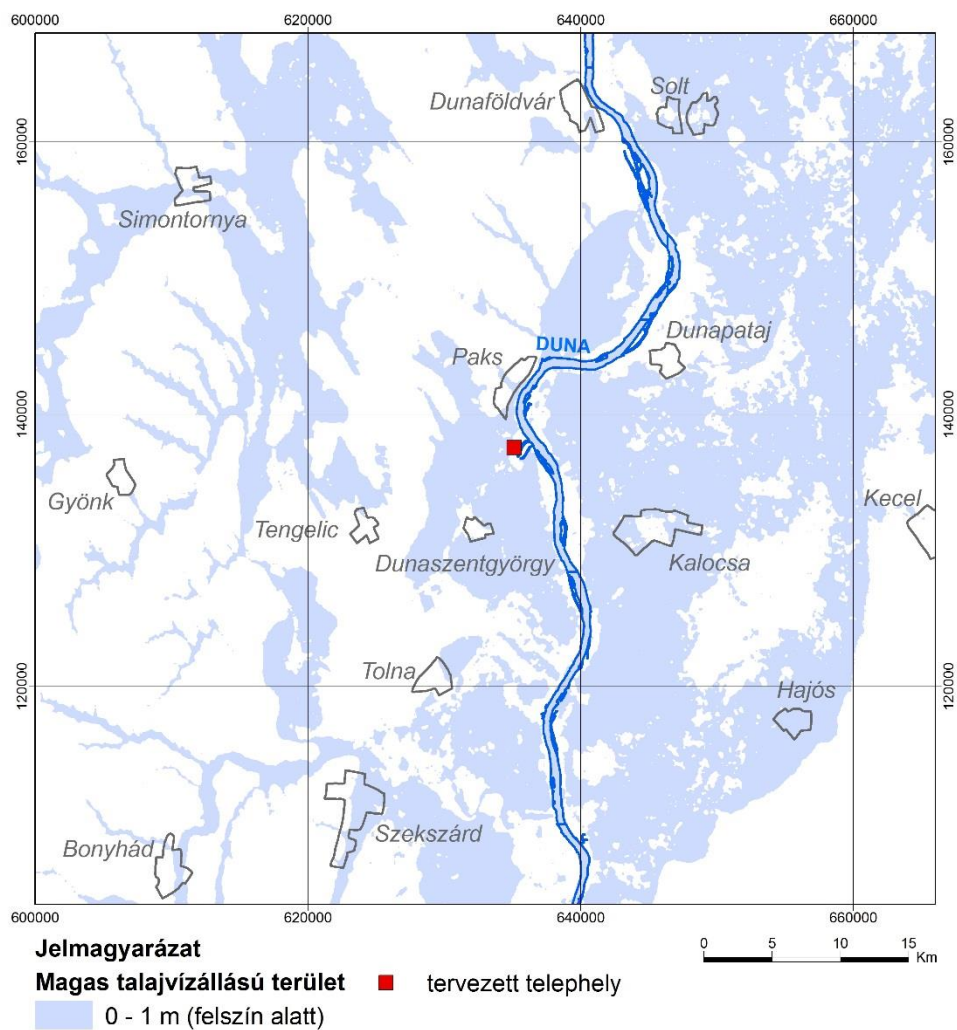
Paks környezetében megfigyelhető egy kismélységű, elsősorban negyedidőszaki rétegekhez kapcsolódó lokális rendszer, mely forrása a közeli beszivárgási területekhez, magaslatokhoz köthető. Ez az áramlás alapvetően a Dunára táplál rá, és ennek eredményeként a Tervezett telephely környezete helyi kiáramlási zónaként jellemezhető.

A Duna bal parti, alföldi területek alacsony vízszintekkel jellemezhetőek. Ez alól kivételt képez a kiemelt Illancs területe, ahol a környezetét akár 30 méterrel meghaladó vízszintek is észlelhetők. A modellezett terület DK-i részén megfigyelhető egy ÉK-DNy-i tengelyű potenciál minimum, amely általánosságban 85-90 mBf közötti értékekkel jellemezhető, és a Duna völgyéhez csatlakozik. A legalacsonyabb vízszint értékek jellemzően a Szikes-tavaktól a Szelidi-tó és a Duna-völgyi-főcsatorna vonalát követik legdélebben a Duna és az Illancs közötti területig.

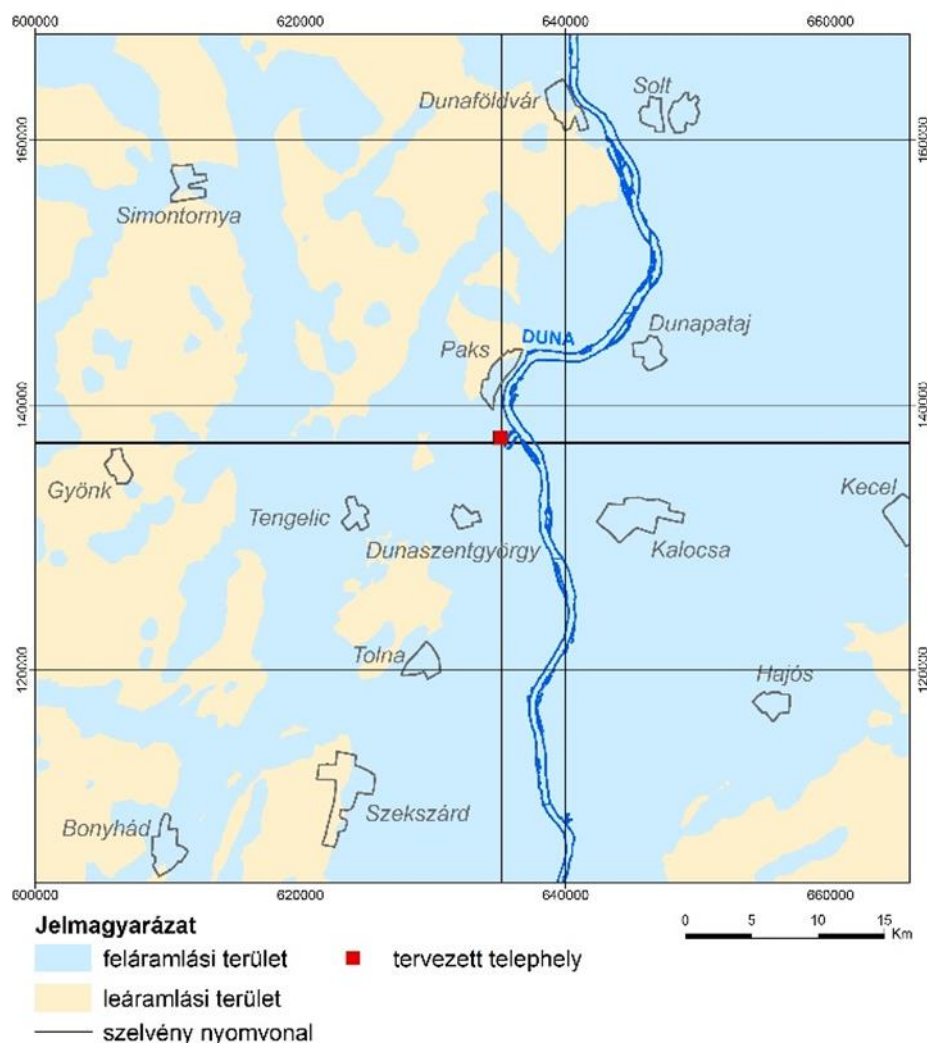
A modellezett magas talajvízállású területeket az 340. ábra mutatja be. A modellezett terület fel- és leáramlással jellemezhető részeinek elkülönítése 341. ábra a helyi áramlási kép vertikális komponensei alapján történt, amihez a modellezett felszíni (talajvíz) szintek, illetve a felső- pannóniai rétegben mért adatok lettek összehasonlítva. Ez alapján leáramlási jelleggel leginkább a dombvidéki, magas beszivárgású részek jellemezhetőek, míg a Duna-völgy és az attól keletre elterülő alföldi, illetve kiemeltebb háta közötti völgyi területek feláramlási jelleggel bírnak. Ennek jelentősége igen nagy lehet az esetleges szennyeződések terjedésében, tekintve, hogy leáramlás esetén nagyobb esély van az esetleges mélységi és regionális terjedésnek, míg feláramlási területeken ez hidrodinamikai jellegükből következően jóval kevésbé valószínű.



339. ábra A legfelső, kvarter rétegre számított potenciálszintek (mBf)



340. ábra Magas talajvízállású területek a regionális vízföldtani modellezés területén

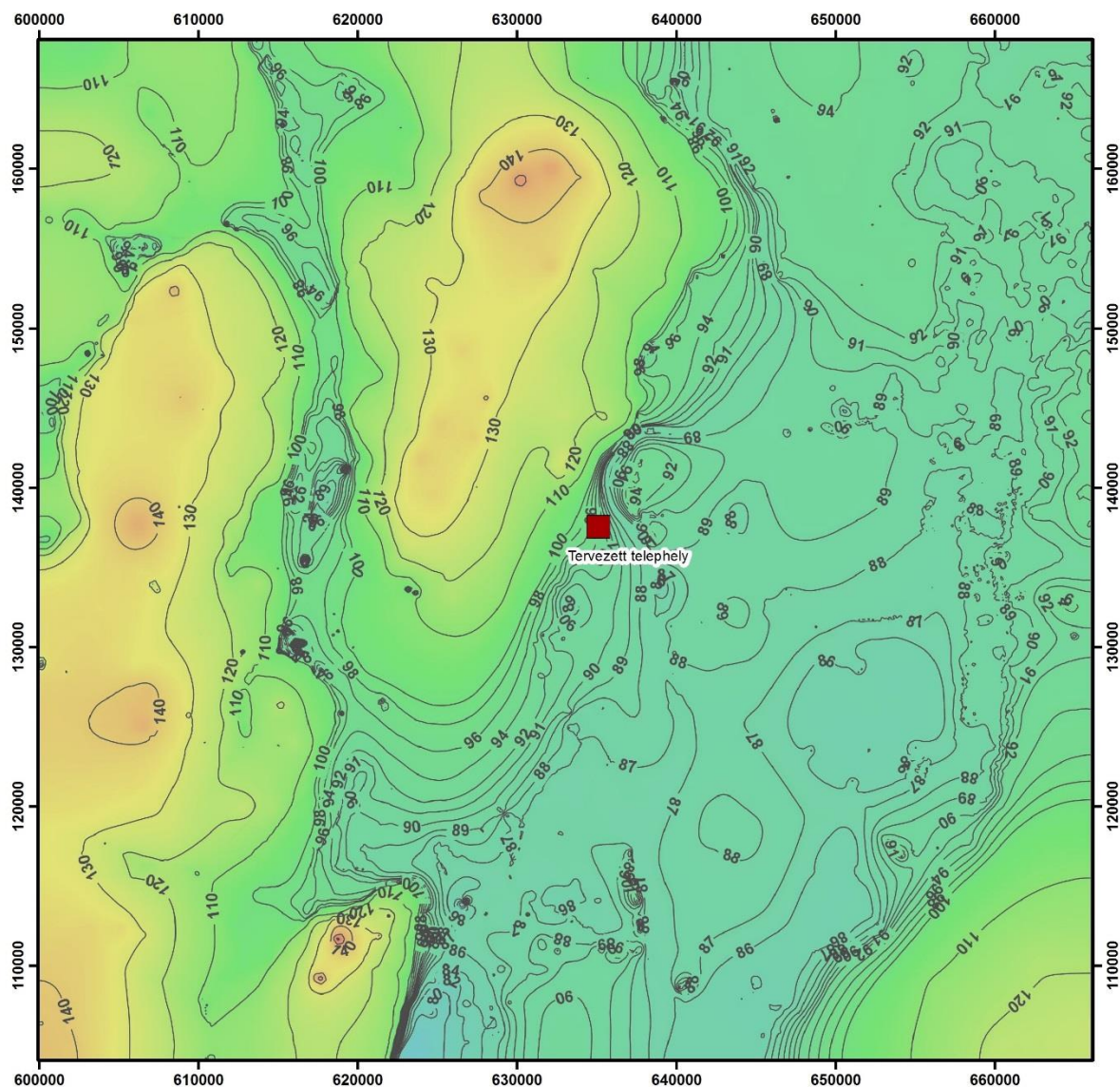


341. ábra Áramlási rezsimek a regionális vízföldtani modellezés területén

A felső- pannóniai rétegekben (342. ábra) a potenciál szintek tompítva követik a domborzat, illetve a felszíni beáramlás/megcsapolódás jellegzetességeit. Ennek oka, hogy a Tengelic Vörösagyag Formáció elterjedése nem folyamatos, elsősorban a Dunától nyugatra elhelyezkedő területeken jelenik meg nagy vastagságban, és ott képes lokálisan elválasztani a kvarter és felső- pannóniai hidrodinamikai rezsimeket. Hiányában a negyedidőszaki és sekély felső- pannóniai rétegek regionálisan kommunikáló, beszivárgás által hajtott, gravitációs rendszert alkotnak.

~0 mBf alatt már az egész vizsgálati területen, így Paks környezetében is, a nyugat – keleti irányú regionális áramlás uralkodik. A fő kiáramlási terület a Dunától keletre, a Szikes-tavak, illetve a Duna-völgyi-főcsatornának az övezete. A modell déli harmadában, elsősorban az Illancs hatására ez a potenciál minimum tengely eltolódik a Duna, illetve a Duna-völgyi-főcsatorna közötti sávba. A modell terület keleti peremén ehhez a Duna-Tisza-közi hátság felől érkező áramlás is csatlakozik.

Általánosságban megfigyelhető a potenciál szintek Ny-K irányú csökkenése, mely jelzi, hogy a pannóniai korú üledékes rétegekben a lokális áramlások mellett megjelennek a regionálisabb léptékű áramlási trendek is.

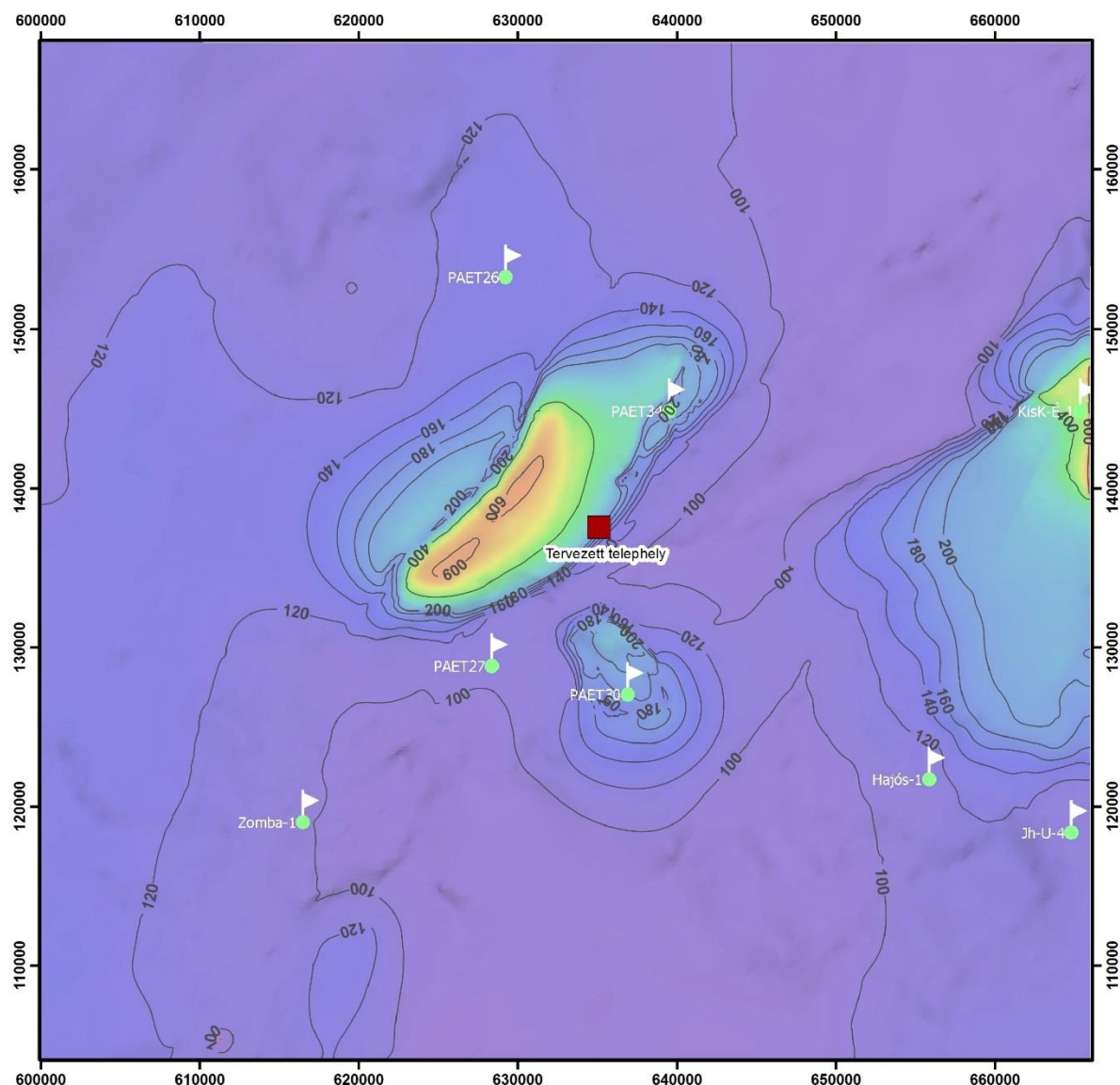


342. ábra A felső- pannóniai tetőre (3. réteg) számított potenciál értékek (mBf).

A mélységi, túlnyomásos részterületek nyomástöbbletét az alsó- pannóniai vízzáró rétegek túlnyomórészt felfogják, de ha eléri a felső- pannóniai vízadó rétegeket, ott becsatlakoznak a regionális áramlási rendszerekbe. A hidrosztatikust meghaladó nyomás elsősorban a meredek, jól repedezett vetőzónákon keresztül tud vertikálisan felfelé terjedni. A regionális hidrodinamikai modellezés során megfigyelhető volt, hogy a vetőzónák fontos szerepet töltenek be a mélységi és a sekély, gravitáció által hajtott áramlási rendszerek kommunikációjában. Túlnyomás hiányában pre- pannóniai aljzati rétegek számos alkalommal a fedő üledékekkel egységes, azokkal kommunikáló hidrodinamikai rendszert alkotnak, elsősorban a kiemelt háttak környezetében.

Dominánsan a túlnyomásos medencék magas potenciál szintje határozza meg a miocén és a pre-tercier aljzati rétegekben (343. ábra) számított nyomásképet, melyek akár regionális léptékekben is megfigyelhetők. Itt is megjelenik az Alföldön, illetve a Duna-völgyében megjelenő potenciál minimum, melyet nyugatról és keletről is, egy enyhén magasabb nyomású terület határol. Aljzati gravitációs áramlási rendszerrel jellemezhető részegységek elsősorban a kiemelt aljzati háttaknál figyelhetők meg: Hajósi, Tolnai, Németkéri-magaslat.

Ezzel szemben, a túlnyomásos területeken jelentős, akár ~4-5 MPa-os aljzati túlnyomások (~500-600 mBf-es potenciálszintek) is megjelenhetnek, elsősorban a Tengelic-Paksi árokban, illetve a Keceli-árok északi részén.

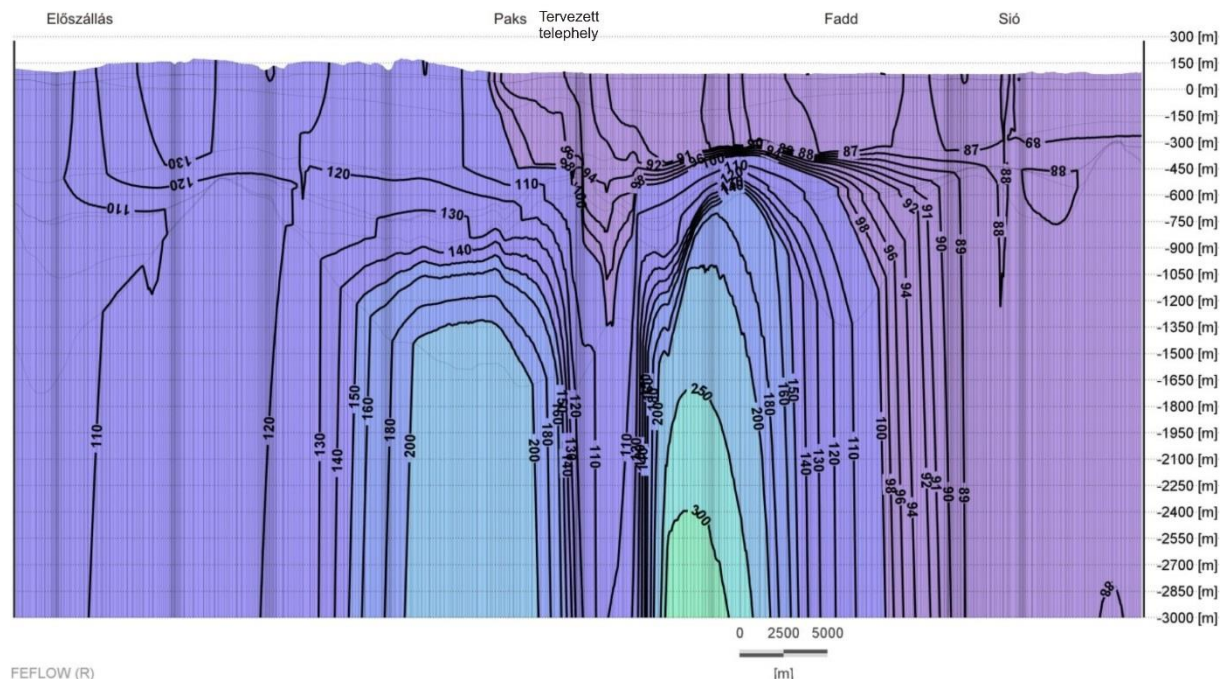


343. ábra A pre-tercier aljzat tetőre (9. réteg) számított potenciál (mBf) értékek

Az 344. ábra a tervezett telephely területét érintő észak-déli, az 345. ábra pedig egy nyugat-kelet irányú szelvényt mutat be. A szelvények nyomvonalát az 340. ábra mutatja

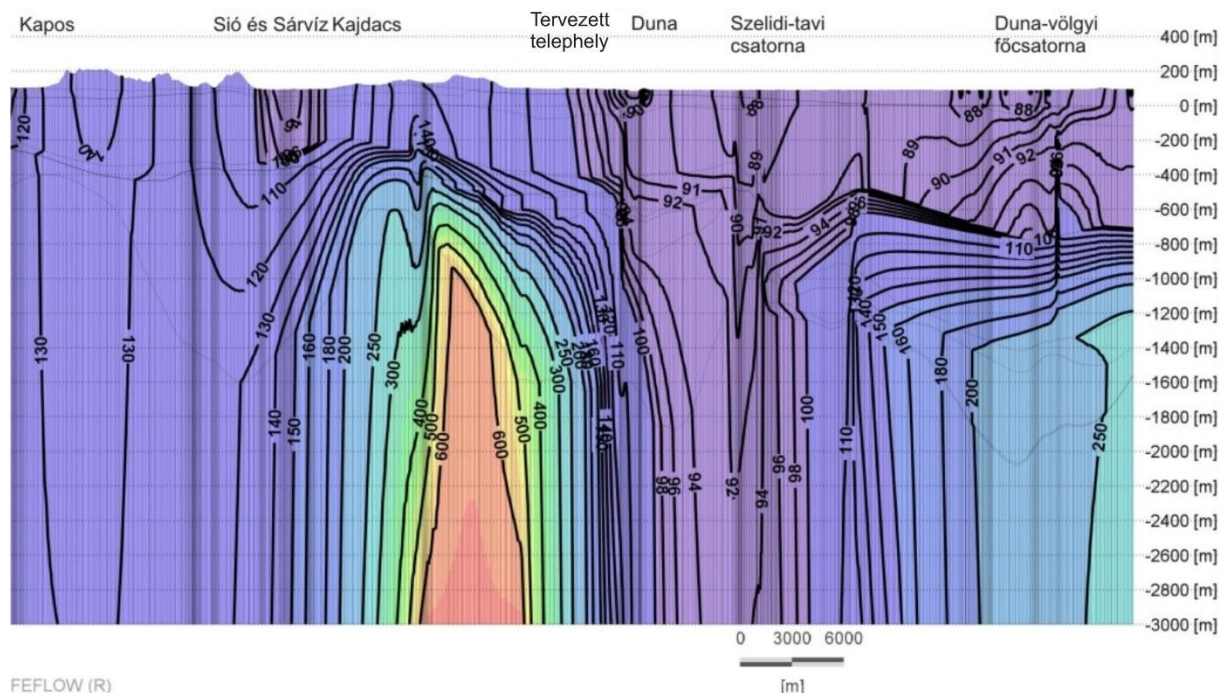
A permanens, regionális hidrodinamikai modellből szerkesztett Előszállás-Paks–Fadd között húzott, É-D irányú szelvényen (344. ábra) jól láthatóak a Paks környékére jellemző nyomásszintek. A szelvény északi része a Mezőföldön húzódik keresztül, ahol a viszonylag kiemeltebb hátaq utánpótlási területként viselkednek. Itt a potenciálszintek folyamatosan 110 mBf - 120 mBf felett vannak, majd általánosságban délfele csökkennek. A szelvény közepén, Paks körzetében a vízszintek meredeken szakadnak le a Duna-melléki síkságra. Ezt követően a déli irányba csökkenő potenciálszintek elsődleges oka a domborzat, illetve a Duna vízszintjének esése. Ebből következően az így megjelenő déli irányú áramlást főképp a síksági részek enyhe lejtése határozza meg, és kevésbé okolhatók érte a regionális áramlási

folyamatok. A mélységi viszonyokat tekintve, a szelvény részlegesen érinti északon a Tengelic-Paksi árokszerkezethez kapcsolódó, illetve délebbre a PAET-30-as környezetében megismert túlnyomásos zónát. Mindkét esetben látható, hogy a hidrosztatikusnál magasabb nyomásszintek egészen sekély, ~ -600 mBf-es szintig követhetőek, azonban ezt követően túlnyomórészt „fennakadnak” az alsó- pannóniai vízrekesztőkön, illetve esetleg ezeken túljutva, de már legyengülve becsatlakoznak a felső- pannóniai n áramlási rendszerekbe.



344. ábra A tervezett telephely területét érintő, észak-déli irányú részletes potenciál-eloszlás (mBf) szelvény, 10x-es vertikális túlmagasítással

A Kajdacs – Paks – Kiskőrös vonaltól délre, a Ny-K irányú szelvényen (345. ábra) megfigyelhető a Paks környezetében meghatározó sekély, Dunába kifutó, illetve mélyebb, a terület keleti részén végződő áramlási rendszer. A numerikus modell alapján mindkettő beszivárgási területe a mezőföldi löszhát. A mezőföldi, illetve Tolnai-Hegyhátból származó áramlási pálya a Sió-Sárvíz völgyében szintén egy lokális kiáramlási rezsimet jelez a kvarter, illetve felső-pannóniai rétegekben. Az Alföldre a Duna alatt átérkező vízáramlás fő végpontja a Duna-völgyi-főcsatorna, lokális rátáplálással a Szelidi-tavi csatornára. A Duna-Tisza-közi hátságból eredő áramlási rezsime keleti irányból ehhez csatlakozik. A bemutatott szelvény jellegzetessége a túlnyomásos mélységi rendszer, mely a Tengelic-Paksi árokban, illetve keleti peremen a Keceli-árok környezetében látható. Megfigyelhető, hogy a számított túlnyomás egészen ~ 1000 mBf-es szintig jelentős mértékben uralja az aljzati áramlást, azonban az efelett elhelyezkedő vízzáró képződmények elnyomják hatásukat. A nyomásszintek vertikális terjedése a korábban ismertetett módon, elsősorban a meredek normál, illetve oldalelmozdulásos vetőzónákon keresztül valósul meg. A Mezőföld alatti túlnyomásos területen, egy beszivárgási terület alatt érkezik a felső-pannóniai köztettegekbe, lokálisan azokban egy ~ 20 méteres nyomásszint emelkedést okozva. A keleti peremen ugyanez a jelenség mindössze néhány méteres, maximum 10 méteres potenciálanomáliát okoz, mely kiegyenlítődik a felső-pannóniaiban.



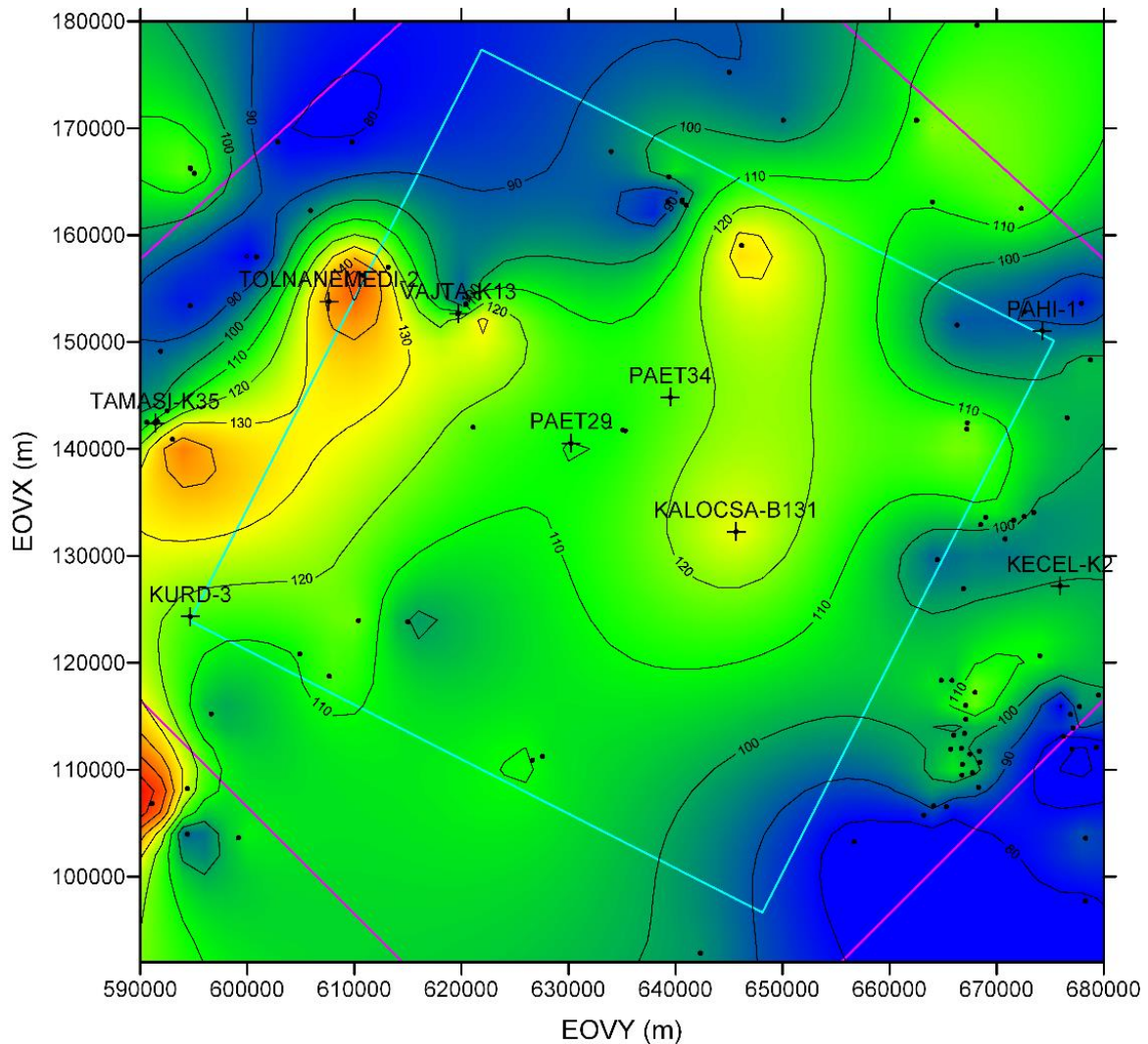
345. ábra A tervezett telephely területét érintő, nyugat-keleti irányú, részletes potenciál-eloszlás (mBf) szelvény, 10x-es vertikális túlmagyarással

3.3.2.9.3 A hőtranszport modellezés eredményei

Az áramlási tér nyomás viszonyait jelentősen befolyásolják a térség geotermikus adottságai. A hidrodinamikai modell aljára, -3000 m mélységre a geodinamikai modellel összhangban, a geotermikus modellel került kiszámításra a hőárameloszlás (346. ábra). A modell feltevései szerint a tér stacionárius, és a hő alapvetően kondukciónal terjed. A számolt és a mért hőmérsékletek 9 db kútban lettek ellenőrizve.

A hidrodinamikai modell alapján alkalmazott hőáram eloszlás 2. típusú hőtranszport permfeltételként („Heat-flux”), míg a felszín egységesen 1. típusú permfeltétellel, 12 °C-os állandó hőmérséklettel lett definiálva. Az egyes litológiai egységekhez kapcsolódó hővezetési tényezők regionális eloszlása a Magyar Geotermikus Adatbázisban (MGA) található fúrési adatok alapján került a modellbe.

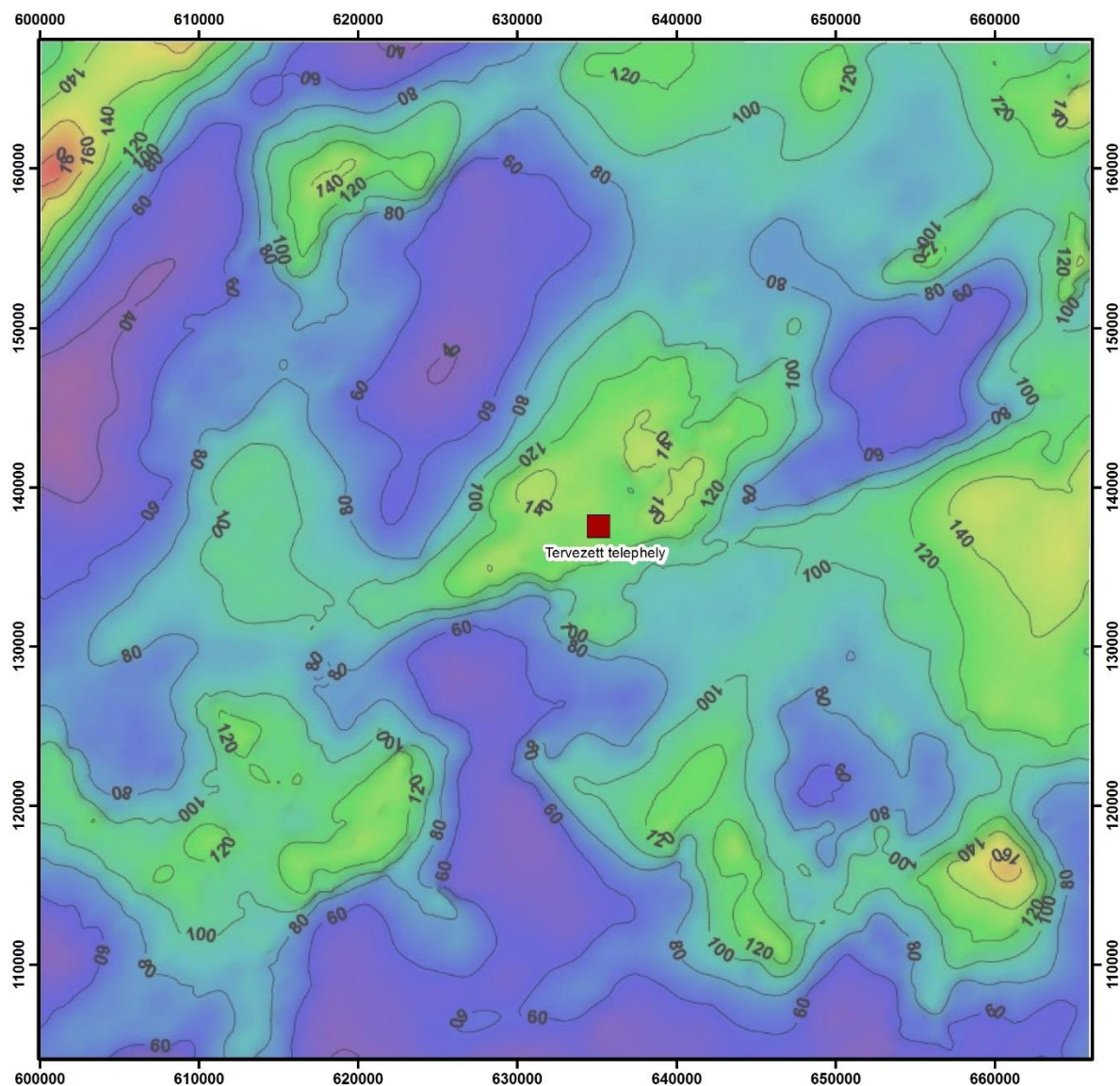
A hőtranszport kalibrációjához az MGA által szolgáltatott hőmérséklet értékek kerültek felhasználásra. Összesen 53 db hőmérsékleti adaton keresztül lett ellenőrizve a numerikus modell eredménye (338. ábra B)



346. ábra Hőárameloszlás a kutatási terület tágabb környezetében.

A pontok azoknak a kutaknak és fúrásoknak a helyét jelölik, melyekben hőáram meghatározás történt. A kereszttek és fúrásnevek a 3D geotermikus modellezésnél használt ellenőrző fúrásokat jelölik. A világoskék keret a geodinamikai modell határát mutatja. A lila keret a 3D-os geotermikus modellezés határát jelöli.

A hőtranszport modell alapján megállapítható, hogy a területen tapasztalt rendkívül magas hőáram (105 mW/m^2 felett) eredményeként az aljzati részeken igen magas, a 100°C -os hőmérsékletet meghaladó hőmérséklet valószínűsíthető (347. ábra). Ez, együttesen a túlnyomásos zónákban tapasztalt hőtöbblettel és feltételezhetően a szerkezeti vonalak mentén történő intenzív feláramlással, a vizsgálati terület központját, Paksot és környezetét egy magas hőmérsékletű részterületté alakítja. Ezen hatások a fiatal porózus pannóniai üledékeken keresztül felfele haladva folyamatosan csökkennek, majd a felszín közelében teljes mértékben eltűnnek.



347. ábra A felszín alatti víz számított hőmérséklete (°C) a 9. réteg tetején (pre-tercier aljzat tető)

3.3.2.10 Az áramlási tér nyomás viszonyaiban bekövetkező változások

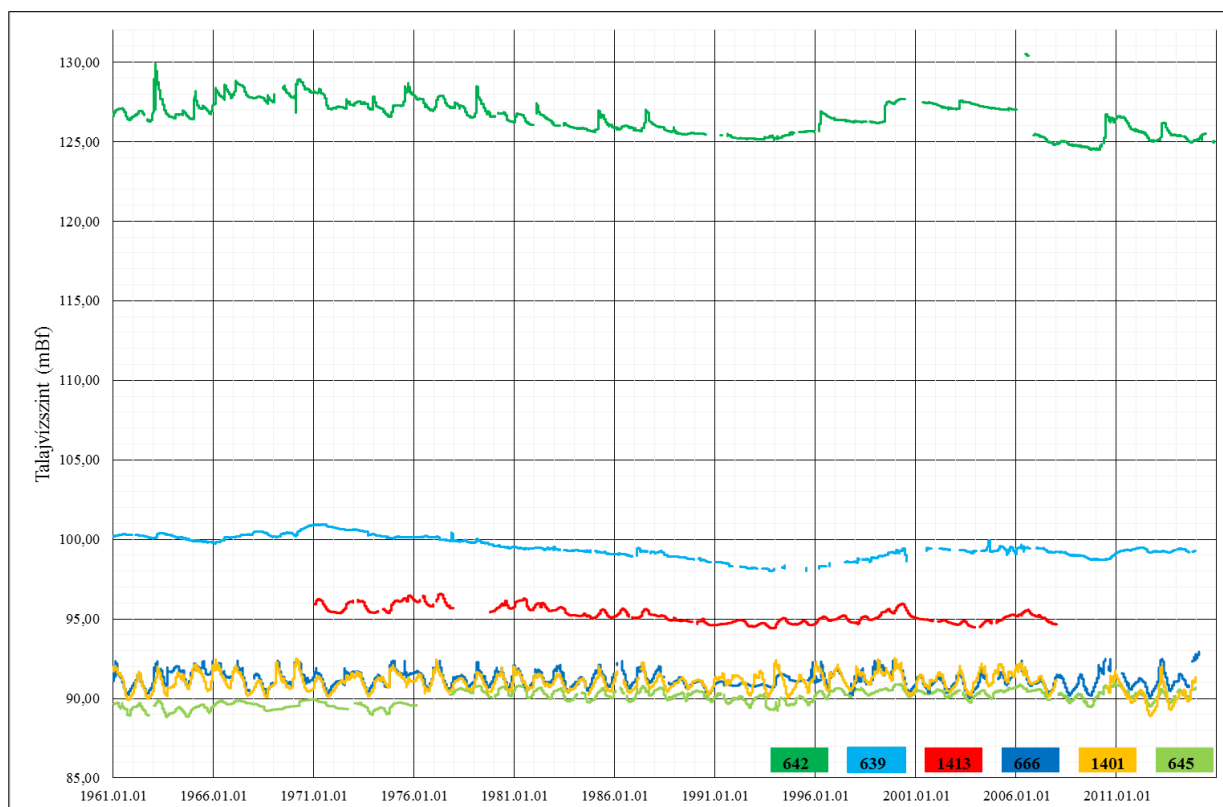
3.3.2.10.1 A talajvízszint változása

A monitoring adatok kiértékelését részletesen a „Gondár K. ed. (2016): A telephely tágabb környezetében meglévő kutak, források és kisvízfolyások hidrogeológiai kiértékelése” című jelentés tartalmazza [107].

A regionális vízföldtani vizsgálati terület talajvízszint viszonyainak hosszú-, és középtávú jellemzésére a Vízügyi Igazgatóságok (Közép-dunántúli, Alsó-Duna-völgyi) által üzemeltetett törzshálózati monitoring kutak adatai lettek felhasználva. A kvarter vízadó értékelésére 66 db monitoring kútból áll rendelkezésre napi egy átlag vízszint adat. Ezek közül 47 db monitoring kút mérését 1972 előtt kezdték meg, vagyis az adatsorok a hosszútávú trendek vizsgálatára alkalmasak. Szintén a kvarter vízadó megfigyelésére alkalmas a Duna-völgyben található távlati vízbázisok 79 db monitoring kútja. Az első kutat 1995-ben létesítették, a kutak zöméből csak 1999 óta áll rendelkezésre adat. Nem mindegyik kutat

mérik rendszeresen. A monitoring kutak elhelyezkedését a „MÁ/PA2-16-HI-23-V1 1. térképmelléklet SMARAGD” jelzésű térkép mutatja be[109].

A talajvízszintek alakulását számos háttértényező és környezeti változó befolyásolja, amelyek együttes hatása rövid idő alatt is jelentős talajvízszint süllyedést, illetve emelkedést okozhat. Az éves periódusokon kívül megfigyelhető többéves (14-16, illetve 28-30 éves) is, ami a csapadékosabb és szárazabb időszakok váltakozásából, vagy a napfolttevékenység hatásából fakad [176][287]. A hosszútávú periódusban egyöntetűen jól kirajzolódik az 1980-as évek második felére, illetve a 90-es évek elejére eső talajvízszint minimum a vizsgálati terület egészén. Ez a minimum az ország egész területén kimutatható volt, ami az éghajlati hatást igazolja. Az 348. ábra néhány, a Tervezett telephely környezetében, nyugat-keleti szelvényben elhelyezkedő monitoring kút hosszútávú vízszint változását mutatja be.



348. ábra Néhány jellemző monitoring kút vízszintjének változása 1961 és 2015 között

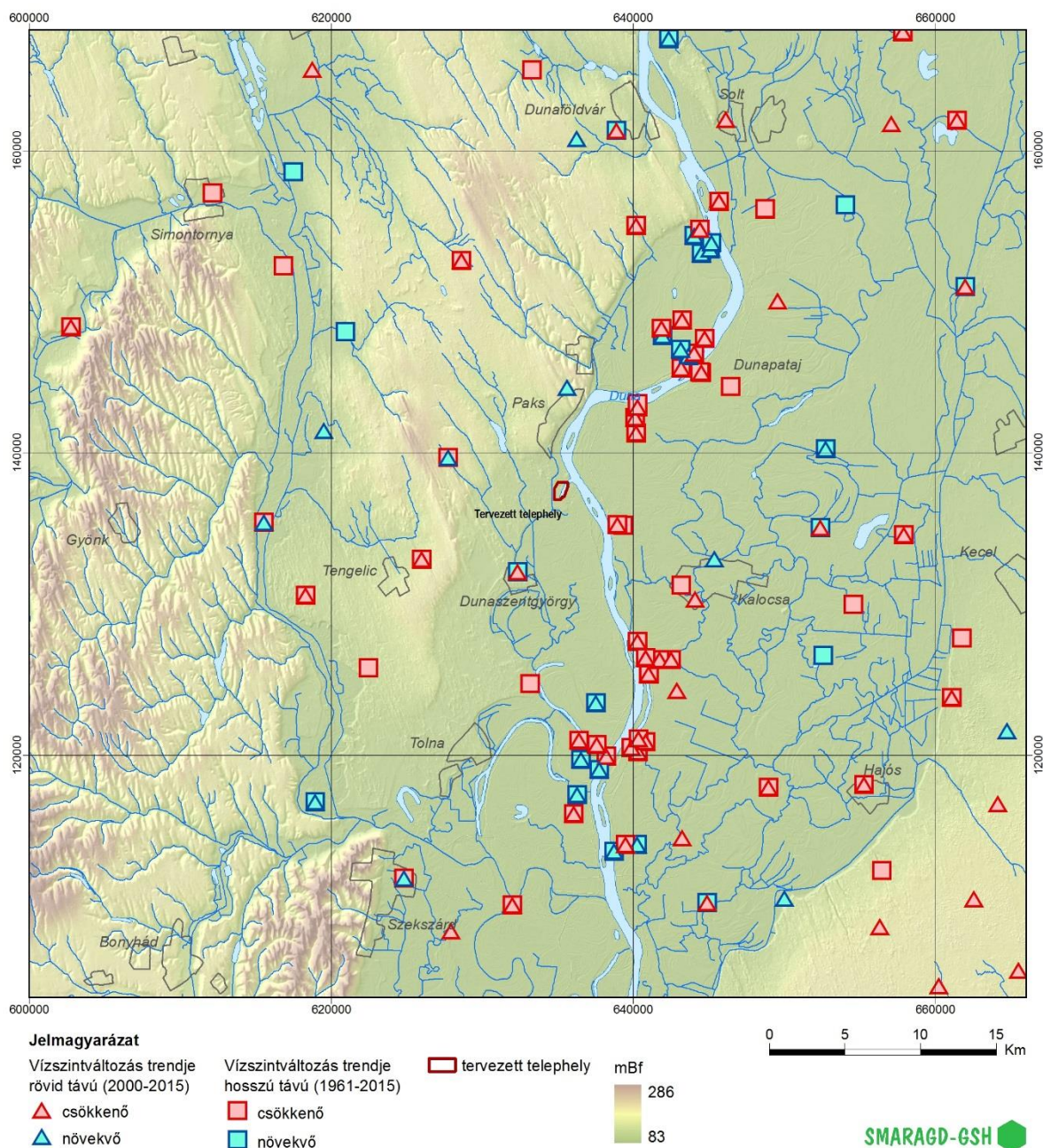
642: Tengelic – 639: Kölesd — 645: Dunaszentgyörgy – 666: Pusztaborjád – 1401: Öregcsertő –1413 Kecel

Az 1961-2015 közötti adatokkal rendelkező kutak körében a talajvíz éves változása 0,43-5,09 m között volt. A minimális 0,43 m-es éves változást az érsekcsanádi 4145 számú monitoring kútban 1998-ban mérték, a legnagyobb 5,09 m-es éves változást pedig Tengelicen a 642 számú monitoring kútban 2006-ban. A hosszútávú vízjárás szélsőértékei eltérnek az éves periódus szélsőértékeitől. A vizsgált 55 év alatt a legkisebb talajvízjárást 0,85 m-t Kecelen az 1403 számú monitoring kútban, a legnagyobbat 6,02 m-t pedig Tengelicen a 642 számú monitoring kútban mérték.

A Duna-völgyi távlati vízbázisok monitoring kútjai ennél rövidebb adatsorral rendelkeznek. Az 1999-2015 közötti adatok elemzése alapján a talajvíz szintjének éves változása a Duna-völgyben 0,40 -7,15 m. Az észlelt maximális éves változások monitoring

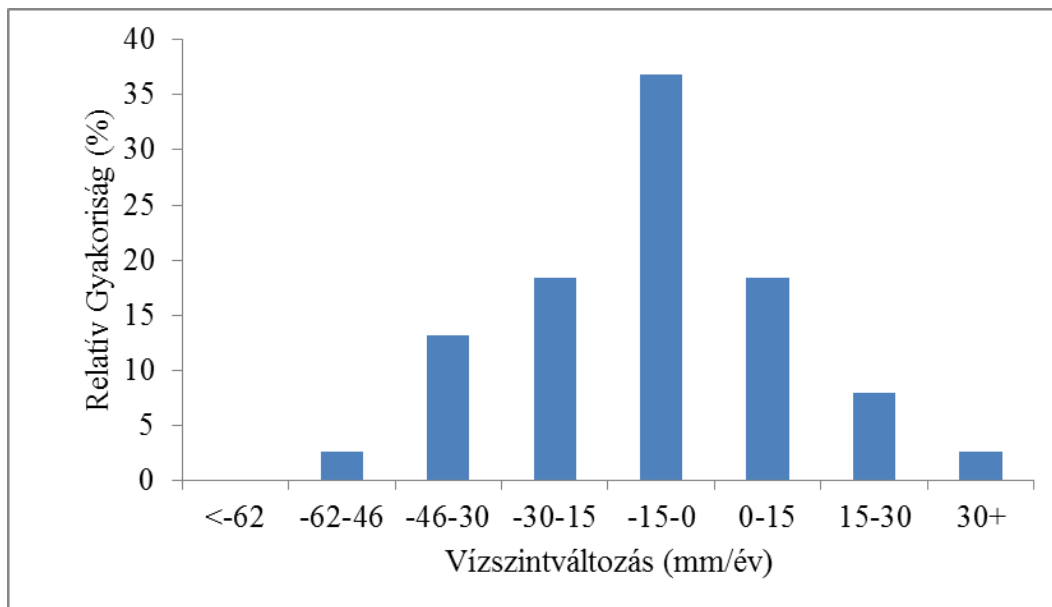
kutanként eltérő évekre esnek. A 0,40 m-es éves változást a Gerjen 147 141 számú monitoring kútban 2013-ban mérték, a legnagyobb 7,15 m-es éves változást pedig az Ordas132 087 számú monitoring kútban 2009-ben.

A vízszintek hosszú, és rövidtávú változására trendvizsgálatok készültek az 1961-2015 és a 2000-2015 közötti időszakokra. Az éves, többéves és évtizedes ciklusokon kívül a vizsgálati területen egyértelműen megfigyelhető a vízszintek tartós, trendszerű csökkenése. Egyes kutak esetében előfordul, hogy míg a hosszútávú trendre a csökkenés, addig a rövidtávú trendre a növekedés jellemző. A monitoring kutakra jellemző trendeket a 349. ábra térképe mutatja be.

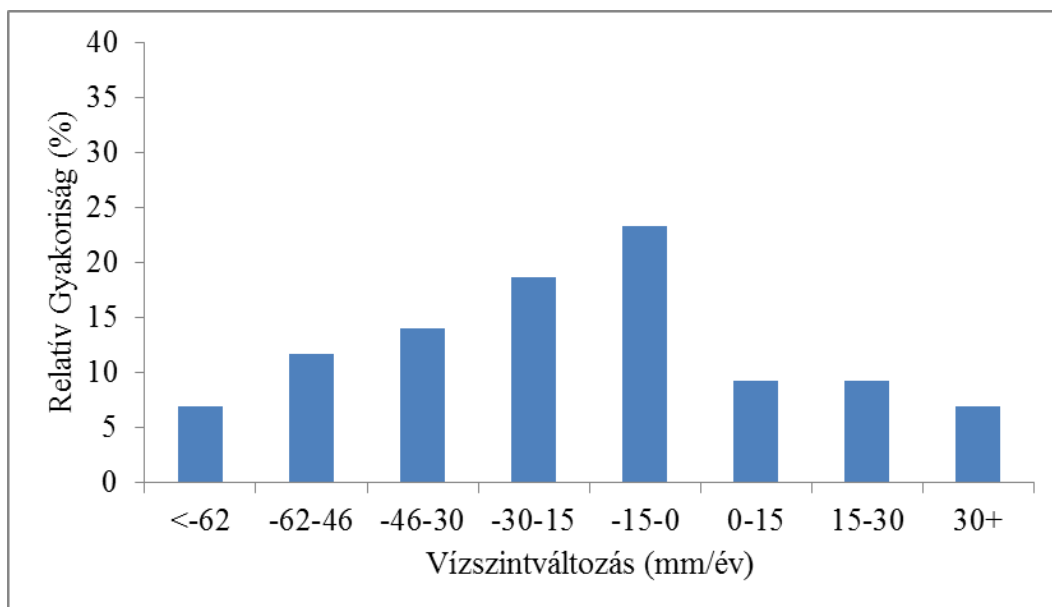


349. ábra A talajvízszint változás hosszú-, és rövidtávú trendje

Az 1961 óta észlelt talajvízjárás idősorokra illesztett lineáris regressziós egyenesek meredeksége túlnyomóan negatív (350. ábra), vagyis a talajvízszintek folyamatosan csökkennek. A vizsgált időtartamot csökkentve a 2000-2015 időszakra a meredekség növekszik (351. ábra). Ez arra utal, hogy a talajvízszint süllyedése felgyorsult az utóbbi 15 évben. A rendelkezésre álló teljes 55 éves adatsor alapján a csökkenés átlagosan évi 9 mm. Az utolsó 15 év adatai alapján 16 mm/év.



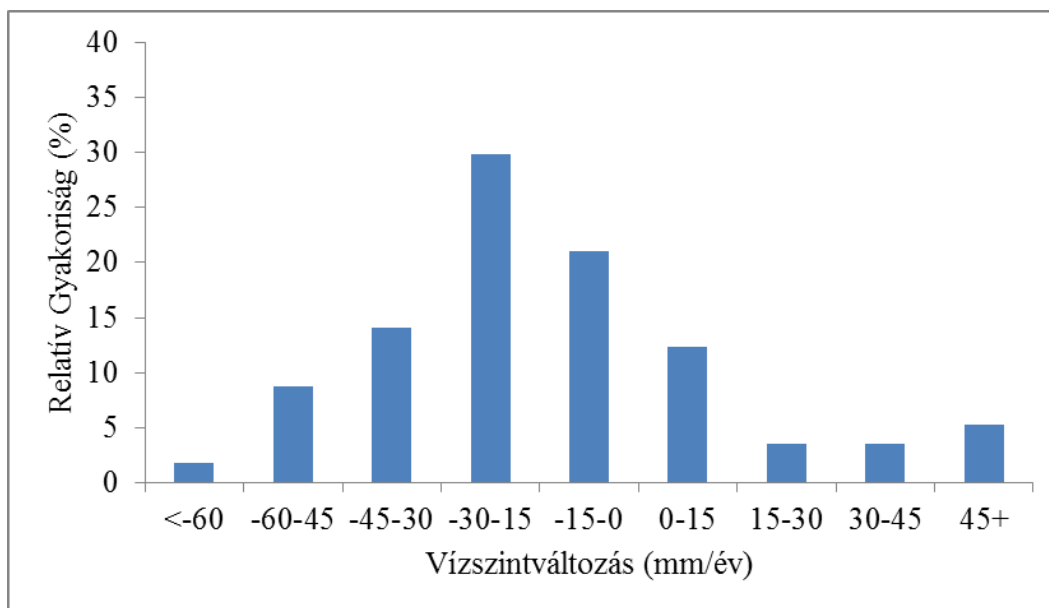
350. ábra Az 1961-2015 közötti vízszint adatokra illesztett lineáris trend meredekségének hisztogramja



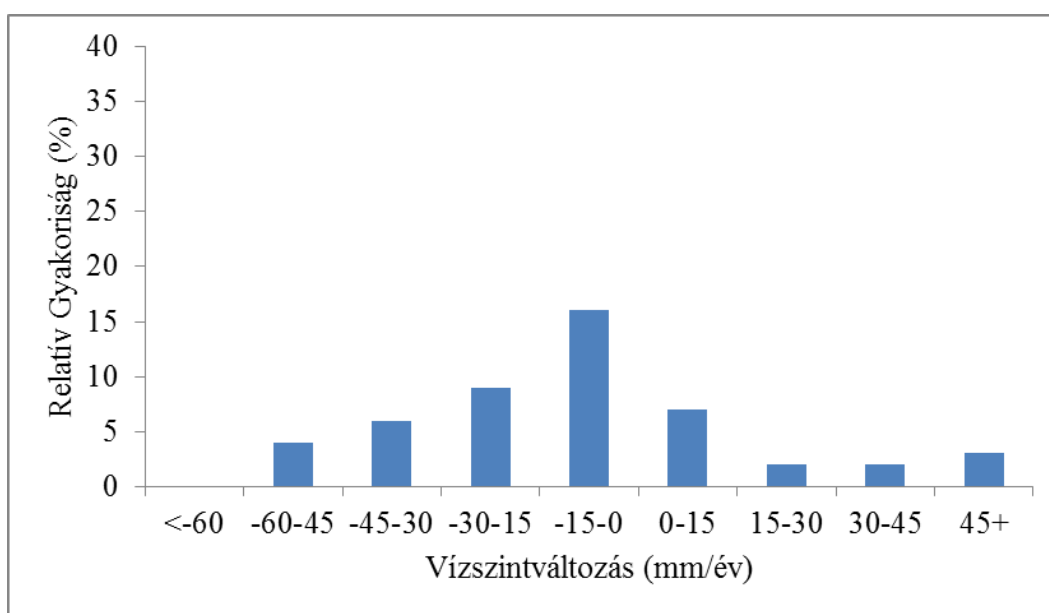
351. ábra A 2000-2015 közötti vízszint adatokra illesztett lineáris trend meredekségének hisztogramja

A távlati vízbázisok 1995 óta észlelt 55 db monitoring kútja közül 37 esetben, az idősorra illesztett lineáris regressziós egyenes meredeksége negatív (352. ábra), vagyis a mért talajvízszint csökken. A csökkenés mértéke nagyobb, mint évi 10 mm. A vizsgált időtartamot az utolsó 10 évre csökkentve (353. ábra) 25 monitoring kútban nagyobb a csökkenés mértéke

évi 10 mm-nél. A rendelkezésre álló teljes 20 éves adatsor alapján, a csökkenés módusza 13 mm/év. Az utolsó 10 év adatai alapján 8 mm/év.



352. ábra Az 1995-2015 közötti vízszint adatokra illesztett lineáris trend meredekségének hisztogramja



353. ábra A 2005-2015 közötti vízszint adatokra illesztett lineáris trend meredekségének hisztogramja

3.3.2.10.2 Nyomás viszonyok változása a felső-pannóniai rétegekben

A felszín alatti áramlási rendszer mélyebb térrészének megfigyelésére összesen 7 db megfigyelőkút áll rendelkezésre. A legrégebbi adat 1991-es, az adatsor havi átlag vízszintet tartalmaz. A rétegvíz szintje a vizsgált rövidtávú időszakban néhány métert változott. A vizsgált 25 évben a legnagyobb vízjárása (3,95 m), a Fajsz B-58 számú kútnak volt, a legkisebb vízjárás, mindössze 0,5 m a Kisvejke B-1 monitoring kútban volt. A rétegvizek vízszint változásának trendje inkább emelkedő. Rövidtávon trendszerű csökkenést csak a Kisvejke B-1 és a Madocsa K-101 monitoring kutak vízszintjei mutatnak.

3.3.2.10.3 A talajvízszint süllyedés okai

Az elmúlt évtizedekben számos kutatás folyt annak meghatározására, hogy az egyes tényezők milyen arányban hatottak a talajvízszint tartós süllyedésére a Homokhátság területén. Az éghajlati tényezőket, ezen belül a csapadék mennyiségének csökkenését gyakorlatilag minden kutató megemlíti a kutatások eredményeképpen [317][370].

A beszivárgás mennyiségének csökkenését a területhasználat változása is okozhatja. A Duna-völgy nagy része mélyártéri terület, az ország egykor állóvizekben leggazdagabb területe volt. Az ármentesítések előtt évente kétszer-háromszor is elöntötte a területet a víz, amely részben elpárolgott, részben beszivárgott. Ez az utánpótlás gyakorlatilag megszűnt. A belvízelvezető csatornák megépítésével a mélyártéri területek az év nagy részében megcsapolási területté váltak, az egykor magas vízállású területeken szántóföldek találhatóak. A felszíni vízrendezés következtében, a belvízcsatornák medrének szintje határozza meg tartósan a talajvíz szintjét [186]. A szántóföldek mellett jelentősnek tekinthető az erdő területhasználat változása is, amit a szakemberek negatív hatásúnak tekintenek. A tájidegen fajok (pl. kanadai nyár) betelepítése ugyanis fokozott evapotranspirációt eredményez [252]. Ma is tartó folyamat, hogy a hóolvadás és a nagyobb csapadék után kialakuló belvizet elvezetik, így az nem tud a felszín alá szivárogni [250]. Ez jelentős mennyiség, de számszerűsíteni nem lehet ezt a mennyiséget.

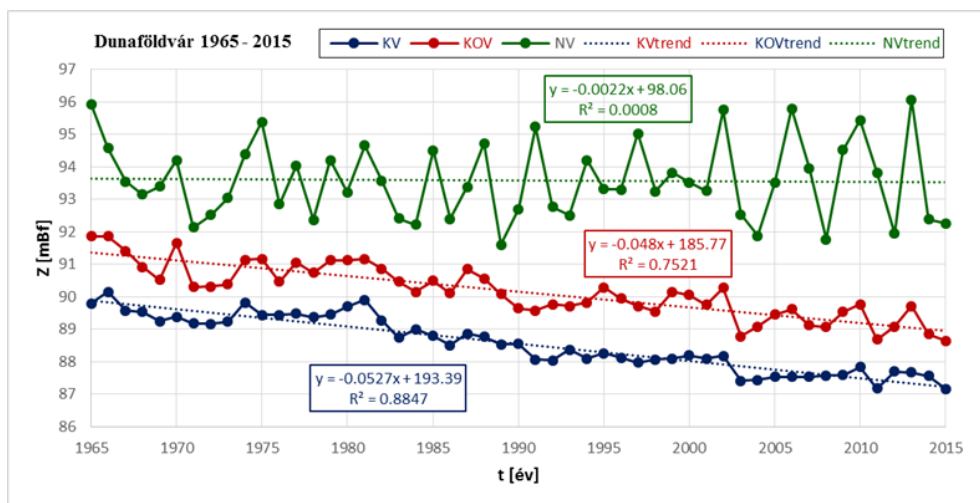
A csapadék mennyisége mellett jelentős a vízkivételek hatása. A vizsgálati területen, mint az a 3.3.2.5 fejezetben bemutatásra került, a kvarter vízadóból közel 6 millió m³/év vizet termelnek regisztráltan éves szinten, ennél azonban – az engedély nélküli vízkivételeket is figyelembe véve – a tényleges termelés nagyobb. A nyomásviszonyokra hatással van a pannóniai rétegekből történő 10,3 millió m³/év vízhasználat is, azon területeken, ahol a pannóniai és a kvarter rétegek hidraulikailag összefüggőek.

3.3.2.10.4 A Duna medrének süllyedése, és vízjárásának változása

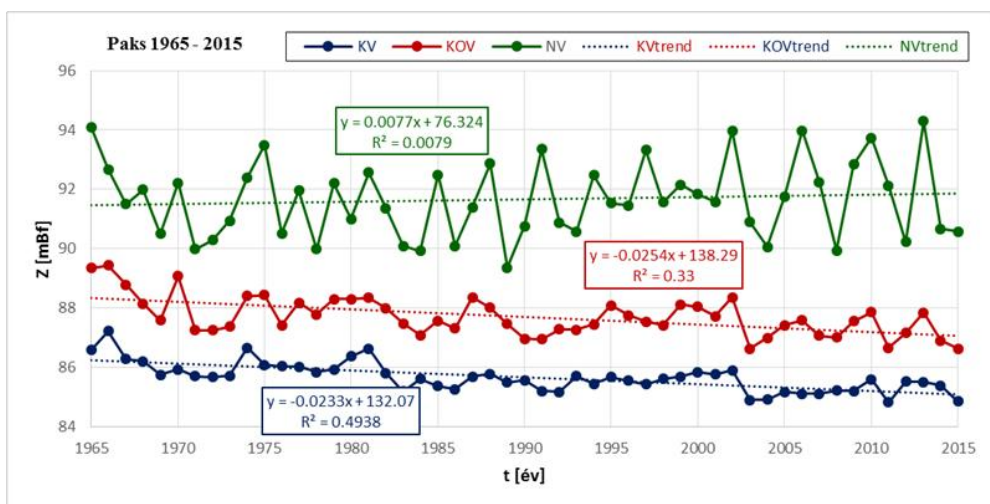
Mint az a 3.3.2.10.1 fejezetben bemutatásra került, a távlati vízbázisok monitoring kútjai alapján közvetlenül a Duna mellett is tapasztalható a talajvízszint süllyedése. Tekintettel arra, hogy a Duna vízjárása meghatározó a Duna hidrodinamikai hatásterületén, vizsgálni kell a Duna medrében és vízszintjében bekövetkező hosszútávú változásokat is.

A Duna vízföldtani folyamatokat befolyásoló hidrológiai viselkedésének vizsgálata során megállapításra került, hogy a kis- és közepes (éves átlagokból képzett) Duna vízszintek (homogén idősor tartományban: 1965-2015) trendje közel párhuzamosan csökken a dunaföldvári (354. ábra), a paksi (355. ábra) és a dombori (356. ábra) vízrajzi állomásokon. A Duna vízállás adataiból összességében az is megállapítható, hogy a kisvizes időszakok száma növekedett, a középvizes időszakok száma csökkent a vizsgálati területre eső Duna szakaszon. A nagyvizes Duna vízszintek Dunaföldvárnál stagnálnak, Paksnál és Domborinál kismértékben növekvő tendenciát mutatnak. A nagyvizes időszakok száma csökkent.

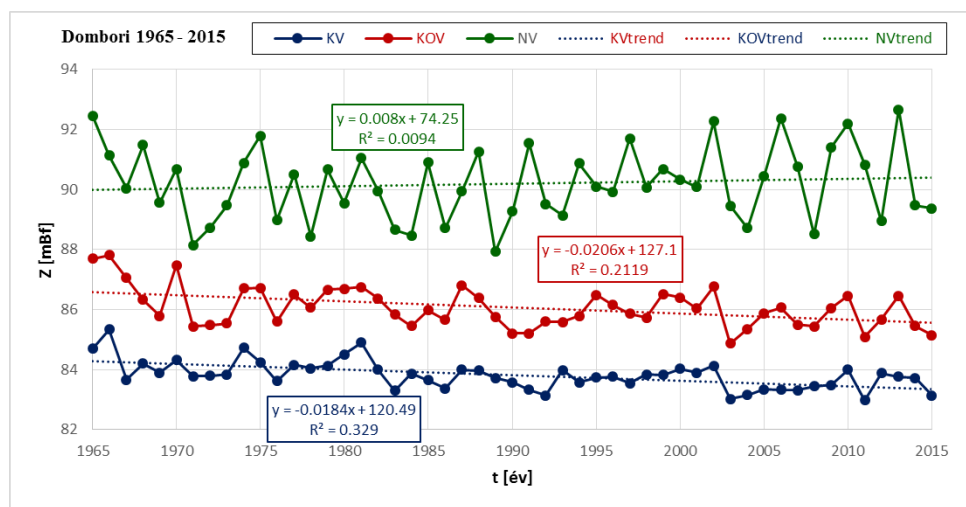
A Duna hidrodinamikai hatásterülete, a monitoring kutak és a Duna vízállás adatok korreláció számítása alapján, a Dunától számított 300-1000 m. Az erózióbázis süllyedése a talajvízszint csökkenését eredményezheti. Hosszabb távon ez a hatás a magas talajvízállású, megcsapolási területekre is kiterjedhet.



354. ábra A Duna vízállásainak trendje Dunaföldvárnál 1965 és 2015 között



355. ábra A Duna vízállásainak trendje Paksnál 1965 és 2015 között



356. ábra A Duna vízállásainak trendje Domborinál 1965 és 2015 között

A kis és középvizek trendszerű csökkenése több okra vezethető vissza. A kisvízszint nagyobb mértékű csökkenése, a Duna meder és a meder mélyvonulatának erőteljesebb

mélyülésére utal. A Duna 2016-ban elkészült nagyvízi mederkezelési terve szerint [366][367][368] a kis és középvizek trendszerű csökkenését elsősorban a medersüllyedés okozza. Megállapították, hogy az észlelések kezdete óta a meder a Dunaújváros – Mohács közötti szakaszon süllyed, kivéve a Dunaföldvár alatti közvetlen mederszakaszt. Ez utóbbi oka valószínűleg a mederfenéken kibukkanó alapkőzetből keletkező gázló, mint eróziós küszöb. A süllyedés üteme Dunaföldvár után Paks és Dombori vízmércéknél igen erőteljes, Dunaújvárosnál közepes, Baja és Mohács esetén kevésbé erőteljes – egymáshoz viszonyítva.

A meder természetes formáját a 19. században végzett mederszabályozási munkálatok erősen befolyásolták. A beavatkozások hatására a folyószakasz hossza mintegy 40%-al csökkent, esése közel kétszeresére nőtt, megnövelve folyásának sebességét is, ami a víz mederbontó energiájának növekedésével járt együtt. Hatására egy erőteljes mederbeágyazódási folyamat indult meg [251]. A medersüllyedés kialakulását elősegítették a kavicskotrások is [177]. A hetvenes években igen jelentős ipari célú kavics kitermelés folyt, főleg a Dunaföldvár-Uszód közötti szakaszon, a házgyárak és a nagyobb volumenű építkezések kielégítésére. Mederalakítási tevékenységet ma már csak a többcélúságot figyelembe véve, a kisvizek további süllyedését nem előidéző módon végeznek, a Tervezett telephelyvet érintő 1536 – 1520 fkm közötti szakaszon (a szabályozási vonalon belül) teljes kotrási tilalom lett elrendelve.

A Duna jellemző vízszintjeinek változását nemcsak a medersüllyedés, hanem az éghajlati és vízjárési tényezők megváltozása, a Felső-Dunán megépült vízlépcsők kiegyenlítő és egyéb hatása, a korábban előforduló túl szűk keresztmetszetek bővülése is okozza [381].

3.3.2.11 A felszín alatti víz vízszint és nyomásállapotában várható változások a következő évtizedekben

Mivel a süllyedést számos természetes és nem természetes tényező befolyásolja, a talajvíz süllyedésének jövőbeni mértékét nem lehet pontosan előre jelezni. Vannak olyan folyamatok, amelyek a jövőben várhatóan már nem fognak hatni: ilyen a felszíni vízrendezés, a belvízelvezetés vagy területhasználat-változás hatása. A jövőben a következő tényezők hatása érvényesülhet:

- Az éghajlat változás miatt bekövetkező talajvízforgalom és az effektív beszivárgás változása.
- A vízhasználatok változása.
- A Duna medrének süllyedése, és a kis-, és középvízszintek további csökkenése.

3.3.2.11.1 Éghajlati hatások 2 100-ig

Paks II. beruházás környezeti hatásvizsgálatához, az OMSZ által készített éghajlati modellek a 2011-2040 időszakra 1,1-1,5 °C, a 2041–2070 időszakra 2,1-2,6 °C, valamint 2071-2100 között 3,5-3,6 °C éves átlaghőmérséklet emelkedést prognosztizálnak [244]. A legerőteljesebb melegedés minden időszakban nyáron várható, ami az evapotranspiráció növekedéséhez vezet, és a magas talajvízállású területeken, különösen nyáron a talajvíz további süllyedését eredményezheti.

A csapadék esetében, a hőmérséklettel ellentétben, a XXI. század folyamán nem jeleznek egyértelmű és lineáris változást, sem a három jövőbeli időszak, sem pedig a különböző éghajlati modelleket illetően. A modellezett harmincéves átlagokat tekintve

azonban a modellek megegyeznek a csapadék mennyiségének nyári csökkenésében, és őszi növekedésében (160. táblázat).

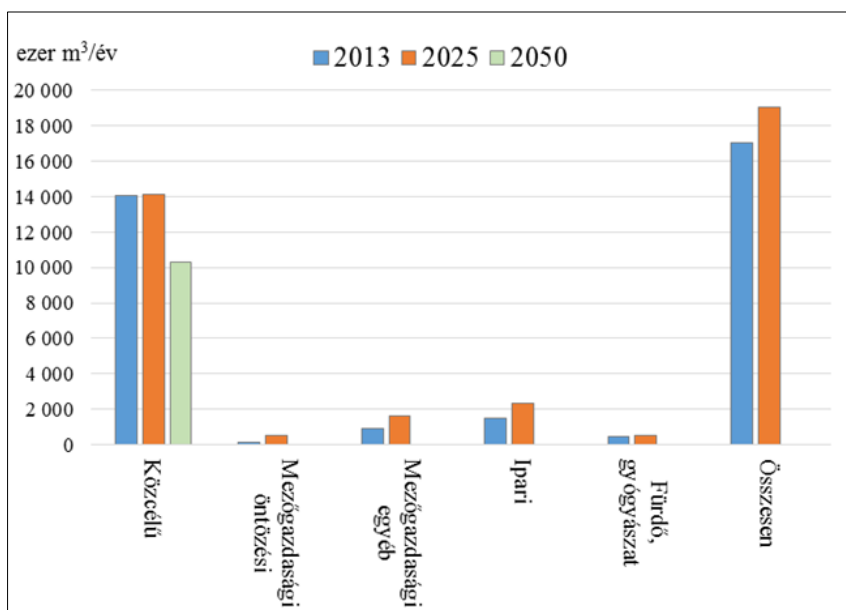
160. táblázat Az éves és évszakos csapadék 1961–1990 megfigyelt értékei (mm/hónap), illetve a két éghajlati modell szerint várható változás (%) Paks térségében 2011–2040-ben, 2041–2070-ben és 2071–2100-ban az 1961–1990 referencia időszakhoz képest [244]

A sárga/zöld szín jelöli a két modell alapján egyértelmű csapadékcsökkenést/növekedést

Csapadék	1961–1990	2011–2040	2041–2070	2071–2100
	megfigyelés (mm/hónap)	változás (%)		
Éves	47	(-4)–0	(-5)–(-3)	(-4)–4
Tavaszi	46	(-14)–6	(-5)–(-4)	(-3)–4
Nyári	62	(-6)–(-3)	(-16)–(-14)	(-27)–(-20)
Őszi	43	2–3	0–14	5–21
Téli	39	(-6)–7	(-7)–16	2–32

3.3.2.11.2 A vízhasználatok változása 2050-ig

Az FKP alatt készült vízhasználat prognózis szerint 2025-re az összes vízigény mindössze 10%-os emelkedése várható, a mezőgazdasági és az ipari vízigények növekedése miatt. Hosszabb távon azonban a vízigényeket a lakosság számának radikális csökkenése fogja meghatározni, ami azt jelenti, hogy 2050-re a közüzemi vízellátás mennyisége akár 27%-kal is csökkenhet (357. ábra).



357. ábra A vízigények becsült alakulása 2025-ig, és 2050-ig

A regionális vízföldtani vizsgálati területen új vízbeszerzésként jelentkezhet, hogy a gyenge mennyiségű állapotú homokhátsági területek közcélú vízbeszerzését a Duna mellett található távlati parti szűrővíz bázisokra helyezik át. Ez az intézkedés megtalálható a 2015-en elkészült második Vízügytő-gazdálkodási Tervben [250], azonban csak stratégiai szinten. A kitermelhető készleteket nagymértékben befolyásolja, és adminisztratíván korlátozza is, az EU Víz Keretirányelv alapján kialakított vízgazdálkodási szakpolitika, amely alapján Magyarország első és második Vízügytő-gazdálkodási Terve is készült. Az EU Víz

Keretirányelv szemlélete szerint a víztestek állapotromlása (pl. tartós vízszintsüllyedés) nem következhet be, sőt a tagállamoknak intézkedéseket kell bevezetniük a víztestek állapotának javítására.

A vízhasználatok között kiemelten kell értékelni a Paks II. beruházás vízigényét [229]. A beruházásnak nemcsak építőipari vízigénye van, hanem a beruházás következtében Paks város népességének időszakos növekedése is várható. Megemelkedett vízfelhasználással kell számolni Paks I. és Paks II. együttes működésének időszakában. Paks II. önálló működési időszakában hasonló vízfogyasztással lehet számolni, mint Paks I. jelenlegi vízfogyasztása. Paks város jelenlegi csúcsvíz igénye 5500 m³/nap. Az építés ideje alatt jelentkező további kommunális ivóvíz igény 1000 m³/nap (700 m³/nap + 300 m³/nap tartalék). További 500 m³/nap tartalékkal számolva így összesen 7000 m³/nap. Paks I. esetén a jelenlegi mintegy 1300 m³/napos csúsvízigénnyel továbbra is lehet számolni, ezért a Paks I. és Paks II. esetén, együttesen 2300 m³/nap csúsvíz igénnyel lehet számolni.

3.3.2.11.3 A Duna medrének süllyedése, és a kis-, és középvízszintek további csökkenése

A Paks II beruházás során készült hidrológiai vizsgálatok szerint, a Duna medersüllyedésének üteme nem változik markánsan az idő függvényében, a következő évtizedben hasonló mértékűre prognosztizálják (mintegy 2 cm/év), mint az elmúlt időszakban volt.

A kis-, és középvízszintek továbbra is csökkenni fognak. A modellezések szerint a két (logaritmikus és lineáris kiegyenlítéses) módszerrel kapott vízszintsüllyedés mértéke átlagosan -1,32 cm/év lesz, 2090-re eléri átlagosan az 1,0 m-t. Ebben az esetben a 100 000 évente visszatérő kisvízszint 2090-ben 82,33 mBf értékre becsülhető a paksi vízmércénél, míg 82,06 mBf-re a Tervezett telephely Duna (1527 fkm) szelvényében.

3.3.2.11.4 A potenciáltér változása

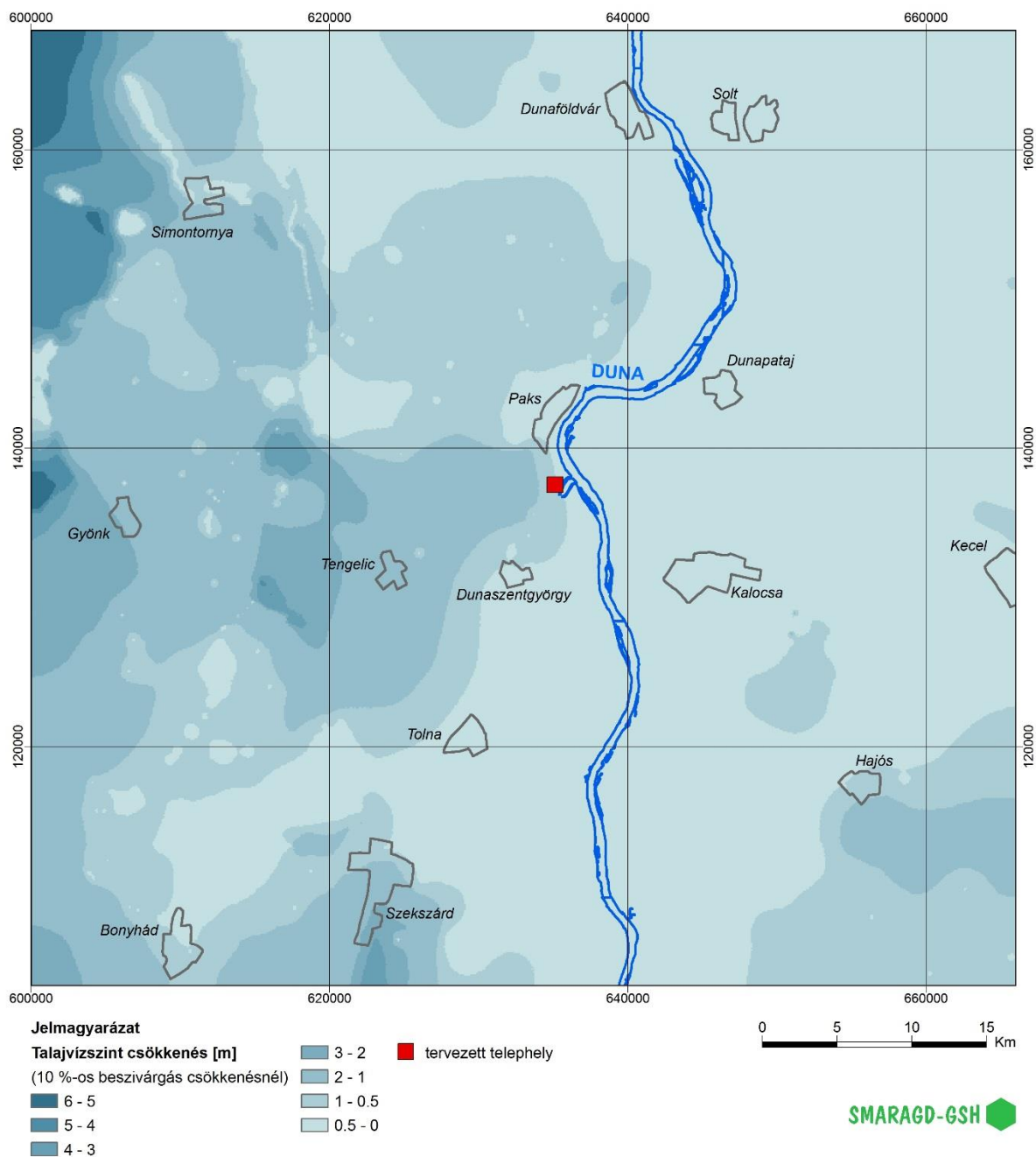
A társadalmi és környezeti tényezők változása a gravitációs áramlási rendszert érinthetik. A 161. táblázatban a különböző irányú hatásokat foglaljuk össze:

161. táblázat A társadalmi és környezeti tényezők hatása a gravitációs áramlási rendszerre

A változást kiváltó ható	Talajvízszint változás	Felső- pannóniai rétegek nyomás változása
Duna meder süllyedés, kis és középvízszintek trendszerű csökkenése	elsősorban a Duna hatásterületén	nincs rá hatással
közüzemi vízhasználat jelentős csökkenése	esetleg emelkedés	emelkedés, elsősorban a települések környezetében
öntözési vízigények növekedése	csökkenés	nincs rá hatással
éghajlat változás, hőmérséklet emelkedés	csökkenés	nincs rá hatással
éghajlat változás, csapadék mennyiségének változása	bizonytalan	nincs rá hatással

Mivel a közüzemi vízkivétel zöme a felső- pannóniai összlet felső 100 méteréből történik, a vízkivétel csökkenése a felső- pannóniai rétegekben nyomás emelkedést eredményezhet. Ez a nyomásemelkedés a kvarterben is éreztetheti hatását, de mivel minden más hatótényező csökkentő hatása először a kvarter rétegekben jelenik meg, ez a talajvízszint növelő hatás valószínűleg nem fog érvényesülni. Ráadásul az éghajlat változás miatt

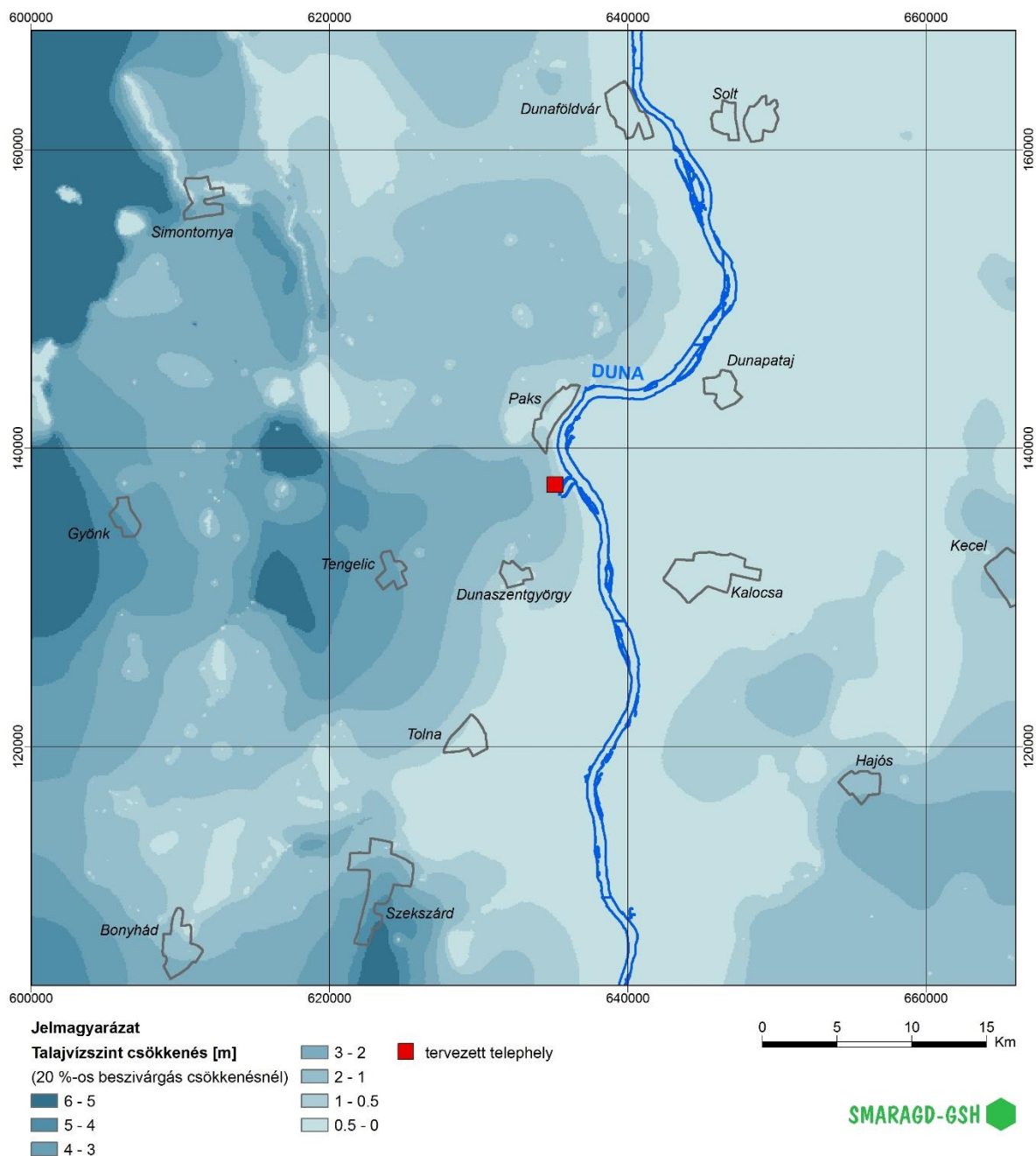
feltételezhető, hogy meg fog növekedni a kvarter rétegekből kitermelt öntözővíz mennyisége, ami a hatások nagyságát bizonytalanná teszi.



358. ábra Modellezett talajvízszint süllyedés 10%-os beszivárgás csökkenés esetén (1. scenárió)

Az egyes változások nagyságrendje, térbeli és időbeni alakulása nehezen becsülhető, és számszerűsíthető, a változásokat numerikus hidraulikai modellezéssel csak feltételezett scenáriókkal lehet becsülni. Pontosabb szimuláció csak akkor készülhetne, ha az éghajlat változási modellek napi szintű becslést tudnának adni, és a regionális hidrodinamikai modell tranziens lenne. A vízszint változások becsléséhez két modell scenárió készült. Az 1. scenárió 10%-os, a 2. scenárió 20%-os beszivárgás csökkenéssel számolt, feltételezve az éghajlat változás negatív hatását. Mindkét scenárió esetén a 2050-re becsült víztermelés csökkenés lett figyelembe véve.

Az eredményeket mutatja be a 358. ábra és 359. ábra. Mindkét térképen látható, hogy a beszivárgás csökkenése a talajvíz szintjének süllyedésében nyilvánulhat meg. A beszivárgási területeken (dombvidékeken) ez nagyobb mértékű, mint a feláramlási területeken. Ennek az az oka, hogy a feláramlási területeken alapvetően alulról történik az utánpótlódás. A dombvidékeken a talajvízszint süllyedése a kisvízfolyások kiszáradásához vezethet.



359. ábra Modellezett talajvízszint süllyedés 20%-os beszivárgás csökkenés esetén (2. scenárió)

3.3.2.12 A mélyfúrásokban végzett hidrodinamikai vizsgálatok eredményei

A mélyebb vízföldtani egységek vizsgálatát a fúrásos kutatás során a magfúrások kivitelezése közben lehetett költséghatékonyan elvégezni. Az egyes fúrások kivitelezése során a földtani rétegsorok, a maganyag folyamatos dokumentálása és a geofizikai mérések alapján

különböző vizsgálati szakaszok kerültek kiválasztásra, ahol különböző hidrodinamikai vizsgálatok kerültek elvégzésre (víztermeléssel vagy betáplálással (slug)) a Mecsekérc Zrt. és a Golder Zrt. kivitelezésében. Egyes kiválasztott vizsgálati szakaszokból a víztermelést követően vízmintavételek is történtek laboratóriumi vizsgálatok céljára. A vizsgálatok elsődleges célja a regionális vízföldtani modellhez szükséges hidrodinamikai paraméterek biztosítása, és a nyugalmi nyomásadatok révén a modell validálásának segítése.

3.3.2.13 Egyszerű hidrodinamikai vizsgálatok

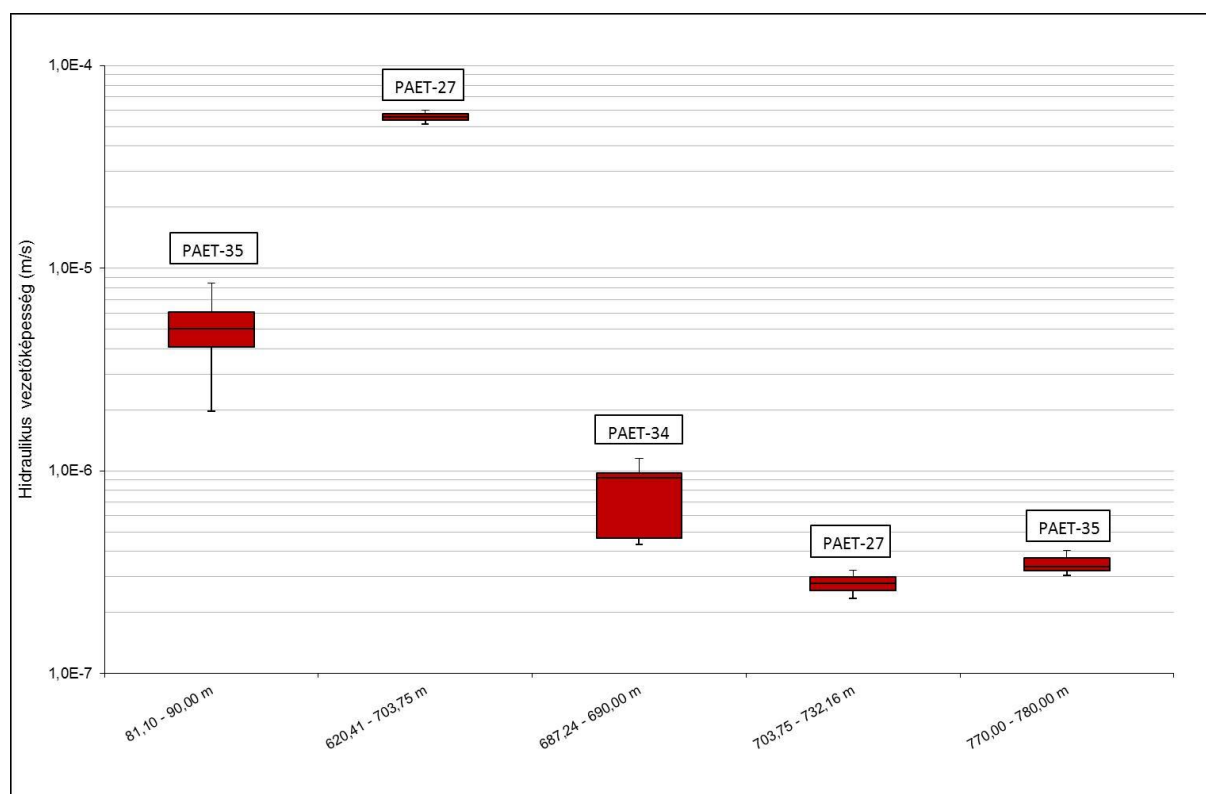
A mélyfúrásokban összesen öt (pakker nélküli) hidrodinamikai vizsgálatot végzett a Mecsekérc Zrt., a PAET-27 esetén 1-1 slug és termeltetési vizsgálat zajlott, a PAET-34 mélyfúrásban 1 db termeltetési, míg a PAET-35 esetében 2 db termeltetési vizsgálatot és 1 slug tesztet hajtottak végre. Ebben az alfejezetben ezek eredményeit foglaljuk össze, a vizsgálatok módszertani leírását a 2. fejezetben közöltük.

A PAET-27 fúrásban két mélységköz került vizsgálatra, a slug teszt a 620,41 – 703,75 m közötti, míg a termeltetési a 703,75 – 732,16 m közötti szakaszban lett elvégezve. A slug teszt megkezdése előtt hosszabb idejű vízszintmérésekkel meghatározásra került a nyugalmi vízszint, ami az ültetőasztaltól -23,27 m-en (79,37 mBf) állt be. A slug teszt vízszintcsökkenési szakaszából a földtani képződmény transzmisszivitása, hidraulikus vezetőképessége lett meghatározva. Kiértékelő szoftver (Aqtesolv) segítségével az átlagos transzmisszivitás $4,67 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ -nak, míg a hidraulikus vezetőképesség $5,58 * 10^{-5} \text{ m/s}$ -nak adódott. A mélyebb szakasz (703,75 - 732,16 m) esetében szivattyúteszt lett végrehajtva, az eredményeket kiértékelve $3,12 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ volt a transzmisszivitás, és $2,79 * 10^{-7} \text{ m/s}$ a hidraulikus vezetőképesség. A vizsgált szakaszok az alsó-jura Hosszúhetényi Mészmarga Formáció részei, foltos márga és kalcittelérek építik fel ezeket a mélységközöket.

A PAET-34 mélyfúrás 687,24 – 690,00 m közötti szakaszát vizsgáltuk termeltetéssel, a feltárt képződmény a miocén korú Lajta Mészkeő Formáció volt. A többféle módszerrel kiértékelt teszt átlagos transzmisszivitás $2,1 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, átlagos hidraulikus vezetőképessége $7,9 * 10^{-7} \text{ m/s}$ lett.

A PAET-35 mélyfúrás esetében két szivattyúteszt került végrehajtásra. A 80 – 90 m mélységek között a felső-pannoniai aleuritos agyag hidrodinamikai paraméterei lettek meghatározva. Átlagos transzmisszivitásnak $4,57 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, átlagos hidraulikus vezetőképességnek $5,13 * 10^{-6} \text{ m/s}$ adódott. A másik vizsgálati szakasz 770,60 – 781,89 m között helyezkedett el, azonban itt a termeltetési vizsgálat rövid idő alatt nagy depressziót okozott, valamint a visszatöltődés üteme kicsi hidraulikus vezetőképességre utalt, ezért egy slug teszt is elvégzésre került. A transzmisszivitás így $5,22 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ -nak adódott, a hidraulikus vezetőképesség $3,48 * 10^{-7} \text{ m/s}$ volt.

A tesztekől számolt hidraulikus vezetőképesség értékek mélység szerinti eloszlását az alábbi Box-Whisker diagramon mutatjuk be (360. ábra)



360. ábra Az egyes mélyfúrások hidraulikai vizsgálataiból számolt K tényezők mélység szerint (nem pakkeres vizsgálatok)

3.3.2.14 Pakkeres hidrodinamikai vizsgálatok

A tervezett telephelyen kívüli mélyfúrásokban végzett pakkeres hidraulikai vizsgálatok legfontosabb adatait a 162. táblázat foglalja össze. A vizsgálatokat mérési sorozatokba, vagy egyedi vizsgálatokként tervezve a fúrási tevékenységet megszakítva végezte a Golder Zrt.. A kutatási program során időrendben a következőképpen zajlottak a vizsgálatok:

- 2015. 06. 24 – 07. 02. között egyetlen mérési sorozat zajlott a PAET-26 jelű fúrásban, 2 db teszttel 560,00 m-es talpmélységnél. A PAET26t1 teszt során az 504,46–560,00 m mélységközéből víztermelés volt mélységi vízmintavétel céljából egypakkeres észlelőrendszerrel. A második teszt szintén egypakkeres rendszerrel zajlott, célja az 530 m környékén harántolt, erősen repedezett zóna alatti térrész vizsgálata volt
- 2015. 09. 08 – 11. között a Golder 3 tesztet végzett a PAET-34 jelű fúrásban, 1108,03 m-es talpmélységnél. Ekkor a 800,56 – 1056,81 m mélységközben 25 m-es vizsgálati szakasszal kiviteleztek a vizsgálatokat (PAET34t4). Ezután 2015. 09. 17-én visszatértek egypakkeres észlelőrendszerrel, tartós víztermelést végezni és vízmintát venni
- 2015. 11. 04 – 08. között a PAET-29 jelű fúrásban zajlott mérési sorozat, 3 db teszttel 1454,00 m-es talpmélységnél. A három tesztet kétpakkeres eszközrendszerrel végezték az 800,36 – 1344,86 m mélységtartományból kiválasztva az alkalmas intervallumokat. Víztermelést nem végeztünk a fúrásban
- 2016. 01. 10 – 15. között egyetlen mérés történt a PAET-30 jelű fúrásban, 548,61 m-es talpmélységnél. Egypakkeres eszközzel az 532,20 – 548,61 m mélységközéből víztermelés is történt

- 2016. 01. 19 – 02. 13. között zajlott a második mérési kampány 3 teszttel a PAET–34 jelű fúrásban, 1867,80 m-es talpmélységnél. Ekkor a 1474,01 m és a lyuktalp között végeztek 3 db egypakkeres mérést mechanikus pakkerrel. A PAET34t7 teszt során tartós víztermelés, majd vízmintavétel zajlott
- 2016. 03. 02 – 04. között zajlott 2 teszt a PAET-27 jelű fúrásban, 707,02 m-es talpmélységnél. Ekkor a 666,35–707,02 m mélységközben egypakkeres mérés történt, majd az eszközrendszert átalakítottuk és kétpakkeresre, így újabb mérést végeztek 597,58 – 622,51 m között
- A második mérési kampány 2 teszttel a PAET-27 fúrásban 2016. 03. 27 – 29. között zajlott, 919,05 m-es talpmélységnél. Ekkor a 757,77 – 779,71 m mélységközben kétpakkeres mérést végeztek, ezután az eszközrendszert átalakították és egypakkeres eszközzel mérték a fúrás 830,33–919,05 m közötti szakaszán

A pakkeres vizsgálati szakaszok hosszát igyekeztek egységesen 25 m körül kialakítani, de sok esetben (ha a lyukállapot nem tette lehetővé, ill. egypakkeres eszköz esetén) ennél hosszabb vizsgálati szakaszok is előfordultak. Alapvetően kétféle tesztípust alkalmaztak: rövidebb, kb. 4–15 óra időtartamú tesztek (a vizsgálati szakasz transzmisszivitásának és nyugalmi nyomásának meghatározására), valamint több napig tartó víztermeléses tesztek. A telephelyen kívüli mélyfúrásokban összesen 17 teszt került kivitelezésre. A fúrásokban négy intervallumban volt víztermelés vízmintavétel céljából, amelyet tartós nyomásmérés követett.

A pakkeres hidraulikai vizsgálatok eredményei alapján a fúrásokban egyes vizsgálati szakaszokra megállapíthatóak az adott intervallumra jellemző hidrodinamikai paraméterek (transzmisszivitás, mélységi nyugalmi nyomás). Fontos hangsúlyozni, hogy ezek a mérések nem fedték le teljes egészében a fúrások maggal mélyített szakaszát, sőt az adott képződmény (geológiai formáció) tulajdonságait is csak korlátozottan jellemzik. A megállapítások tehát ilyen módon csak áttételesen általánosíthatóak a regionális viszonyokra.

Az elvégzett hidraulikai vizsgálatok kiértékelése eredményeként a következőkben foglalható össze a kapott transzmisszivitás eredmények, nagyságrendileg jellemezve ezzel a képződmények vízvezető képességét. Lehetőség szerint próbálták meghatározni az egyes szakaszok nyugalmi nyomását is, mivel – a transzmisszivitás értékeket is figyelembe véve – leginkább ez alapján lehetséges kijelölni az egymástól különböző hidraulikai tulajdonságokkal rendelkező térrészeket. Az 5 fúrásban 17 vizsgálat történt, de ezekből mindössze 1 esetben nem sikerült a nyugalmi nyomást meghatározni a vizsgálati szakasz rossz vízvezető képessége miatt.

A telephelyen kívüli mélyfúrások közül az első két teszt a PAET–26 jelű fúrásban zajlott. A tesztek a fúrás alsó részén, a kristályos alaphegységi szakaszon (csillámpala) kerültek kivitelezésre. A fúrás alsó szakaszán – a kristályos alaphegységi részben – mindkét teszt esetében jó, jellemzően a 10^{-6} m²/s nagyságrendbe eső transzmisszivitásokat határoztunk meg, a PAET26t2 teszt esetében ugyan a pakkert a kb. 530 m-ben lévő repedezett szakasz alá ültették ki, a vízvezető képesség csak kis mértékben változott. Ezek alapján megállapítható, hogy a magas vízvezető képességű repedés (amelyből a víztermelés is történt) a fúrás alsó szakaszán helyezkedhetett el.

A potenciálszint értékek egymáshoz közel állnak, mindkét teszt alapján 100 – 110 mBf közötti értéket mutattak, vagyis a fúrás alsó szakaszának potenciálszintje 45-55 méterrel a felszín alatt húzódik. A potenciálszint számításánál a fúrólukban lévő folyadék sűrűségét a hőmérsékleti korrekció nélkül 1000 kg/m³-nek tételezték fel a napi iszapjelentésekre alapozva.

A PAET-29 jelű fúrásban elvégzett 3 teszt a fúrás középső részén (800 – 1345 m között) került kivitelezésre. A kapott eredmények hordoznak némi bizonytalanságot a felmerült eszközproblémák miatt. A fúrás által e szakaszon harántolt dácit és agglomerátum vízvezető képessége a PAET29t1 alapján jó ($1,3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$), azonban a másik két teszt során ennél öt nagyságrenddel rosszabb, $10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ nagyságrendbe tartozó értékeket állapítottak meg. E három elvégzett teszt alapján tehát a formáció változékonynak tekinthető. A PAET29t3 teszt végzése során nem volt lehetséges nyugalmi nyomás meghatározása, az első két tesztből kapott nyomásérték viszont eléggé eltérő potenciálszinteket eredményeztek. A mélységből adódó hőmérsékleti korrekció nélkül, 1000 kg/m^3 sűrűséget tételeztek fel, azonban egymástól eléggé eltérő potenciálszinteket kaptak eredményképpen. Az első teszt vizsgálati szakaszának potenciálszintje 45 m-rel van felszín alatt. A második teszt során mért érték alapján viszont ennél lényegesen magasabban, felszín fölött 6 m-ben van a szakasz potenciálszintje. A rossz vízvezető képesség a PAET29t2 esetében azonban bizonytalanná teszi ezt az eredményt.

A PAET-27 jelű fúrásban elvégzett négy teszt $4,2 \times 10^{-5} - 2,3 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ közé eső transzmisszivitásokat hozott, a két első teszt inkább jobb (karbonátos breccsa), a fúrás alsó részén feltárt mészmárga breccsa és konglomerátum összletek inkább mérsékelt és viszonylag jó transzmisszivitás jellemzi. A potenciálértékek kevésbé tekinthetők egységesnek, mivel a számított sűrűségek az eltérő mélységtartományokban nagyon különbözőek. A figyelembe vett – a különböző mélységben elhelyezett nyomássonidák által mért adatokból számított – sűrűségek $986,3 - 1045,3 \text{ kg/m}^3$ között alakulnak, így a legmagasabb nyugalmi potenciál felszín felett 6,5 m, míg a legalacsonyabb közel 40 méterrel a felszín alatt van. A potenciálok a mélységgel csökkennek.

A PAET-30 fúrás alján elvégzett egyetlen teszt során meghatározott transzmisszivitás az elvégzett tesztek közül kapott legmagasabb ($1,2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$). A vizsgálati szakaszból szabad kifolyással sikerült vizet termelni, a víztermelést követő tartós nyomásmérés végén a vizsgálati szakasz nyomása 5136,8 kPa-t ért el, a feltételezett sűrűség így 1008 kg/m^3 , a származtatott nyugalmi potenciál 8,6 m a felszín feletti.

A PAET-34 jelű fúrásban két mérési kampány zajlott. Az első körben 4 tesztet végeztek, amelyből az egyik egypakkeres volt, víztermeléssel. A négy teszt 800,3 – 1108,3 m között került kivitelezésre. A kapott transzmisszivitások a három 25 m-es vizsgálati szakaszra egységesen $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ nagyságrendbe esnek, ettől két nagyságrenddel magasabb ($9,1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) értéket adott a PAET34t4 teszt, itt azonban a vizsgálati szakasz hossza 160 m volt. A fúrás ezen szakaszán feltárt dácit nyugalmi potenciálja felszín felé emelkedik akár 14 m-el is, kivétel a PAET34t2 teszt, amelynek nyugalmi potenciálja 17 m-el van felszín alatt.

A fúrásban a második kampány eltérő eszközrendszerrel zajlott. Mechanikus pakkerrel és memóriaszondával végeztük el a három tesztet, mindhárom teszt egypakkeres volt, alulról felfelé haladva egyre hosszabb vizsgálati szakaszokkal. A tesztek alapján meghatározott transzmisszivitások $6,7 \times 10^{-9} - 8,1 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ között alakulnak. A leghosszabb vizsgálati szakasz közel 400 m hosszú volt, azonban a vízvezető képessége mérsékelt, ez alapján úgy tűnik, hogy a fúrás alján harántolt alurolitok, tufák, homokkövek és konglomerátumok nem jellemezhetőek jó vízvezető képességgel.

A fúrás alsó 400 m-ében elvégzett tesztek közül származó potenciálok felszín felett húzódo értékekkel jellemezhetőek. Mivel a vizsgálatához mindössze egy memóriaszondát alkalmaztak a mechanikus pakker alatti szakaszon, így a sűrűségszámításnál a korábbi kampányban meghatározott sűrűség értékekre kellett támaszkodni. Ennek megfelelően a potenciálok

meghatározásánál 1008,3 kg/m³ sűrűséget tételeztek fel, az PAET34t5–PAET34t6 tesztekre ez felszín fölötti 75–85 m értékeket jelent. Az utolsó teszt ettől eltérő, felszín alatt 14 m-es potenciálszintet eredményezett, de itt nem tudták figyelembe venni a mélységi nyomásszonda értékeit, mivel az eszköz a vizsgálat befejeztével a fúrásban maradt, így ezen érték felhasználását nem javasolják.

162. táblázat: A pakkeres hidrodinamikai vizsgálatok eredményei

Kút neve	Teszt száma	Fúrási "0" szint (tszf)	Vizsgált szakasz teteje m t. a.	Vizsgált szakasz alja m t. a.	Nyugalmi nyomás (kPa)	T (m ² /s)
PAET-26	PAET26t1	150.07	504.46	560.00	4566.8	5.05E-06
PAET-26	PAET26t2	150.07	531.94	560.00	4488.3	4.08E-06
PAET-34	PAET34t1	91.71	1031.72	1056.81	6624.3	1.45E-08
PAET-34	PAET34t2	91.71	906.26	931.35	5132.5	5.16E-08
PAET-34	PAET34t3	91.71	800.36	825.45	4362.5	7.09E-08
PAET-34	PAET34t4	91.71	947.99	1108.30	5863.6	9.08E-06
PAET-29	PAET29t1	133.06	1320.03	1344.86	5512.63	1.28E-06
PAET-29	PAET29t2	133.06	1170.14	1194.97	4541.2	8.88E-11
PAET-29	PAET29t3	133.06	1030.10	1054.93	3214	2.59E-11
PAET-30	PAET30t1	90.17	532.20	548.61	5863.6	9.08E-06
PAET-34	PAET34t5	91.71	1824.46	1867.80	19006.1	1.10E-08
PAET-34	PAET34t6	91.71	1648.90	1867.80	17168.44	6.70E-09
PAET-34	PAET34t7	91.71	1474.01	1867.80	6624.3	8.10E-08
PAET-27	PAET27t1	100.50	666.35	707.02	5463.94	4.15E-05
PAET-27	PAET27t2	100.50	597.58	622.51	5351.95	nincs adat
PAET-27	PAET27t3	100.51	754.77	779.71	6892.07	6.28E-06
PAET-27	PAET27t4	100.51	830.33	919.05	6858.73	2.33E-07

3.3.2.15 Vízhányási vizsgálatok értékelése

A vízföldtani viszonyok regionális méretű meghatározásához a mélyfúrások vizsgálata mellett, Paks távolabbi, 60x60 km-es környezetében vízföldtani reambuláció került elvégzésre, valamint a távolabbi környezetben található jelentős víztermelő és termálkútak mintázása történt meg. A mintázandó objektumok kiválasztásánál a terület földtani képét tektonikai viszonyait is figyelembe vettük. Szempont volt továbbá a megfelelő kútállapot, és a kút rendszeres üzemeltetői használata és kizártuk a régi, több éve nem üzemeltetett rossz állapotú objektumokat. Az elvégzett laboratóriumi vizsgálatok a vízkémiai, izotópgeokémiai eredményekkel segítséget nyújtottak a vízáramlási kép pontosításához, a vízföldtani modellezés eredményeinek validálásához. A Paks 60x60 km-es környezetében történt vízmintavételeket valamint azok eredményeit a „Mecsekérc Zrt.: Vízhányási vizsgálatok kiértékelő jelentése” című dokumentum tartalmazza részletesen [114], jelen fejezetben a legfontosabb megállapításokat, eredményeket közöljük.

A kutatási programba tervszerűen hosszú idejű víztermelések nem voltak beépítve, az idő szűkössége miatt nem volt lehetőség egy-egy fúrás szisztematikus hidrogeológiai vizsgálatára. Így a hidrodinamikai vizsgálatok repedésrendszerek, valamint a nagyobb áteresztőképességű zónák vizsgálatára korlátozódhattak és vízmintavételre is csak így nyílt lehetőség.

A fúrások mélyítése során geofizikai és hidraulikai vizsgálatokat követően, több esetben a hidrodinamikai vizsgálatokhoz kötődő hosszabb idejű víztermelést követően került sor a vízmintavételre. A nagy mélység, a sokszor nagymértékű iszapveszteség, a mintavétel lehetséges módja együttesen erősen befolyásolta a vizsgálható paraméterek körét.

A mélyfúrások közül ötből történt mintavétel, hét különböző mélységben, összesen 12 db vízminta került megvételre általános vízkémiai vizsgálatok és nyomelem meghatározás céljából. Ezek közül néhányból izotópokra is készültek vizsgálatok. A különböző mintavételi szakaszokból nyert vízminták főkomponenseinek mennyiségét az 163. táblázat tartalmazza.

A fő komponensek alapján 8 db minta Na-(K)-Cl-os típusú mélységi víz, 2 db minta Ca-CO₃-os (PAET-34), míg a maradék 2 db minta Na-(Mg)-Cl-HCO₃-os típusú. A gyakorlatilag tisztán Na-Cl-os minták esetén – a több napos víztermelés ellenére – felmerült a fúróiszappal való szennyezettség gyanúja, ugyanakkor a közeli, hasonló mélységű paksi termálkút vize is Na-Cl-os jelleget mutat, továbbá a távolabbi környezetben lévő mintázott termálkútak is hasonló Na-Cl-HCO₃, Na-Mg-Cl-HCO₃, Na-HCO₃-Cl-os jellegűek.

163. táblázat PAET fúrásokból vett vízminták víztípusa, főkomponensek mennyisége

Mintavétel helye	Víztípus	Főkomponensek mennyisége
PAET-26 (503- 560 m)	Na-(Cl)-HCO ₃	nátrium: 1348 mg/dm ³ kalcium: 32 mg/dm ³ kálium: 60,7 mg/dm ³ magnézium: 8,4 mg/dm ³ szulfát: < 5 mg/dm ³ klorid: 2300 mg/dm ³ hidrogénkarbonát: 994 mg/dm ³ pH: 7,6 mg/dm ³ fajlagos elektromos vezetőképesség: 8320 μS/cm
PAET-27 (703,75- 732,16 m)	Na-K-Cl	nátrium: 5200 mg/dm ³ kalcium: 243 mg/dm ³ kálium: 2300 mg/dm ³ magnézium: 43,8 mg/dm ³ szulfát: 15 mg/dm ³ klorid: 8100 mg/dm ³ hidrogénkarbonát: 2015 mg/dm ³ pH: 6,4 fajlagos elektromos vezetőképesség: 35100 μS/cm
PAET-30 (532,20- 548,61 m)	Na-Cl	nátrium: 2827 mg/dm ³ kalcium: 188 mg/dm ³ kálium: 2300 mg/dm ³ magnézium: 45,8 mg/dm ³ szulfát: <5 mg/dm ³ klorid: 11700 mg/dm ³ hidrogénkarbonát: 1769 mg/dm ³ pH: 6,4 fajlagos elektromos vezetőképesség: 32600 μS/cm
PAET-34 (687,27- 690,30 m)	Ca-CO ₃ , Na-Cl	nátrium: 80- 5500 mg/dm ³ kalcium: 64- 293 mg/dm ³ kálium: 1150- 2291 mg/dm ³ magnézium: 6,6- 26,6 mg/dm ³ szulfát: <5- 23,0 mg/dm ³ klorid: 13- 8700 mg/dm ³ hidrogénkarbonát: <6- 256 mg/dm ³ pH: 8,6- 12,46

Mintavétel helye	Víz típus	Főkomponensek mennyisége
		fajlagos elektromos vezetőképesség: 4240- 27000 $\mu\text{S/cm}$
PAET-34 (947,99- 1108,3 m)	Na-Cl	nátrium: 3506 mg/dm^3 kalcium: 296 mg/dm^3 kálium: 2853 mg/dm^3 magnézium: 95 mg/dm^3 szulfát: 45 mg/dm^3 klorid: 21000 mg/dm^3 hidrogénkarbonát: 519 mg/dm^3 pH: 7,2 fajlagos elektromos vezetőképesség: 64000 $\mu\text{S/cm}$
PAET 34 (1473,91- 1867,8 m)	Na-Cl	nátrium: 11178- 14600 mg/dm^3 kalcium: 871- 945 mg/dm^3 kálium: 1150- 2291 mg/dm^3 magnézium: 125- 335 mg/dm^3 szulfát: <5 mg/dm^3 klorid: 23800- 30800 mg/dm^3 hidrogénkarbonát: 573- 732 mg/dm^3 pH: 6,4- 6,8 fajlagos elektromos vezetőképesség: 73700- 75820 $\mu\text{S/cm}$
PAET- 35 (81,1- 90,0 m)	Na-Mg-Cl- HCO ₃	nátrium: 242 mg/dm^3 kalcium: 42 mg/dm^3 kálium: 2,7 mg/dm^3 magnézium: 56 mg/dm^3 szulfát: <5 mg/dm^3 klorid: 560 mg/dm^3 hidrogénkarbonát: 403 mg/dm^3 pH: 7,8 fajlagos elektromos vezetőképesség: 2330 $\mu\text{S/cm}$

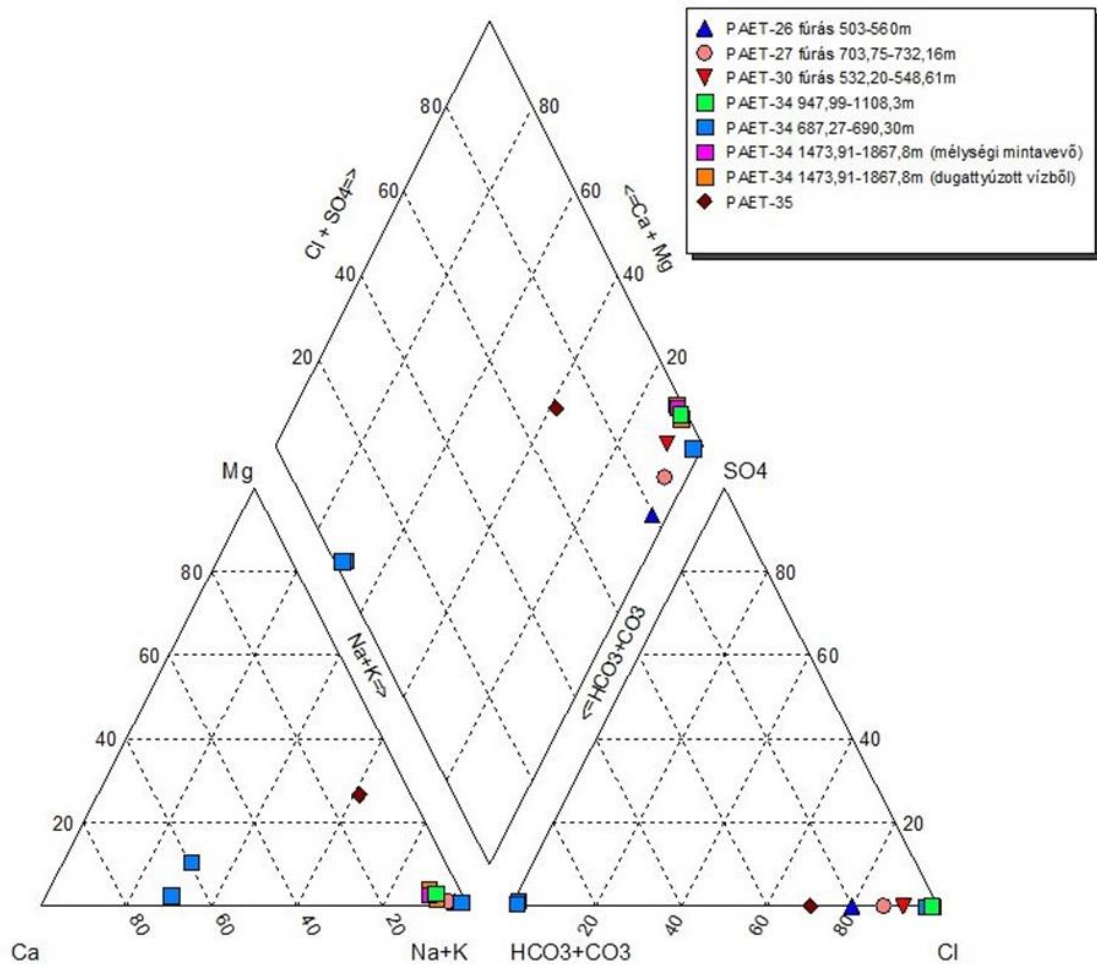
164. táblázat PAET fúrások vízmintáiban mért nyomelem koncentrációk

Mintavétel helye	Víz típus	6/2009 (IV.14.) KVVV-EÜM-FVM Rendeletben meghatározott „B” határértéket meghaladó nyomelemek
PAET-26 (503- 560 m)	Na-(Cl)-HCO ₃	szelén: 32,8 $\mu\text{g/dm}^3$ (10 $\mu\text{g/dm}^3$)
PAET-27 (703,75- 732,16 m)	Na-K-Cl	arzén: 67,80 $\mu\text{g/dm}^3$ (10 $\mu\text{g/dm}^3$) bór: 3437 $\mu\text{g/dm}^3$ (500 $\mu\text{g/dm}^3$) bárium: 3400 $\mu\text{g/dm}^3$ (700 $\mu\text{g/dm}^3$) szelén: 48,8 $\mu\text{g/dm}^3$ (10 $\mu\text{g/dm}^3$)
PAET-30 (532,20- 548,61 m)	Na-Cl	arzén: 213 $\mu\text{g/dm}^3$ (10 $\mu\text{g/dm}^3$) bór: 7938 $\mu\text{g/dm}^3$ (500 $\mu\text{g/dm}^3$) bárium: 25492 $\mu\text{g/dm}^3$ (700 $\mu\text{g/dm}^3$) szelén: 75,1 $\mu\text{g/dm}^3$ (10 $\mu\text{g/dm}^3$)
PAET-34 (687,27- 690,30 m)	Ca- CO ₃ , Na-Cl	arzén: 5,92- 49,30 $\mu\text{g/dm}^3$ (10 $\mu\text{g/dm}^3$) bór: 7,29- 23386 $\mu\text{g/dm}^3$ (500 $\mu\text{g/dm}^3$) bárium: 512- 2316 $\mu\text{g/dm}^3$ (700 $\mu\text{g/dm}^3$) molibdén: 10- 118 $\mu\text{g/dm}^3$ (20 $\mu\text{g/dm}^3$) szelén: 4,37- 131,0 $\mu\text{g/dm}^3$ (10 $\mu\text{g/dm}^3$)
PAET-34 (947,99- 1108,3 m)	Na- Cl	arzén: 98,7 $\mu\text{g/dm}^3$ (10 $\mu\text{g/dm}^3$) bór: 32011 $\mu\text{g/dm}^3$ (500 $\mu\text{g/dm}^3$) bárium: 8592 $\mu\text{g/dm}^3$ (700 $\mu\text{g/dm}^3$) molibdén: 56,5 $\mu\text{g/dm}^3$ (20 $\mu\text{g/dm}^3$) szelén: 280 $\mu\text{g/dm}^3$ (10 $\mu\text{g/dm}^3$) ón: 15 $\mu\text{g/dm}^3$ (10 $\mu\text{g/dm}^3$) cink: 971 $\mu\text{g/dm}^3$ (200 $\mu\text{g/dm}^3$)
PAET 34 (1473,91- 1867,8 m)	Na- Cl	arzén: 1,02- 300,0 $\mu\text{g/dm}^3$ (10 $\mu\text{g/dm}^3$)

Mintavétel helye	Vízípus	6/2009 (IV.14.) KVVV-EÜM-FVM Rendeletben meghatározott „B” határértéket meghaladó nyomelemek
m)		bór: 178- 16233 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (500 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) bárium: 410- 52660 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (700 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) króm: 1,04- 124,0 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (50 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) molibdén: 0,39- 75,10 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (20 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) ólom: <0,1- 15,50 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (10 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) szelén: 2,85- 282,0 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (10 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$)
PAET- 35 (81,1- 90,0 m)	Na-Mg-Cl-HCO ₃	arzén: 35,30 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (10 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) szelén: 10,30 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (10 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$)

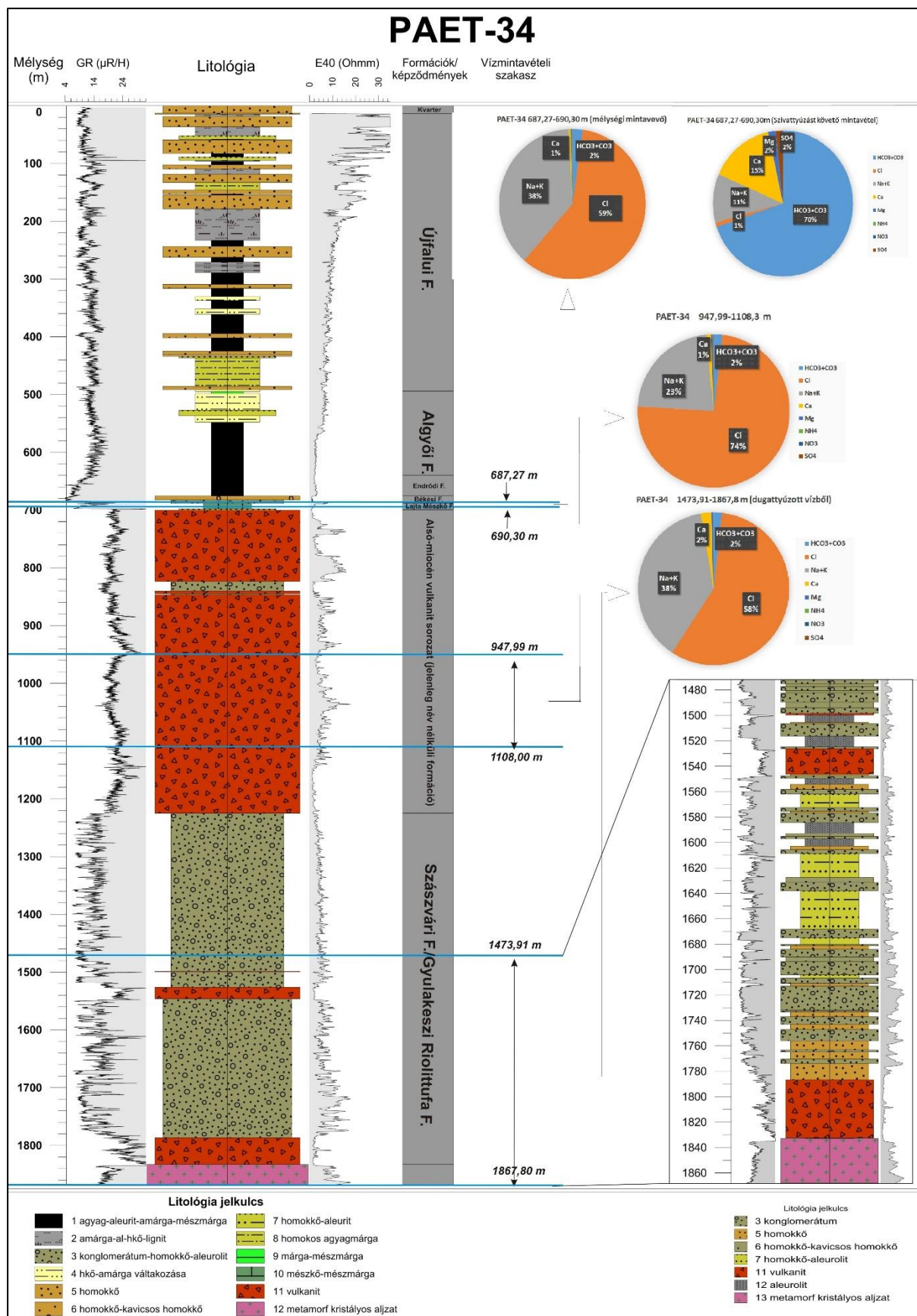
Összes oldott anyag tartalom tekintetében a PAET fúrások mintái igen nagy változatosságot mutattak (1055- 62175 mg/dm^3) a minták 70 %-nál az összes oldott anyag tartalom 10000 mg/dm^3 felett volt. A 6/2009 (IV.14.) KVVV-EÜM-FVM Rendelet szerinti „B” határértéket meghaladó nyomelemeket a fenti táblázat (164. táblázat)) tartalmazza. A hivatkozott rendeletben lévő határérték szerepeltetése csak a szemléltetés kedvéért történt, a nyomelemek nagyobb mennyisége nem felszín szennyeződésre, hanem földtani okokra vezethető vissza, mélységi vizekre jellemző vízminőséget mutat. Arzén és szelén tekintetében szinte minden minta jóval meghaladja a határértéket, de bór és bárium tekintetében is jelentős határérték túllépések jellemzőek. Egyes mintákban határérték feletti a molibdén, ólom, ón és a cink is.

A legtöbb mintavétel a PAET-34-es fúrásból készült, így jelen dokumentumban ennek a fúrásnak a rétegsorát, mintavételi szakaszait valamint az egyes jellemző vízminták főkomponenseit mutatjuk be (362. ábra). A további fúrások eredményeit mutató ilyen jellegű ábrákat a „Vízminőségi vizsgálatok kiértékelő jelentése” című dokumentum tartalmazza [114].

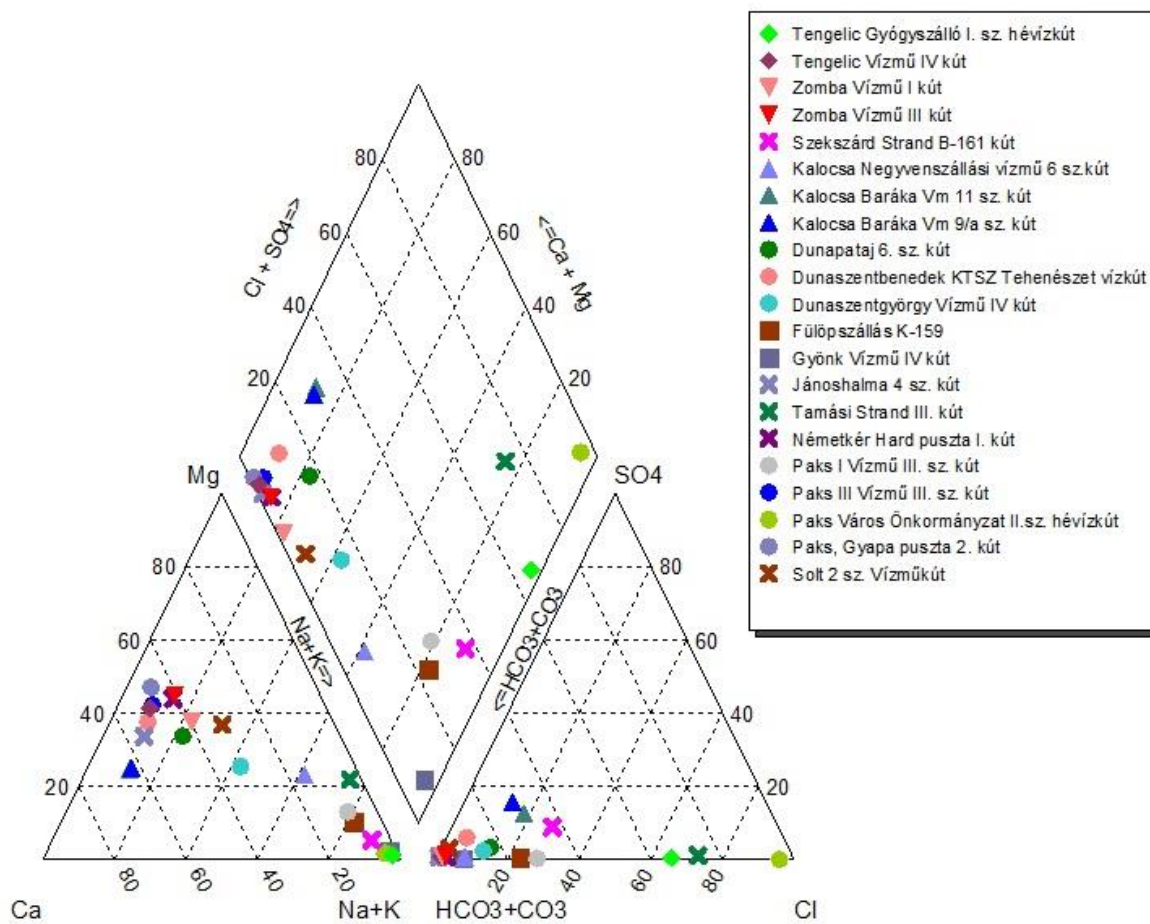


361. ábra PAET fúrásokból vett vízminták Piper- diagramja

A vizsgálati program keretében Paks mintegy 30 km-es környezetéből is történtek mintavételek, ahol törekedtünk arra, hogy mélységi, de különböző mélységközökre szűrözött kutak kerüljenek kiválasztásra. A vizsgálati program keretében kijelölt kutak részletes adatai a második fejezetben találhatóak. A különböző mélységű vízadókat, a különböző földtani képződményeket a laborvizsgálati eredmények is jól tükrözik, amelyeket a látható Piper diagram prezentál. A sekélyebb kutak víztípusa döntően Ca-Mg-HCO₃-os helyenként Na-Ca-Mg-HCO₃-os jellegű. Az általános vízkémiai komponensekre is vizsgált hévizek Na-Cl, valamint Na-Cl-HCO₃ jellegűek.

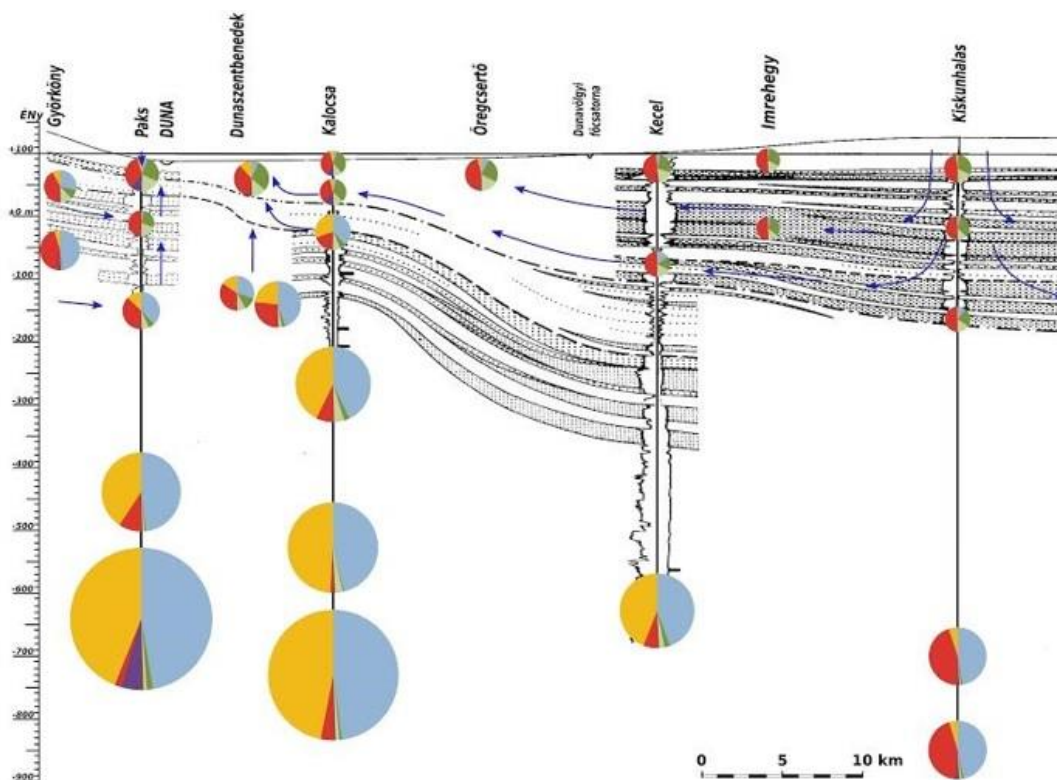


362. ábra PAET-34 vízintavételi szakaszok és víztípusok rétegsor: Wágenhoffer [372] nyomán módosította Said D .



363. ábra Paks mintegy 30 km-es körzetéből vett vízminták Piper diagramja

Az archív adatok, valamint az elvégzett vízvizsgálati eredmények alapján, Pakson és környezetében a termálvizek kémiai összetétele egyértelműen fosszilis tengervíz jelenlétét jelzi, amelyek különböző arányban keverednek a termálvizekhez. A termálvizek sótartalma a felszín felé haladva fokozatosan csökken, amelyet a Kiskunhalas-Kalocsa-Paks-Györköny szelvény mentén az alábbi ábra (364. ábra) mutat be. Az ábrán látható a tengervíz jellegű, nagy NaCl tartalmú termálvizek dominanciája Paks és Kecel között, 800 métertől egészen 300 m mélységig (800 méternél mélyebb átlag szűrőzésű kút nincs a területen).



Jelmagyarázat:



364. ábra A rétegvizek kémiai összetételének kördiagramja a Kiskunhalas-kalocsa-Paks-Győrköny szelvény mentén

A rétegvíz áramlások, valamint a 200 m mélységben lévő rétegvíz utánpótlódási viszonyai Paks tágabb környezetében a rendelkezésre álló, elsősorban a zavartalan állapotokat reprezentáló nyugalmi vízszint adatok alapján lettek megvizsgálva. A regionális rétegvíz-áramlási terület potenciális utánpótlódási területei a Tolnai-dombság és a Duna-Tisza Közi hátság, ahol a rétegvizek nyugalmi szintjei 100 mBf feletti. A két áramlási rendszer közös megcsapolója a Dunavölgyi-főcsatorna és a Duna közötti lefolyástalan terület, ahol 95 mBf-nél kisebb a nyugalmi vízszint a fő vízadóban. Ez egy pozitív nyomásállapotú terület, ahol a talajvízig csökken a nyugalmi vízszint. A Duna-Tisza-közi hátság területén leszivárgó vizek oldalirányban a Tisza és kis mértékben a Duna felé áramlanak, és itt feláramolva a folyókhoz, ill. a terület talajvizeihez keverednek. A felső-pannóniai termálvizek piezometrikus szintje magasabb az alsó-pleisztocén rétegvizekéénél, ezért kismértékű termálvíz feláramlás történik a területen, amelyet a vízkémiai eredmények is jól alátámasztanak.

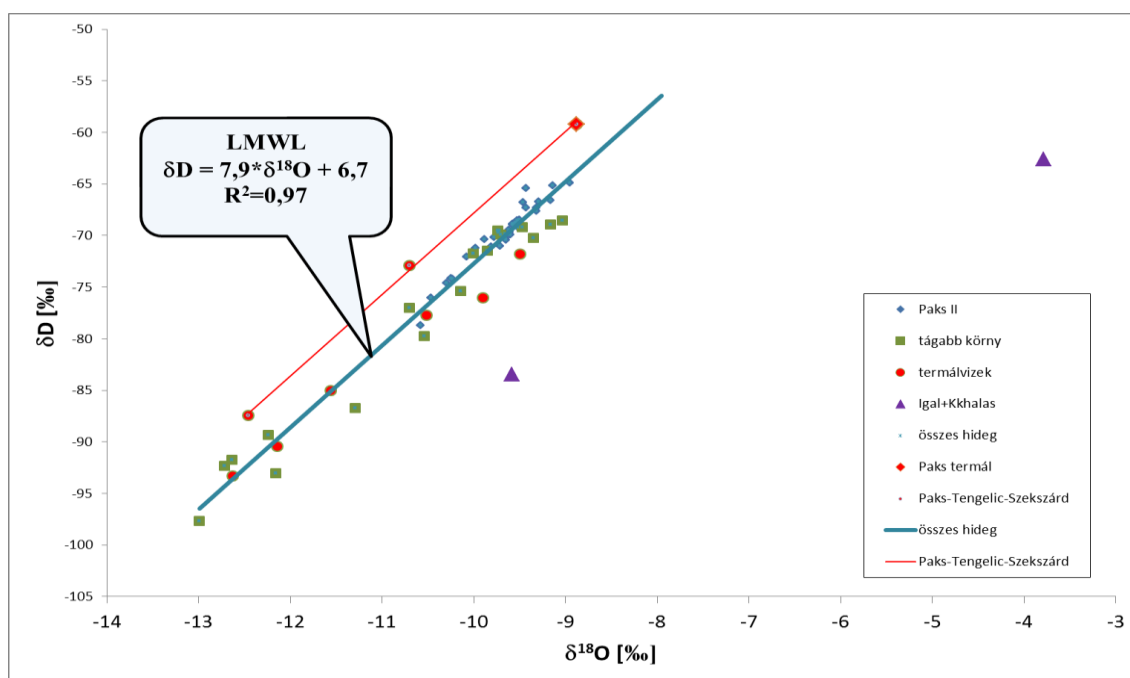
A Duna-Tisza közti hátság területén a vertikális hidraulikus szivárgási tényező, amit több száz méter vastag rétegekre érvényes átlagértékekkel kerültek kiszámításra a rendelkezésre álló vízkorok alapján, átlagosan $k_z = 6 \cdot 10^{-4}$ m/nap ($=7 \cdot 10^{-9}$ m/s). A ^{14}C vízkor adatokból számolt paramétereket a 165. táblázat mutatja be.

165. táblázat A Duna-Tisza közti homokhátság pleisztocén rétegösszletére számolt paraméterek

v_z	k_z		v_h	k_h		λ
[m/év]	[m/nap]	[m/s]	[m/év]	[m/nap]	[m/s]	
0,034	$6 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-9}$	2,5	4	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^3$

A vizsgálati területen valamennyi mintázott kút 40 méternél mélyebb szűrőzésű, így sehol sem volt várható a trícium jelenléte, még az intenzív beszivárgási területeken sem, amelyet a mért adatok igazoltak.

A stabil vízigotópok a $\delta^2\text{H}$ és $\delta^{18}\text{O}$ közötti kapcsolatot bemutató alábbi ábra (365. ábra) jól mutatja a különbséget a beruházási területen lévő, valamint annak környezetében lévő hidegvizes és termálvizes kutak között. Az összes hidegvizes kút jól illeszkedik ($R^2=0,97$) a helyi csapadék vízvonához (LMWL = Local Meteoric Water Line), amelynek egyenlete: $\delta^2\text{H} = 7,9 \cdot \delta^{18}\text{O} + 6,7$ nagyon közel áll a globális (GMWL) vízvonáéhoz, ami: $\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$, jelezve a hideg talaj- és rétegvizek csapadék-eredetét.



365. ábra A $\delta^2\text{H}$ és $\delta^{18}\text{O}$ adatok összefüggése

3.3.3 Telephelyi vízföldtani vizsgálatok eredményeinek összefoglalása

A tervezett telephelyen belül és annak közvetlen környezetében, a Földtani Kutatási Program (FKP) keretében összesen 5 darab, K-Ny irányú feltárási szelvény került meghatározásra, amelyeket római számokkal I - V. jelöltek. Szelvényenként 8 darab feltárási pozíció került kialakításra, kivéve az V. szelvényt, ahol megközelíthetőségi és egyéb okok (közművek, burkolt felületek) miatt a feltárási pozíciók számát 7-re kellett csökkenteni [37]. Adott szelvényen belül elfoglalt pozíciótól függően kút, kútpár, kút hármás, vagy kút négyes

került kialakításra. Így összesen 81 db fúrás készült el 15, 25, 50 és 130 m-es talpmélységekkel. Kútcsoport esetén mindig a legmélyebb fúrás mélyült maggal, míg a többi teljes szelvényvel. Ezen geotechnikai célú fúrásokat a mélyítés után monitoring kúttá alakították ki. Ezen magfúrásokban geofizikai szelvényezés is történt. A geofizikai szelvényekből szivárgási tényezőket is származtatott a Geo-Log Kft. [92].

Az elvégzett geofizikai vizsgálatokon kívül 36 negyedidőszaki és 22 db Pannóniai rétegekből vett zavartalan mintán állandó és változó víznyomású vízáteresztő-képesség meghatározás történt, míg a zavart minták egy részén szemeloszlás vizsgálatot (1506 db) végeztek szitalással, vagy hidrometrálással [37]. A szemeloszlás ismeretében számítható a képződmény szivárgási tényezője. Ezen laboratóriumi vizsgálatokat a BMGE Mérnökgeológiai és Geotechnikai Tanszéke végezte.

A program keretében kialakított 81 db megfigyelő kútban, a kútkialakítást követően hidrodinamikai vizsgálatot is végzett a Mecsekérc Zrt. [32]. A 3 lépcsős próbaszivattyúzás és az azt követő visszatöltődés során mérték a talajvízszint ill. hidraulikus potenciál időbeli változását, majd ezt analitikus módszerekkel kiértékelve meghatározták a réteg transzmisszivitását ill. szivárgási tényezőjét (vízvezető képességét).

Később 10 helyszínen egymásrahatás-vizsgálatot [102] és 6 helyszínen nyomjelzéses vizsgálatot végzett a Golder [103].

A megfigyelő kút hálózatot a kutak kialakítását követően 2016. januárjától a program végéig a Mecsekérc Zrt. üzemelteti, vízszintregisztrálókkal és negyedévenként történő vízmintavételekkel, laboratóriumi vizsgálatokkal. A tervezett telephelyre vonatkozó, a fentebb felsorolt vizsgálatokon alapuló vízföldtani eredményeket foglaljuk össze ebben a fejezetben.

3.3.3.1 Kisminta vizsgálatok

1474 db zavart minta szemeloszlási vizsgálata alapján 5 féle módszerrel végeztük el a szivárgási tényező számítását. A számítás alapja a következő egyenlet volt [371]:

$$K = \frac{\rho g}{\mu} N \varphi(n) d_e^2$$

Az egyenletben szereplő paramétereket 5 különböző módszerrel határozták meg:

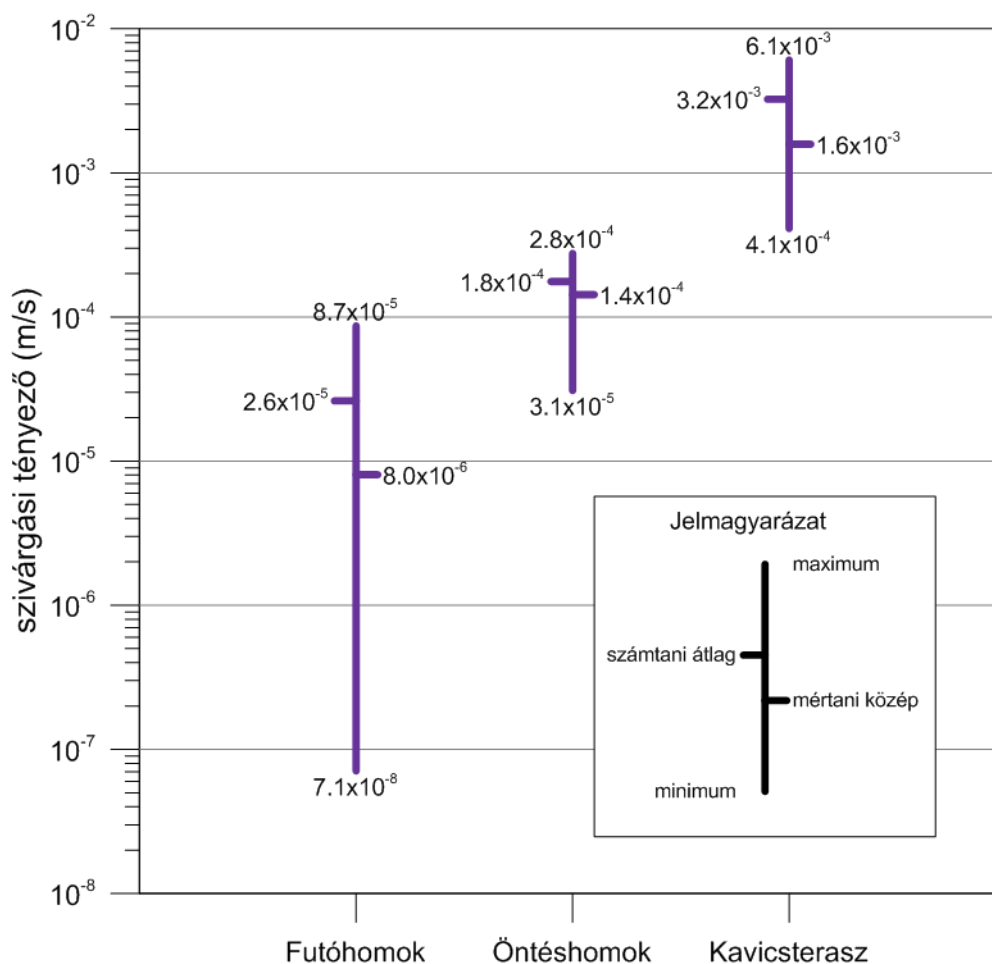
- Hazen [134],
- Schlichter [307],
- Terzaghi [331],
- Beyer [36] és
- Sauerbrei [292].

A vízáteresztő-képességi vizsgálatok állandó és változó víznyomású készülék segítségével készültek. A negyedidőszaki zavart rétegekből megbízható zavartalan minták hiányában rekonstruált mintákat lehetett vizsgálni, a pannóniai rétegek esetén zavartalan talajmintákon készültek el a kísérletek.

A negyedidőszaki talajmintákon végzett 36 kísérletből 15 esetben a természetes állapothoz hasonló tömörségű talajminta került vizsgálatra, a maradék 21 vizsgálat pedig a rétegekre jellemző 7 talajtípus különböző tömörségű (laza, természetes, tömör) beépítése

mellett készült. A pannóniai rétegek áteresztőképességeinek meghatározásához összesen 22 db zavartalan talajminta került vizsgálatra.

A negyedidőszaki mintákon, laboratóriumi körülmények közt mért szivárgási tényezőket, illetve ezen mérések statisztikai jellemzőit az 366. ábra mutatja be, míg a Felső-pannóniai rétegekből származó minták értékeit a 166. táblázat foglalja össze.



366. ábra A negyedidőszaki üledékek laboratóriumi mérésekkel meghatározott jellemző szivárgási tényező értékei

166. táblázat A felső-pannóniai rétegek laboratóriumi mérésekből meghatározott értékei

Réteg	Kőzettípus	Elemszám	Szivárgási tényező (m/s)			
			Minimum	Maximum	Számtani átlag	Mértani közép
G	finomhomok, iszapos homok	2	5,8E-10	2,4E-06	8,0E-07	3,2E-08
H	homokos iszap, agyag, iszap	12	1,9E-09	3,9E-07	1,3E-07	3,9E-08
I	homok, finomhomok	1			1,1E-10	
M	homok (agyag betelepülésekkel)	2	3,5E-07	2,1E-06	1,2E-06	8,6E-07
N	agyag (homok/iszap betelepülésekkel)	1			4,3E-06	

3.3.3.2 Egykutas hidrogeológiai vizsgálatok

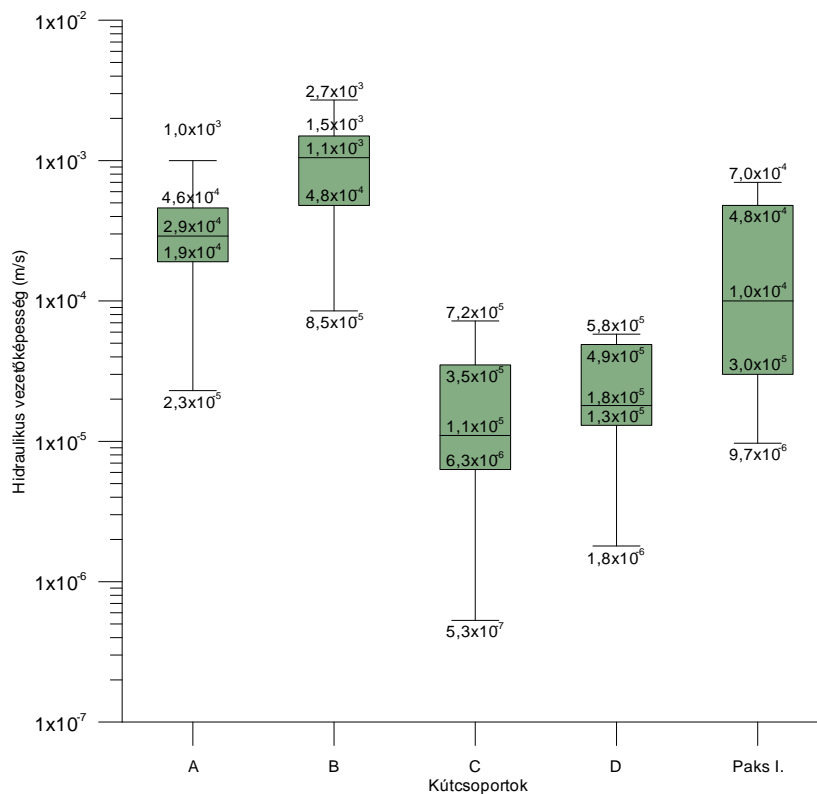
A MECSEKÉRC Zrt. telephelyi vízföldtani vizsgálati program keretében ún. egykutas szivattyúteszteket végezett 81 db újonnan létesített, valamint 15 db meglévő monitoring kútban. A tesztek kiértékelése alapján a legjobb vízadó réteg a ~ 20-25 m mélységbe, túlnyomórészt kavicsra szűrőzött kutak esetén található („B”). Az ennél sekélyebb „A” jelű kutak nagyjából egy nagyságrenddel gyengébb transzmisszivitással és hidraulikus vezetőképességgel rendelkeznek. Leggyengébb vízadóra – helyenként pannóniai agyag – az 50 m-es kutak („C”) vannak szűrőzve, míg a „D” jelű, 100 m-es kutak kissé jobb hidraulikus vezetőképesség értékekkel jellemezhetőek. A vizsgálatba bevont Paks I.-es monitoring kutak az „A” és kissé a „B” jelű talajvizes kutakhoz hasonló transzmisszivitást és hidraulikus vezetőképességet produkáltak.

A szivattyúteszteket a 2. fejezetben ismertetett módszerek alapján végeztük el.

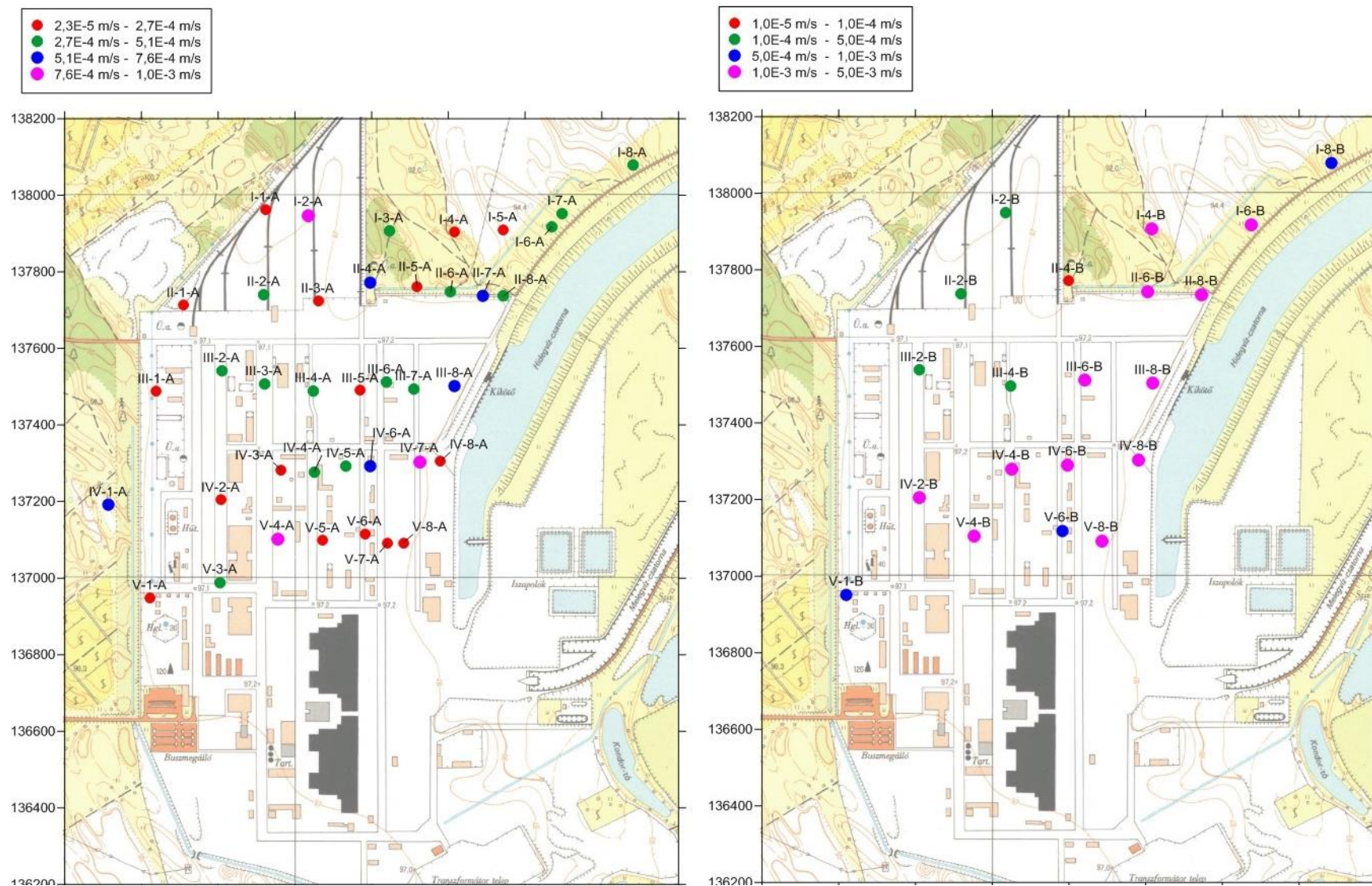
Az egyes tesztek alapján kiszámolt hidraulikus vezetőképesség (K) értékeket, és azok rétegek szerinti eloszlását az alábbi Box-Whisker diagramon (367. ábra), valamint a 368. ábra és 369. ábra mutatjuk be.

Látható, hogy a „B” jelű kutakkal megnyitott kavicssterasz vezetőképessége a legjobb, a medián értéke $7,9 \times 10^{-4}$ m/s. Az „A” jelű kutakkal beszűrőzött finom- ill. durvahomok-réteg vezetőképessége az előbbinél némileg kisebb, mediánja $5,7 \times 10^{-4}$ m/s.

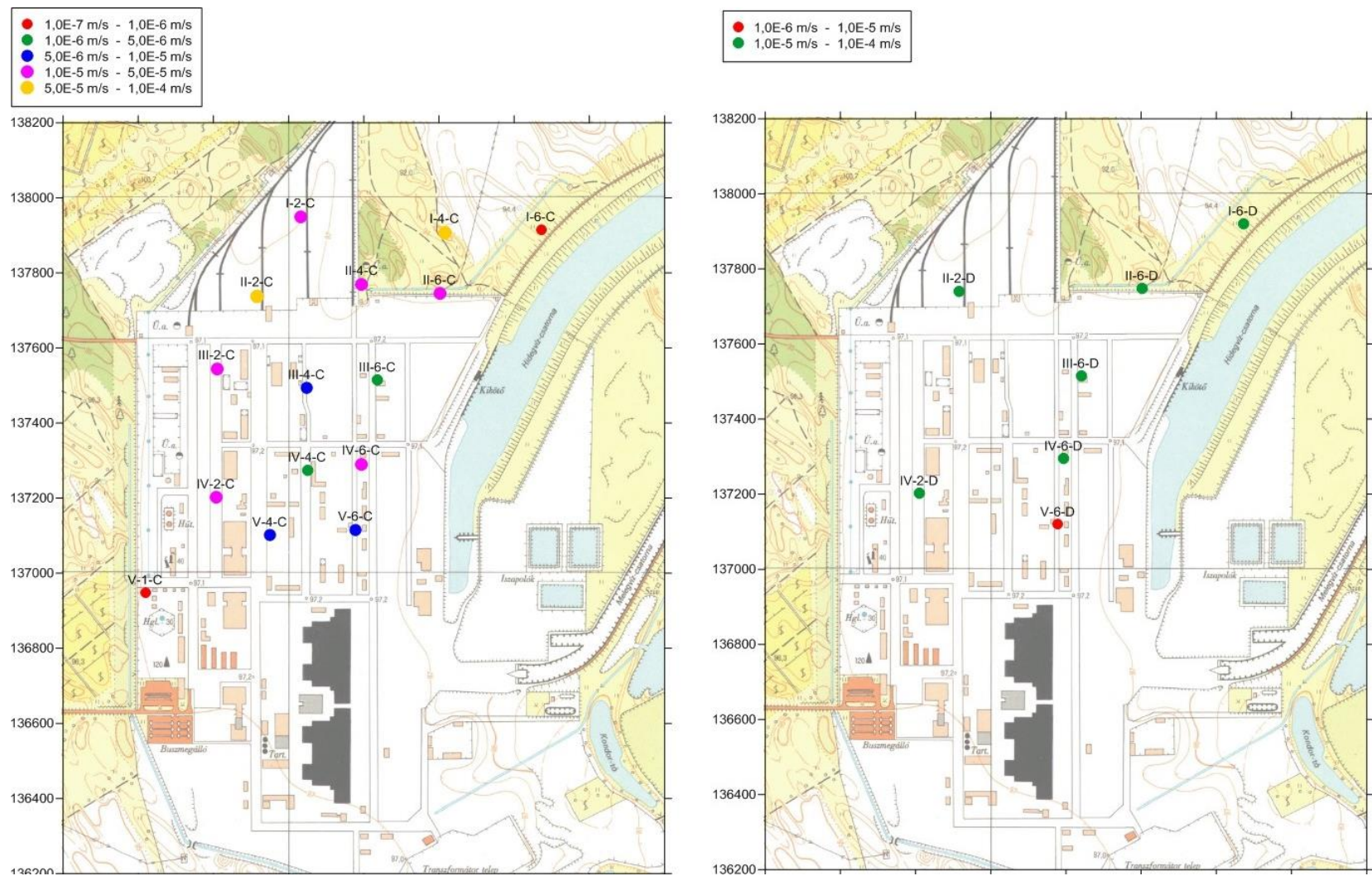
A felső- pannóniai képződmények vezetőképessége kb. egy nagyságrenddel kisebb a kvarter üledékekenél, a „C” kutakban mért értékek mediánja kb. $8,7 \times 10^{-5}$ m/s, a „D” kutakban mért értékek mediánja kb. $2,2 \times 10^{-4}$ m/s, szórása kisebb a „C” kutakban mért értékek szórásánál.



367. ábra A különböző mélységekre szűrőzött kutak hidraulikus vezetőképesség eloszlása (m/s)



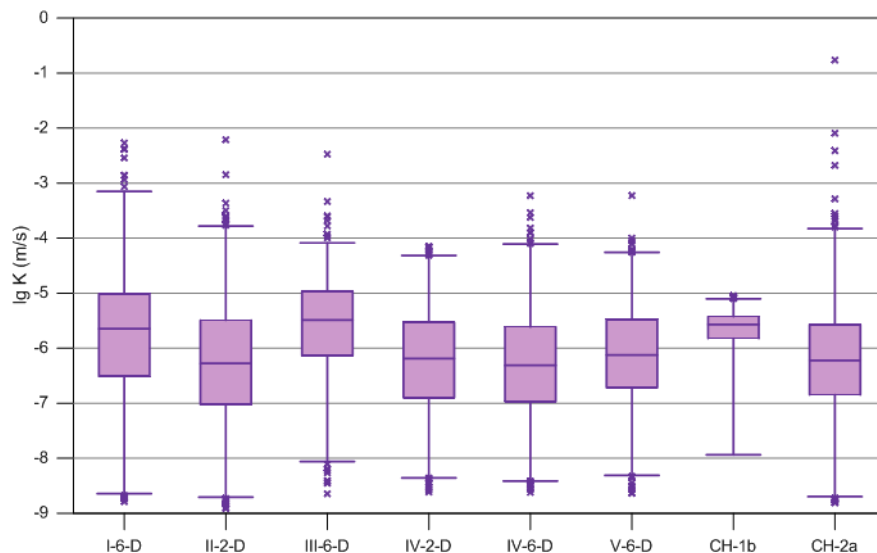
368. ábra Az „A” és „B” jelű kutak hidraulikus vezetőképesség eloszlástérképe



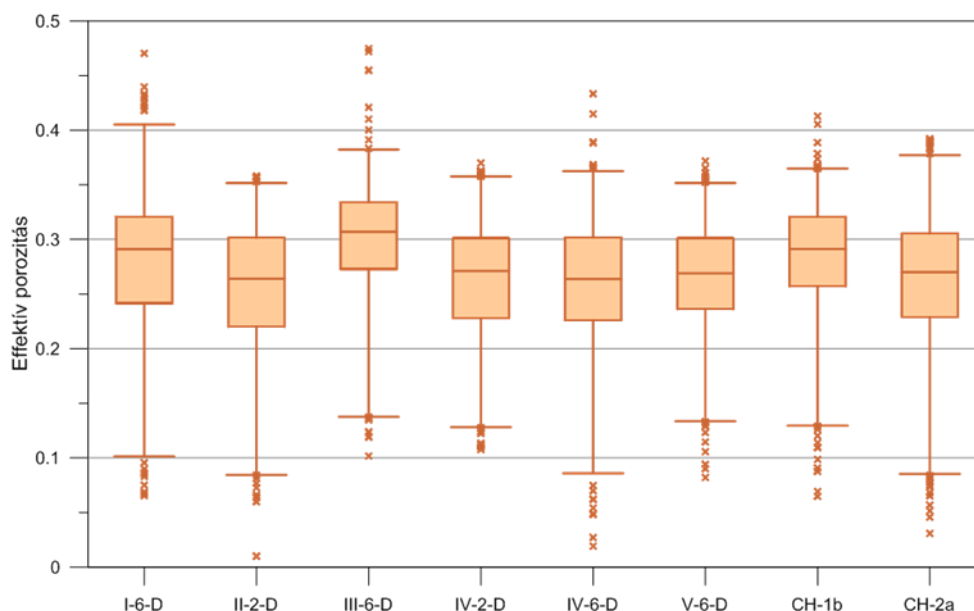
369. ábra A „C” és „D” jelű kutak hidraulikus vezetőképesség eloszlástérképe

3.3.3.3 Geofizikai karotázsmérések

A geofizikai szelvényezés során mért fizikai mennyiségekből származtatták a módosított Timur-formula segítségével [92]. A telephelyi fúrásokban mért geofizikai adatok alapján meghatározott szivárgási tényezők statisztikai jellemzőit mutatja be az 370. ábra dobozdiagram formájában. Az ábra tanúsága szerint a felső-pannóniai üledékek szivárgási tényezői jellemzően az $1E-07$ – $1E-05$ m/s intervallumba esnek (ebbe a tartományba esik az adatok kb. 50%-a), az adatok kb. 98%-a esik az 1×10^{-08} – 3×10^{-05} m/s tartományba.



370. ábra A geofizikai szelvények alapján meghatározott szivárgási tényezők statisztikai jellemzői a telephelyi fúrásokban



371. ábra Geofizikai szelvényekből számított porozitáseloszlások dobozdiagramja.

Az adatok az 1×10^{-09} – 1×10^{-02} m/s tartományba esnek. A szivárgási tényezők leggyakoribb értéke (módusza) 3×10^{-6} m/s körül van, de 1×10^{-8} m/s körül egy mellékmódusz is előtűnik. Az előbbi érték valószínűleg a homokosabb, utóbbi az agyagosabb rétegekre jellemző érték.

A geofizikai szelvényezés a harántolt rétegek porozítására is szolgáltatott értékeket. Ezeket a számított effektív porozításokat (S_y) az előbbi ábra mutatja (371. ábra).

3.3.3.4 Egymásrahatás-vizsgálatok

Mint azt a 2.5.5 pontban bemutattuk, 2016.02.06 és 2016.05.09 között 8 kútcsoportban 10 jeladó kútból egymásrahatás-vizsgálatot végzett a Golder, a telephelyen belüli fúrásokban. Az alábbi táblázat az adott teszthez tartozó jeladó és figyelő kutakat foglalja össze.

167. táblázat Egymásra-hatás vizsgálatba bevont kutak listája

Teszt	Jeladó	Figyelő-1	Figyelő-2	Figyelő-3	Figyelő-4	Figyelő-5	Figyelő-6	Figyelő-7	Figyelő-8	Figyelő-9	Figyelő-10
1	II-6-B	II-6-A	II-5-A	II-7-A	II-4-B	II-8-B	III-8-B	I-4-B			
2	IV-6-D	III-6-D	V-6-D	IV-2-D	IV-6-C						
3	III-6-B	III-6-A	III-5-A	III-7-A	III-4-B	III-8-B	IV-6-B	II-4-B			
4	V-6-B	V-6-A	V-5-A	V-7-A	V-8-B	V-8-A	V-4-B	V-4-A	IV-6-B	IV-6-A	
5	III-2-B	III-2-A	III-1-A	III-3-A	II-2-B	II-1-A	II-2-A	III-4-B			
6	IV-4-C	III-2-C	III-4-C	III-6-C	IV-2-C	IV-6-C	V-4-C	V-6-C			
7	IV-4-B	IV-4-A	IV-3-A	IV-5-A	III-4-B	III-4-A	V-5-A	V-6-B	V-6-A	V-4-B	V-4-A
8	I-2-B	I-2-A	I-1-A	I-3-A	II-2-B	I-4-B	II-3-A	II-4-B	II-4-A		
9	I-6-B	I-6-A	I-5-A	I-7-A	I-4-B	I-4-A	II-8-B				
10	II-6-C	II-6-D	II-6-B	I-4-C	I-6-C	II-4-C	III-4-C	III-6-C	I-2-C	II-2-C	

Ezen egymásrahatás-vizsgálatokat, a kút és a felszín alatti víz jellege, valamint az alkalmazott tárolómodell alapján más és más megoldással értékeltük ki [67][329][231]. Ennek az értékelésnek az összefoglalását 168. táblázat mutatja be.

Az egymásrahatás-vizsgálatok nem csak az „átvilágított” térrész transzmisszivitására, vagy szivárgási tényezőjére, hanem a tározási tényezőre (S) is szolgáltatott adatot. A tározási tényező az egységnyi térfogatú, nyomás alatt lévő víztartó rétegből egységnyi potenciálszint csökkentésre felszabaduló vízmennyiséget jelent. Értéke jellemzően 1×10^{-3} és 1×10^{-5} között változik (V/V). Az egymásrahatás-vizsgálatok során nyert tározási értékeket is az alábbi táblázat mutatja (368. ábra).

168. táblázat Az egymásrahatás-vizsgálatok kiértékelése

Teszt sorszama	Jeladó kút	Figyelő kút	Tárolómodell	Megoldás	Paraméter	Mértékegység	Becsült v.adott	Érték	Std.hiba	Felhasználás	Megjegyzés
1	II-6-B										nem értékelhető ki a dunai árhullám zavaró hatása miatt
2	IV-6-D	V-6-D	feszített	Dougherty-Babu	T	m2/s	igen	3.09E-04	2.96E-06	javasolt érték	
					S		igen	3.45E-03	2.34E-04	javasolt érték	
					Kz/Kr		nem	1		nem becsült érték	
					Sw		igen	0.1437	0.06574	tájékoztató érték	
					r(w)	m	nem	0.1		nem becsült érték	
r(c)	m	nem	0.055		nem becsült érték						
3	III-6-B	III-6-A	nyílt tükrű	Tartakovsky-Neuman	T	m2/s	igen	1.20E-02	1.53E-03	javasolt érték	
					S		igen	8.65E-03	5.19E-03	tájékoztató érték	
					Sy		igen	0.4	0.4604	nem megbízható	
					Kz/Kr		igen	1	1.018	nem megbízható	
					kD		igen	4.259	4.422	nincs fizikai tartalma	
4	V-6-B	V-6-A	nyílt tükrű	Moench	T	m2/s	igen	6.54E-03	6.44E-04	javasolt érték	
					S		igen	1.13E-02	8.40E-03	tájékoztató érték	
					Sy		igen	0.5	0.5206	nem megbízható	
					Kz/Kr		igen	0.3687	0.3107	tájékoztató érték	
					Sw		nem	0		nem becsült érték	
					r(w)	m	nem	0.1		nem becsült érték	
					r(c)	m	nem	0.055		nem becsült érték	
alpha	1/min	igen	2.01E-03	3.38E-04	nincs fizikai tartalma						
5	III-2-B	III-2-A, II-1-A	nyílt tükrű	Moench	T	m2/s	igen	2.00E-03	3.07E-05	javasolt érték	
					S		igen	4.10E-04	9.12E-05	tájékoztató érték	
					Sy		igen	0.1332	0.0346	tájékoztató érték	
					Kz/Kr		igen	4.17E-03	7.37E-04	tájékoztató érték	

Teszt sorszama	Jeladó kút	Figyelő kút	Tárolómodell	Megoldás	Paraméter	Mértékegység	Becsült v.adott	Érték	Std.hiba	Felhasználás	Megjegyzés
					Sw		nem	0		nem becsült érték	
					r(w)	m	nem	0.1		nem becsült érték	
					r(c)	m	nem	0.055		nem becsült érték	
					alpha	1/min	igen	4.67E+07	3.44E-02	nincs fizikai tartalma	
6	IV-4-C	IV-4-C	feszített	Dougherty-Babu	T	m ² /s	igen	1.49E-04	2.39E-05	javasolt érték	egykutas tesztként értelmezve
					S		igen	1.20E-03	7.21E+00	nem megbízható	
					Kz/Kr		nem	1		nem becsült érték	
					Sw		igen	36.32	2973.3	nem megbízható	
					r(w)	m	nem	0.1		nem becsült érték	
r(c)	m	nem	0.055		nem becsült érték						
7	IV-4-B	IV-4-A	nyílt tükrű	Neuman	T	m ² /s	igen	1.32E-02	3.40E-04	javasolt érték	
					S		igen	7.29E-03	1.81E-03	tájékoztató érték	
					Sy		igen	0.5	0.07675	tájékoztató érték	
					Kz/Kr		igen	0.1771	0.02143	javasolt érték	
8	I-2-B	I-2-A	nyílt tükrű	Tartakovsky-Neuman	T	m ² /s	igen	5.65E-03	4.41E-04	javasolt érték	
					S		igen	3.09E-04	2.88E-04	tájékoztató érték	
					Sy		igen	0.01	0.01362	nem megbízható	
					Kz/Kr		igen	0.002266	0.00234	nem megbízható	
					kD		igen	1.547	0.2994	nincs fizikai tartalma	
9	I-6-B	I-6-A, I-7-A	nyílt tükrű	Moench	T	m ² /s	igen	2.30E-02	3.91E-04	javasolt érték	
					S		igen	1.95E-02	1.90E-03	javasolt érték	
					Sy		igen	0.0100	2.46E+05	nem megbízható	
					Kz/Kr		igen	1.06E-01	1.07E-02	javasolt érték	
					Sw		nem	0		nem becsült érték	
					r(w)	m	nem	0.1		nem becsült érték	
					r(c)	m	nem	0.055		nem becsült érték	
					alpha	1/min	igen	4.67E+07	3.44E-02	nincs fizikai tartalma	

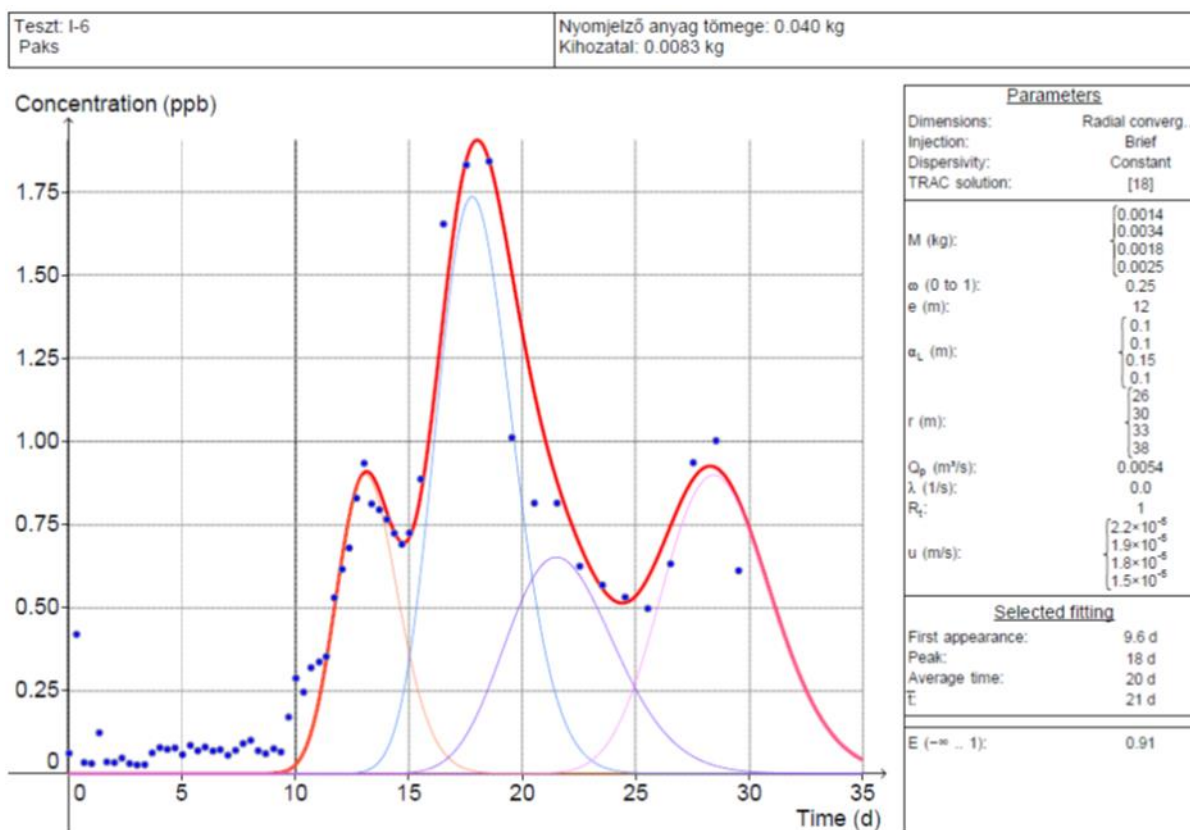
Teszt sorszama	Jeladó kút	Figyelő kút	Tárolómodell	Megoldás	Paraméter	Mértékegység	Becsült v.adott	Érték	Std.hiba	Felhasználás	Megjegyzés
10	II-6-C	I-4-C	feszített	Dougherty-Babu	T	m ² /s	igen	6.85E-04	2.25E-05	javasolt érték	a T és Sw korrelált értékek, Sw csak tájékoztató
					S		igen	3.73E-04	2.35E-05	javasolt érték	
					Kz/Kr		nem	1		nem becsült érték	
					Sw		igen	18.12	0.8179	tájékoztató érték	
					r(w)	m	nem	0.1		nem becsült érték	
					r(c)	m	nem	0.055		nem becsült érték	
	II-6-C	III-4-C	feszített	Dougherty-Babu	T	m ² /s	igen	7.14E-04	4.38E-05	javasolt érték	a T és Sw korrelált értékek, Sw csak tájékoztató
					S		igen	4.19E-04	9.50E-05	tájékoztató érték	
					Kz/Kr		nem	1		nem becsült érték	
					Sw		igen	19.29	1.638	tájékoztató érték	
					r(w)	m	nem	0.1		nem becsült érték	
					r(c)	m	nem	0.055		nem becsült érték	
	II-6-C	II-2-C	feszített	Dougherty-Babu	T	m ² /s	igen	7.15E-04	4.38E-05	javasolt érték	a T és Sw korrelált értékek, Sw csak tájékoztató
					S		igen	2.87E-04	6.00E-05	tájékoztató érték	
					Kz/Kr		nem	1		nem becsült érték	
					Sw		igen	19.11	1.636	tájékoztató érték	
					r(w)	m	nem	0.1		nem becsült érték	
					r(c)	m	nem	0.055		nem becsült érték	
	II-6-C	I-2-C	feszített	Dougherty-Babu	T	m ² /s	igen	7.15E-04	4.35E-05	javasolt érték	a T és Sw korrelált értékek, Sw csak tájékoztató
					S		igen	3.15E-04	5.87E-05	javasolt érték	
					Kz/Kr		nem	1		nem becsült érték	
					Sw		igen	19.17	1.622	tájékoztató érték	
					r(w)	m	nem	0.1		nem becsült érték	
					r(c)	m	nem	0.055		nem becsült érték	

a táblázatban szereplő jelölések: T – transzmisszivitás (m²/s), S – tározási tényező (-), Sy – gravitációsan leüríthető pórustérfogat (-), Kz/Kr – szivárgási tényező anizotrópiája (-), Sw – kút szkinhatás, r(w) – fúrás sugara (m), r(c) – csövezés sugara (m),

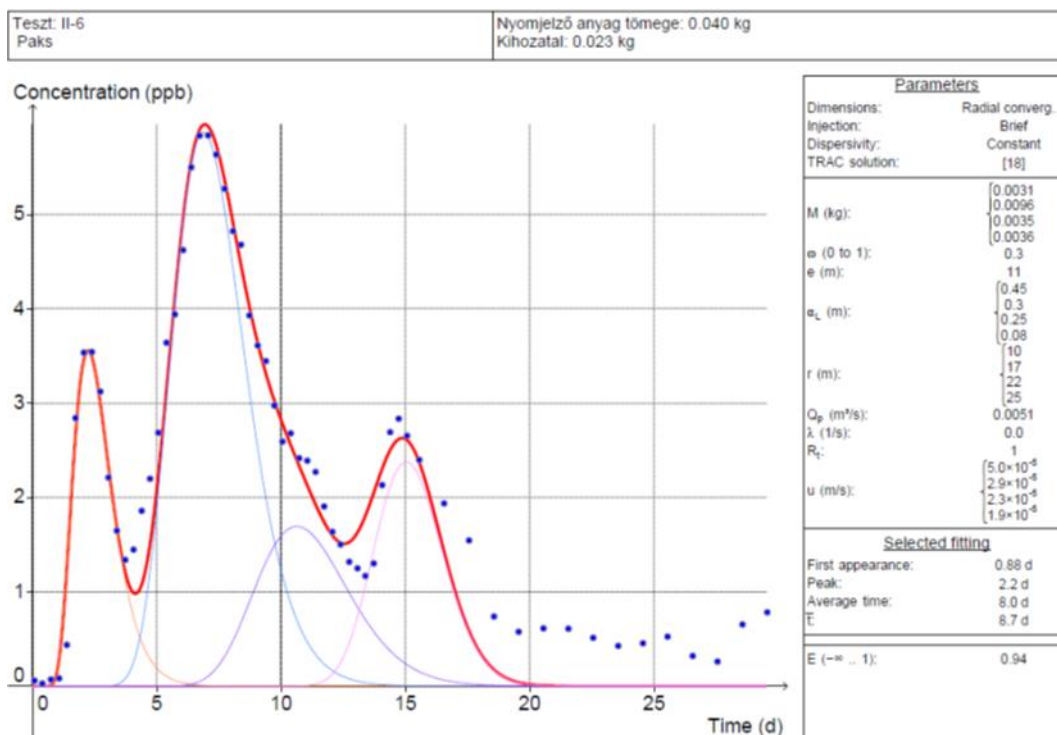
3.3.3.5 Nyomjelzéses vizsgálatok

Mint azt a 2.5.6 pontban bemutattuk, 2016.05.31. és 2016.08.15. között 6 kútcsoportban nyomjelzéses vizsgálatot végzett a Golder, a telephelyen belüli fúrásokban. Ez a pont a nyomjelzéses vizsgálatok eredményeit foglalja össze.

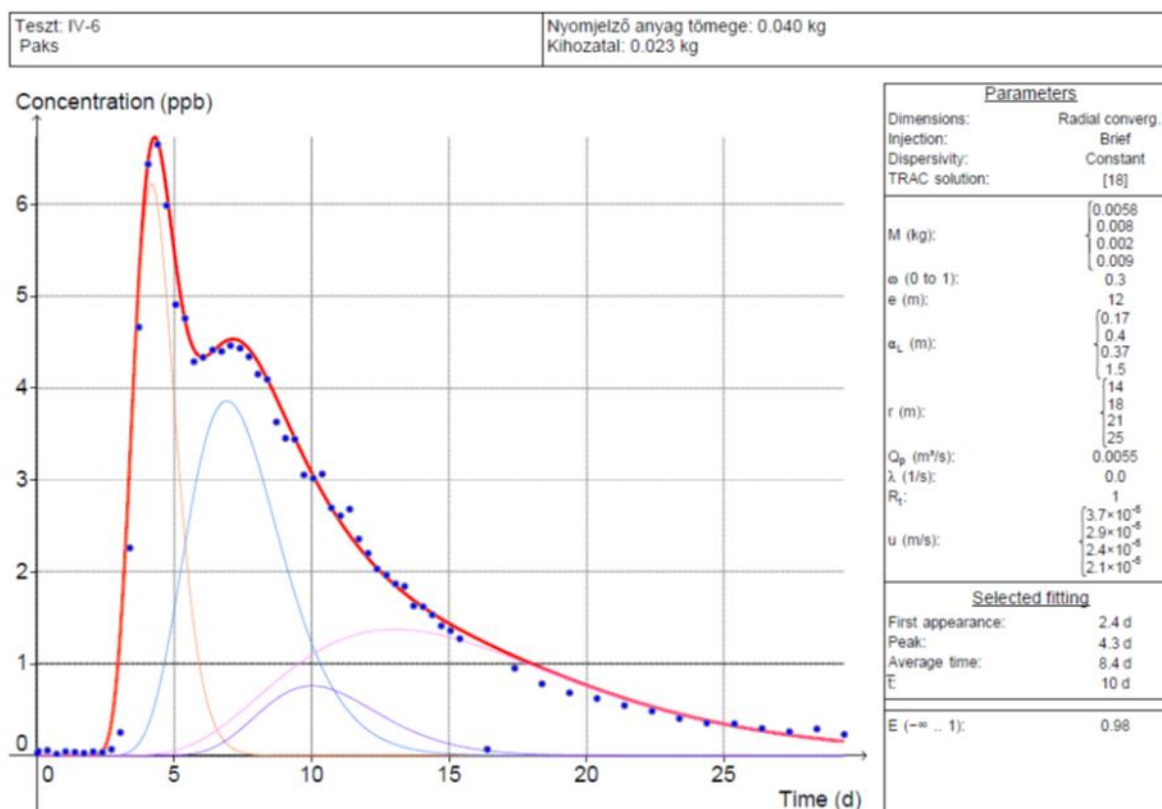
A nyomjelzéses terepi tesztek kiértékelését TRAC v1.4.4 szoftver segítségével végezte el a Golder Zrt, amelynek eredményeit az 372. ábrától a 377. ábraig tartó sorozat mutatja be.



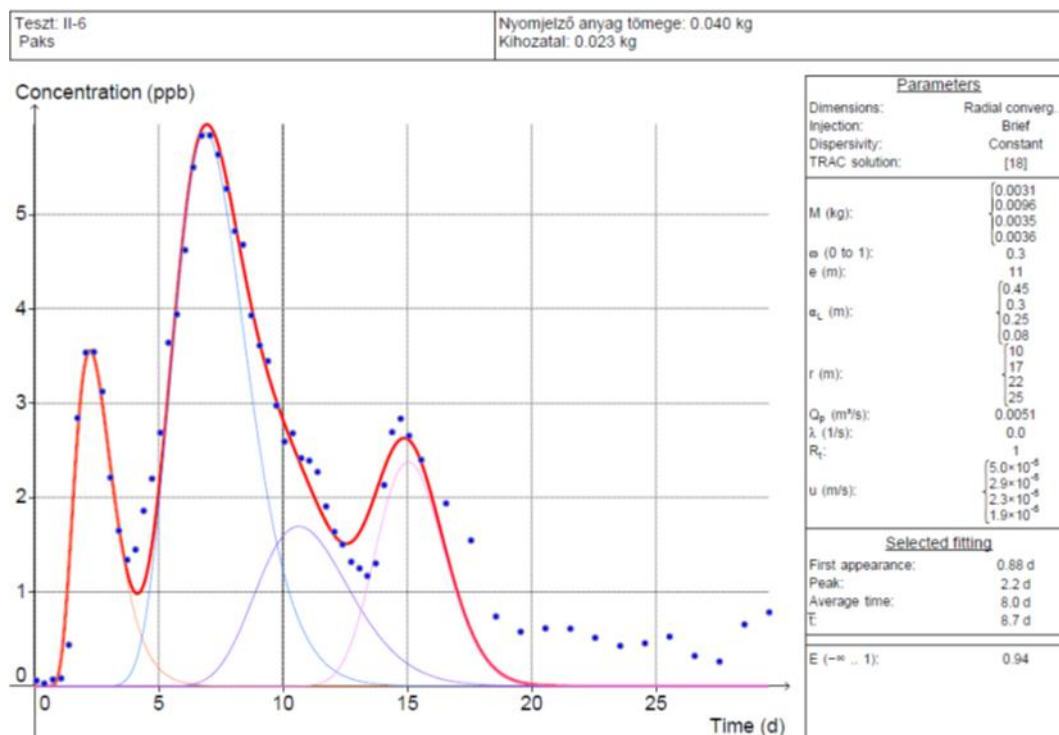
372. ábra Az I-6 kútcsoportnál végzett nyomjelzéses vizsgálat kiértékelése



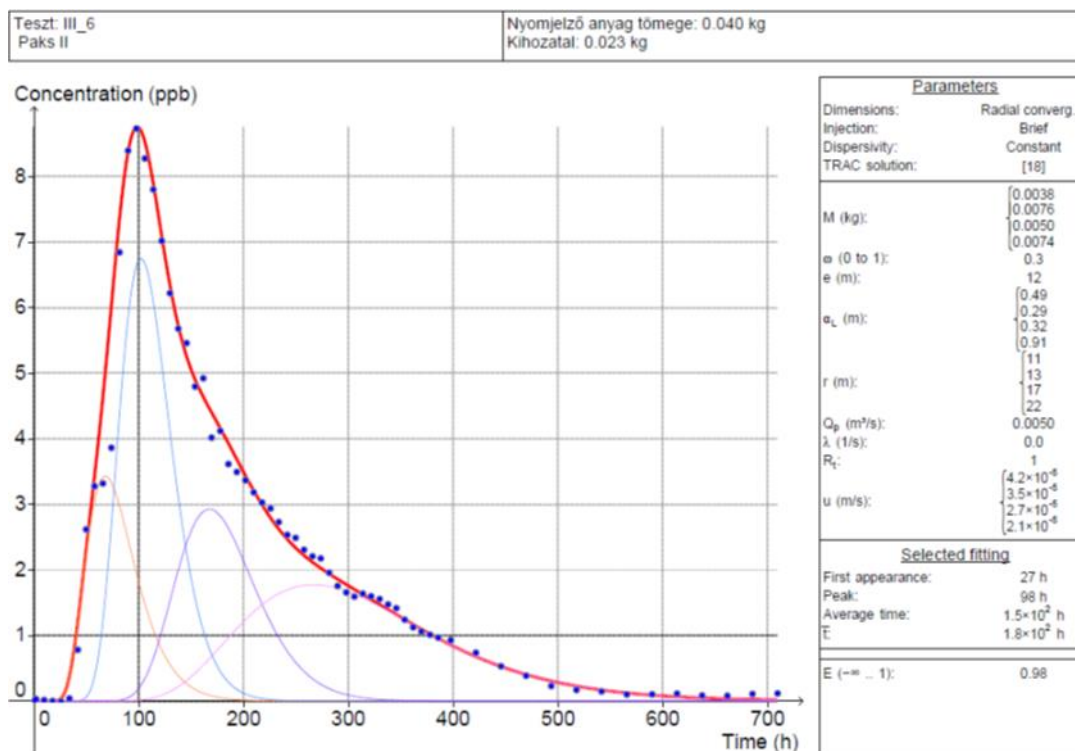
373. ábra Az I-2 kútcsoportnál végzett nyomjelzéses vizsgálat kiértékelése



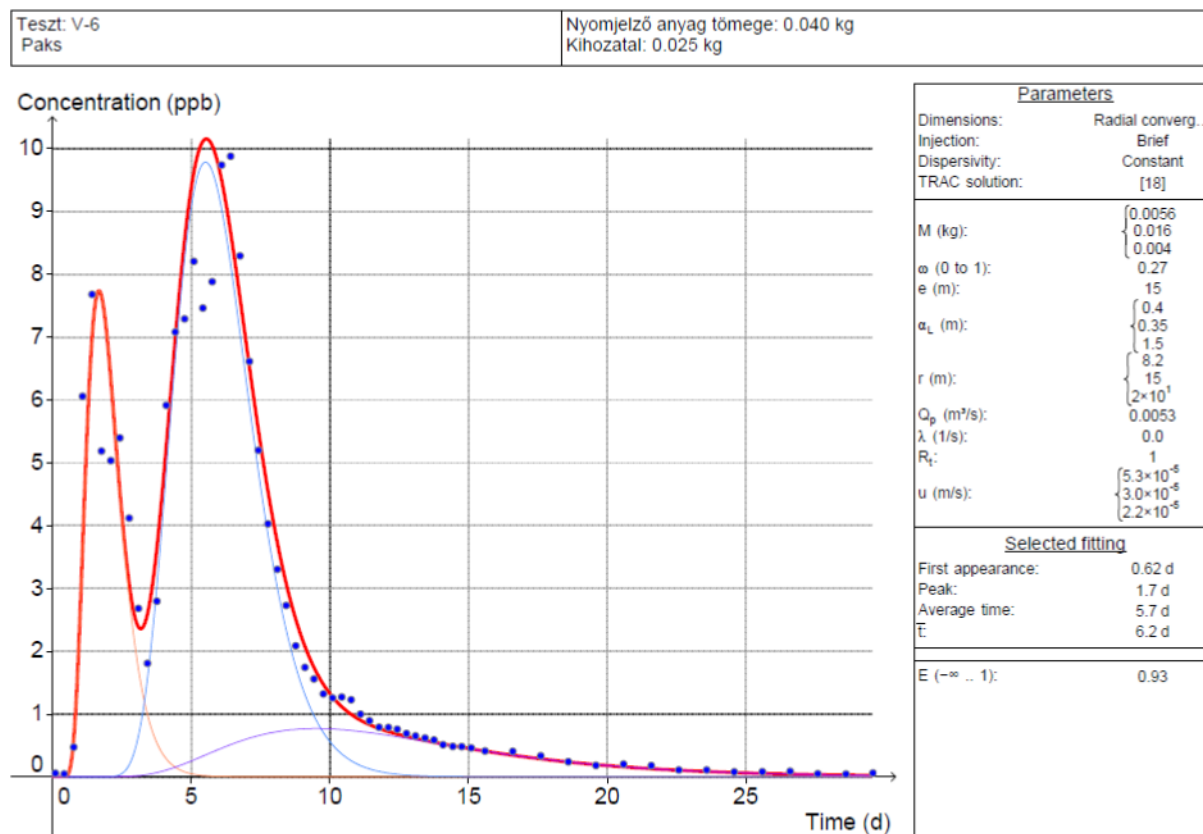
374. ábra Az IV-6 kútcsoportnál végzett nyomjelzéses vizsgálat kiértékelése



375. ábra Az II-6 kútcsoportnál végzett nyomjelzéses vizsgálat kiértékelése



376. ábra A III-6 kútcsoportnál végzett nyomjelzéses vizsgálat kiértékelése



377. ábra V-6 kútcsoportnál végzett nyomjelzéses vizsgálat kiértékelése

Ezek a nyomjelzéses vizsgálatok lehetőséget adtak a diszperzitás és porozitás értékeinek meghatározására. Meg kell azonban említeni, hogy az tesztek 1 hónapos ideje alatt a Duna vízszintingadozása nagyban befolyásolta a nyomjelző anyag injektáló kúttól a termelőkútig történő migrációját. (Viszont ennyi idő minimálisan szükséges egy 10 m-es nagyságrendű távolságot lefedő nyomjelzéses vizsgálat elvégzéséhez.) A Duna hatás ezért bizonytalaná teszi a kiértékelést is.

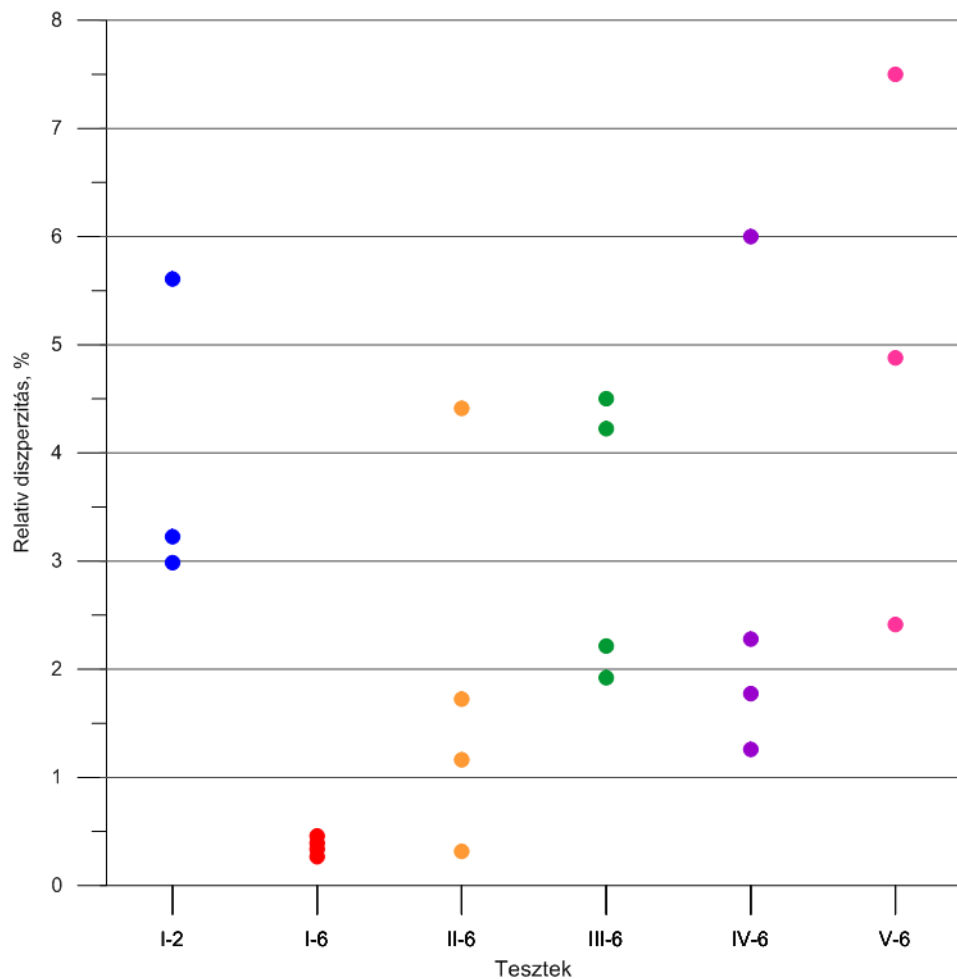
A terepi nyomjelzéses vizsgálatok kiértékelése során meghatározott longitudinális diszperzitás értékek statisztikai jellemzőit a 169. táblázat foglalja össze. Az egyszerű lineáris diszperziós modell szerint az L áramlási úthosszra vonatkoztatott a_L/L relatív diszperzitásértékek átlaga 2,7%, mediánja 2,2%.

169. táblázat A nyomjelzéses vizsgálatokból meghatározott longitudinális diszperzitás abszolút és relatív értékeinek statisztikai jellemzői

	a_L [m]	a_L/L
figyelembe vett árampályák száma	22	
minimum	0,08	0,3%
maximum	1,50	7,5%
átlag	0,42	2,7%
medián	0,31	2,2%

A lineáris diszperziós modell szerint tehát – az átlagértékkel számolva – 500 m-es áramlási úthossz esetén a longitudinális diszperzitás értéke 13,5 m.

Ugyanezen értékeket grafikonon ábrázolva a következőket kapjuk:



378. ábra Relatív diszperzitás értékek az egyes nyomjelzéses vizsgálatoknál

Az effektív porozitás értékét általában helyszíni nyomjelzéses vizsgálattal határozzák meg. Az FKP keretében elvégzett 6 nyomjelzéses vizsgálat eredményei alapján az egyes helyszíneken érvényes effektív porozitás értékeket az 170. táblázat sorolja fel. A felsorolt értékek átlaga és mediánja egyaránt 0,3.

170. táblázat Az effektív porozitás terepi nyomjelzéses vizsgálatok eredményeként.

Teszt	n_{eff}
I-2	0,35
I-6	0,25
II-6	0,30
III-6	0,30
IV-6	0,30
V-6	0,27

3.3.4 A telephely vízföldtani jellemzőinek bemutatása

A 3.3.3 fejezetben közölt eredmények feldolgozásával és az elvégzett vízföldtani modellezés [105] alapján a telephely vízföldtani jellemzőit a következőkben mutatjuk be.

3.3.4.1 A talaj- és rétegvíz tároló képződmények vízvezető képessége

A tervezett telephely képződményeinek tulajdonságait kúttesztekből, geofizikai mérésekből, a magmintákon elvégzett laboratóriumi, a zavart minták szemeloszlásainak értékelésével, valamint a telephelyen végzett egymásrahatás és nyomjelzéses vizsgálatok segítségével határoztuk meg. Ezek ismertetését a 3.3.3 fejezet tartalmazza részletesen.

A szemeloszlások jellemzőiből a Hazen, Schlichter, Terzaghi, Beyer és Sauerbrei formuláival számított K értékek mértani közepét használtuk fel az ábrához. Az így számított K értékek, azok mértani középértéke, mediánja, 16% és 84%-os percentilisei, a kúttesztekből számított mértani közép, medián, 16% és 84%-os percentilisei láthatók az ábrán. Emellett feltüntettük a laboratóriumi, állandó és változó víznyomású készülék segítségével végzett szivárgási tényező mérések eredményeit [37], valamint a mélyfúrási geofizikai szelvényekből meghatározott szivárgási tényezők mértani közepét, mediánját, illetve 16% és 84%-os percentiliseit (379. ábra).

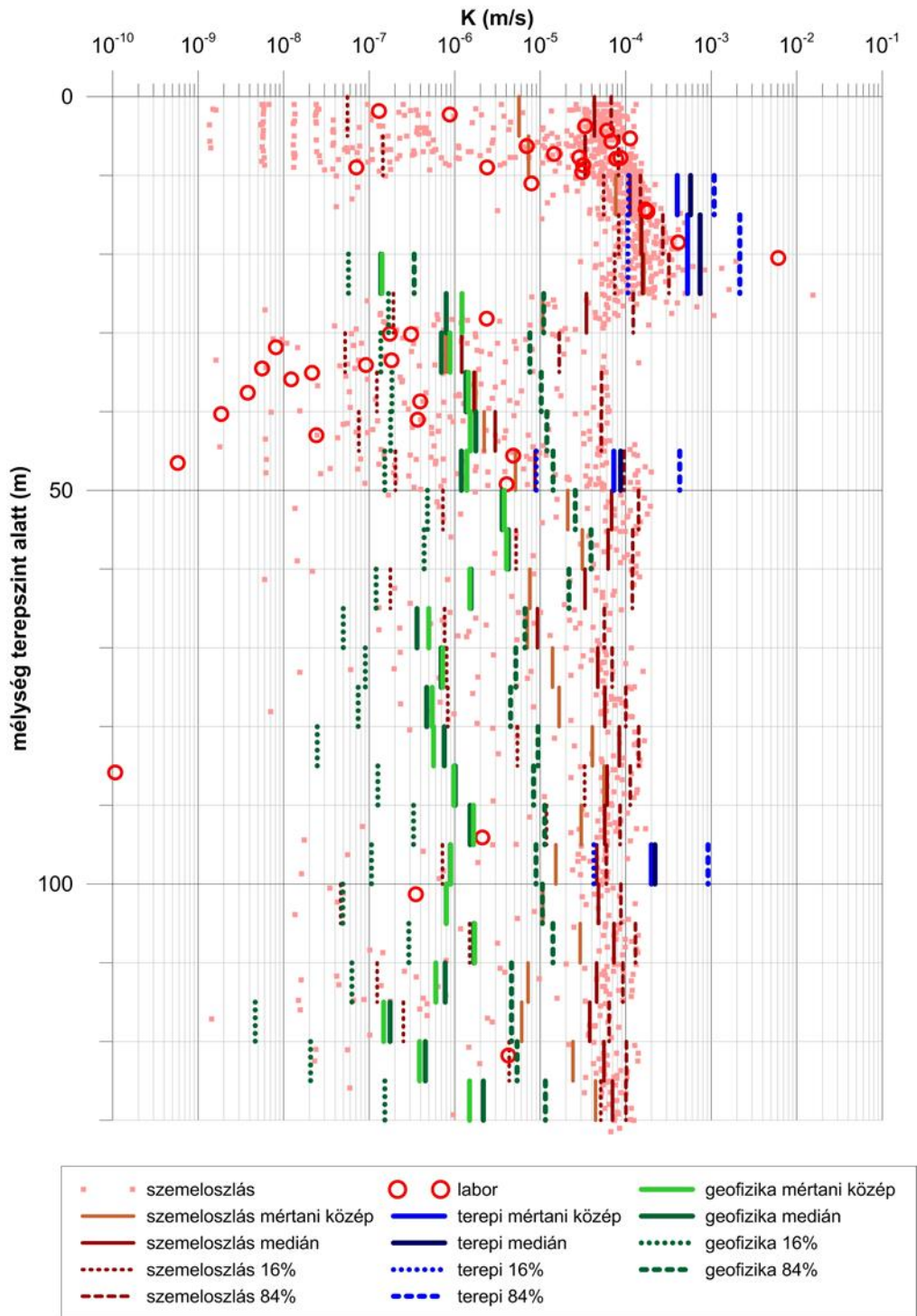
Az ábrán jól kivehető a felső-pannóniai legfelső szakaszának kis áteresztőképessége, de a pannóniai rétegsorra jellemző homokos-agyagos üledékek ciklikus települése is (ez utóbbi elsősorban a mértani közép, ill. a 16%-os percentilis mélység szerinti ingadozásából látszik).

Az ábráról az is leolvasható, hogy a kúttesztek jellemzően nagyobb szivárgási tényezőket adnak, mint a többi módszer. Ez a tény még nem feltétlenül utal az egyes módszerek pontosságára, a jelenség oka az is lehet, hogy a kúttesztek által „átvilágított” térrész lényegesen nagyobb (néhányszor tíz méter), mint az itt bemutatott többi módszeré (néhány cm). Köztudomású, hogy a szivárgási tényező is léptékfüggő mennyiség.

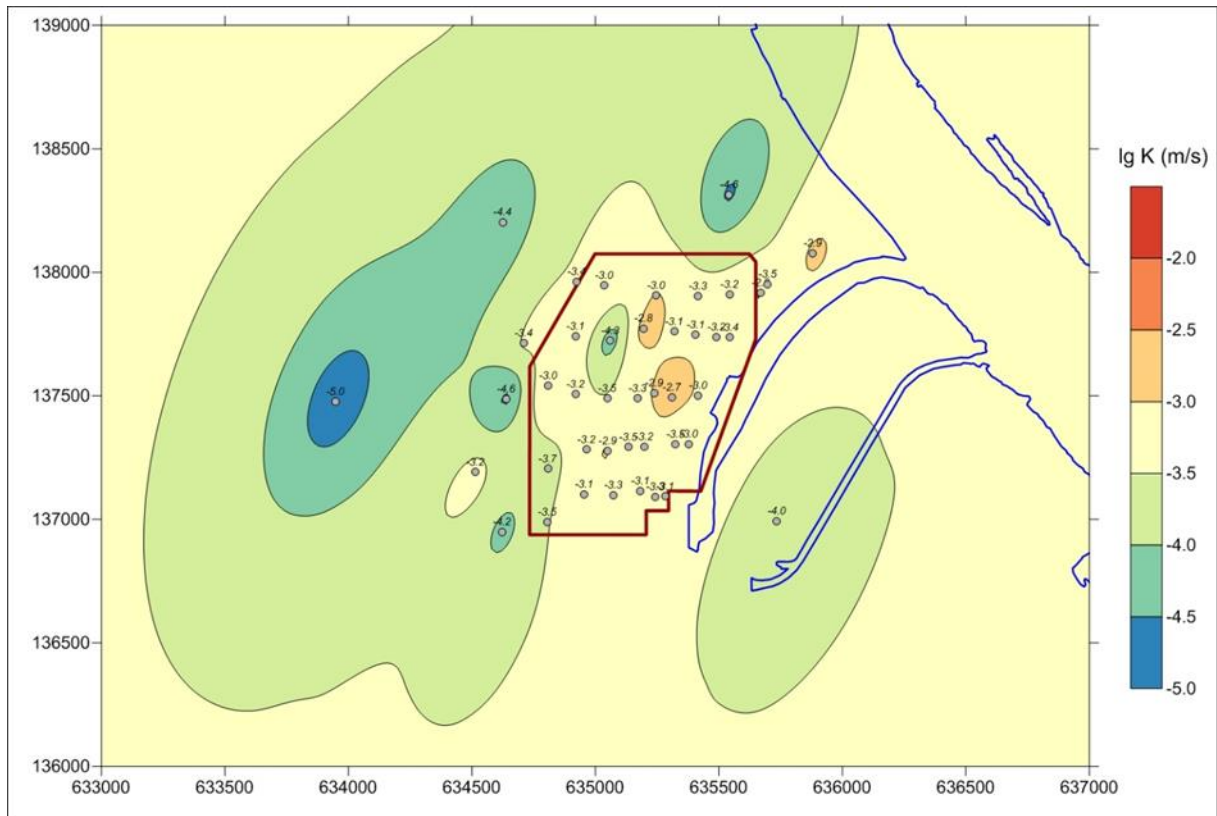
Azon rétegek esetében, amelyeknél elegendő adat állt rendelkezésre, krigeléssel becsültük a szivárgási tényező térbeli eloszlását. A 380. ábra mutatja be a szivárgási tényező logaritmusának térbeli eloszlását a 10–15 m közötti mélységben, azaz az „A” jelű kutakkal feltárt mélységközben. Ebben a mélységközben jellemzően futóhomok és öntéshomok rétegek települnek.

A 381. ábra a lg K eloszlását a 15–25 m-es mélységközre mutatja, amely a „B” kutakra jellemző szint, azaz a terasz kavics szintje.

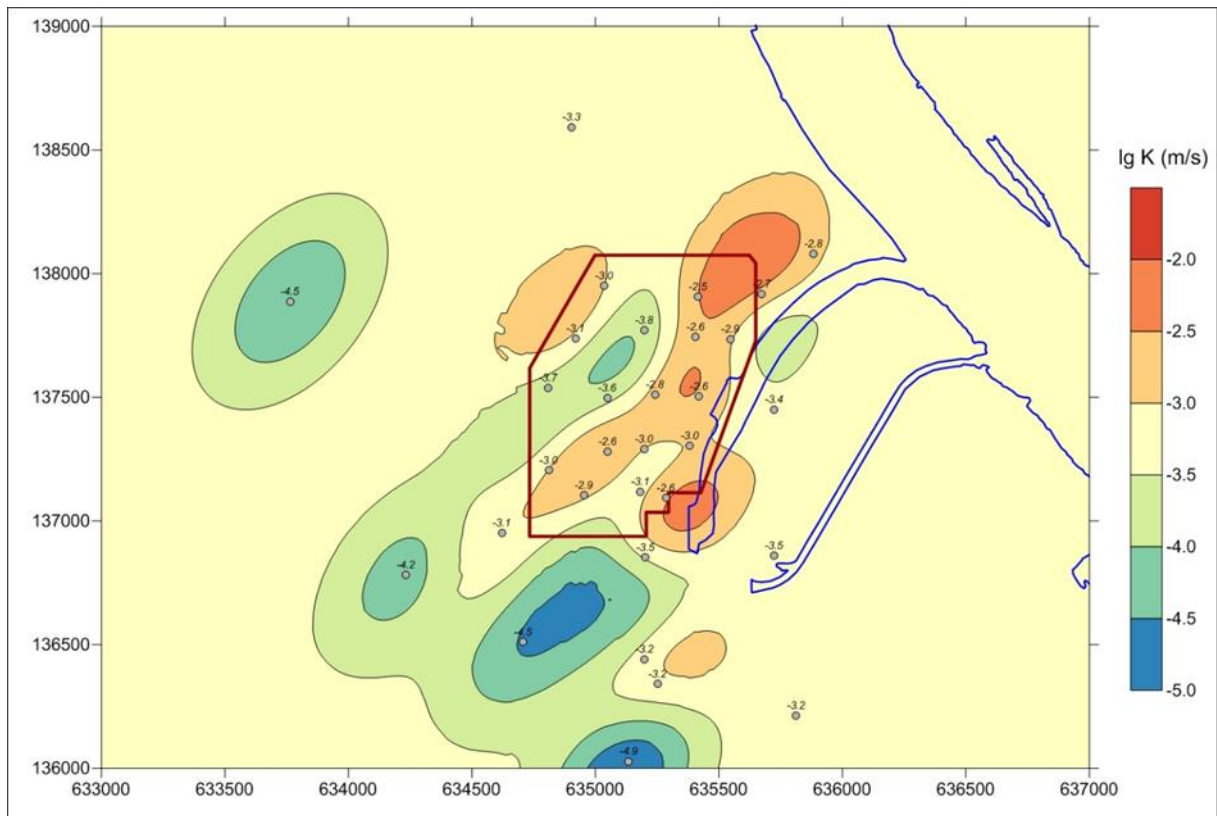
Látható, hogy a terasz kavics szivárgási tényezője helyenként egy nagyságrenddel is meghaladja a fedőjében települő homokos képződmények szivárgási tényezőjét. Ugyanakkor a létesítési terület nyugati oldalán valószínűsíthető egy kb. 250 m széles, közel DNY–ÉK-i irányú gyengébben vízvezető sáv.



379. ábra A szivargási tényező szemeloszlásból számított értékei, laboratóriumi adatok, a kútszesztekben meghatározott medián, 16%-os és 84%-os percentilisei, valamint a szemeloszlásból számított értékek mediánja és percentilisei



380. ábra A szivárgási tényező logaritmusának térbeli eloszlása 10–15 m közötti mélységben (A jelű kutak mélysége)



381. ábra A szivárgási tényező logaritmusának térbeli eloszlása 15–25 m közötti mélységben (B jelű kutak mélysége)

3.3.4.2 Talajvízszintek alakulása

A talajvíz a területen összefüggő rendszert képez, az átlagos talajvízszint a felső homokos képződményekben húzódik, a terepszint alatt 8–10 méteres mélységben. A mindenkori talajvízállást döntően a Duna aktuális vízállása szabályozza.

A talajvíz az atomerőmű térségében módosult helyzetben van. A víznívót és a vízjárást a természetes hatások mellett a Hidegvizes-csatorna üzeme, a mesterséges tározók betáplálása, a tűzvíz rendszer kútjainak a termelése, a csapadékvíz elvezetése, a terület feltöltöttsége, valamint a közműhálózat (pl. vízvezeték és csatorna meghibásodások) is befolyásolja [191].

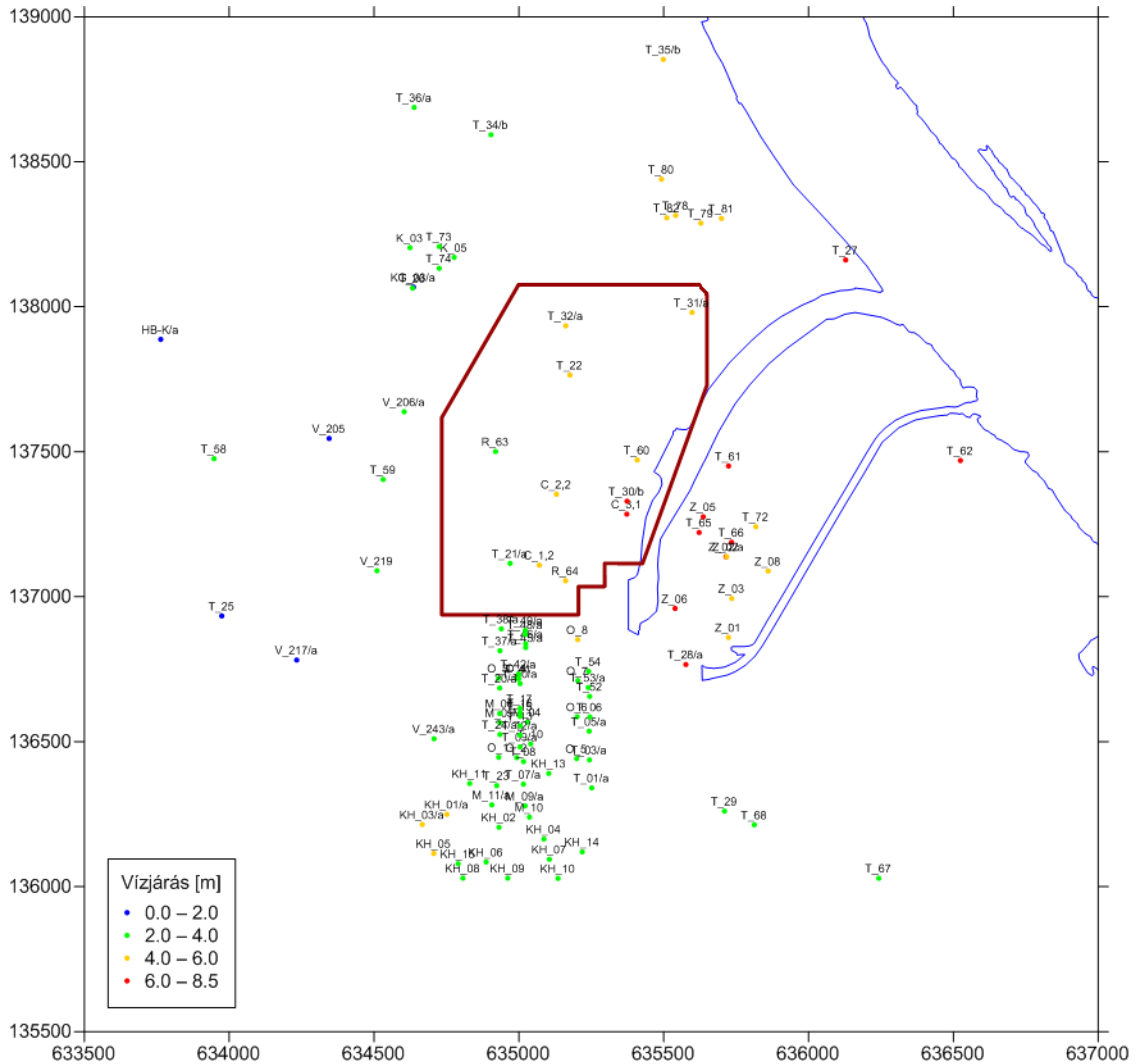
A talajvíz természetes állapotában – átlagos és alacsony vízállás mellett – mintegy 2–3%-os eséssel DK-felé áramlik a folyó medre irányába. Ilyenkor a víz utánpótlódása a háttér felől, a Mezőföld löszplatóin beszivárgó csapadékvizekből történik.

Magas vízálláskor, árvízkor a folyó betáplál a talajvíztartó rétegekbe, a háttér felől szivárgó talajvíz visszaduzzad, és a talajvíznívó megemelkedik. A Duna vízállás-változásainak – a vízjáték meghaladja a 8,5 métert – hatása a talajvízfigyelő kutak adatai szerint a folyót szegélyező mintegy 200–500 m-es szélességű sávban jelentkezik leginkább, de ez a hatás még a partéltől számított 1500 méteres távolságban is kimutatható. A hatás késleltetett, csak a tartós árvizek ideje alatt jelentkezik, a vízszint-emelkedés mértéke a parttól távolodva egyre kisebb, rövid idejű árhullámok idején mértéke jelentéktelen. Az árhullámok okozta talajvízszint emelkedés a parttól 100–200 méterre kb. 2 nap múlva jelentkezik.

A Hidegvizes-csatorna mellett a maximális talajvízszintek 94 mBf körül várhatók. A háttérben a sokéves átlagos szezonális vízszintingadozás 2 m körül van. A talajvíz áramlási sebessége nem egyenletes, a vízáadó réteg szemcseösszetételétől függően változik.

Az 382. ábra az FKP végrehajtása előtti időszakban létesített figyelőkutak vízjárását mutatja be a talajvízszint-adatsorok alapján.

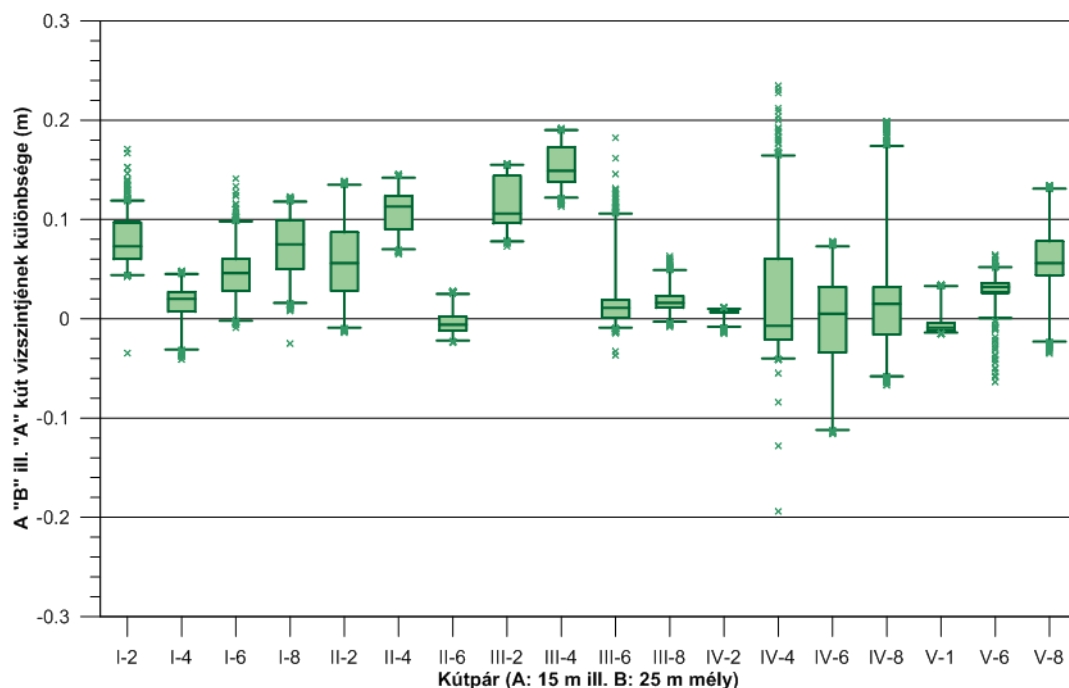
A talajvizet az FKP során telepített „A” (15 m talpmélységű), illetve a „B” jelű (25 m talpmélységű) kutak tárják fel. Összesen 18 olyan kútpár van a telephely területén, amelyben egy időben történtek talajvízszintmérések. A 383. ábra mutatja be dobozdiagram (box-plot) formájában a „B” és „A” jelű kutakban egy időben mért vízszintek különbségének statisztikai jellemzőit, amelyeket numerikusan a 171. táblázatban is közlünk. Látható, hogy néhány kút kivételével többnyire a „B” kutak vízszintje magasabb, de a különbség jellemzően mindössze néhány cm.



382. ábra A telephelyi talajvízfigyelő-kutak vízjárása

Az atomerőmű hidegvízcsatornájának vízszintjéről nem rendelkezünk folyamatos adatokkal, ezért a talajvíz és a felszíni víz kapcsolatát a Duna paksi vízmércéjén mért adatokhoz viszonyítottuk. A kapcsolatot Ny-K-i szelvények mentén kiválasztott talajvízkutakban mért vízszintek alapján a monitoringgal foglalkozó fejezetben mutatjuk be a következő ábrásorozaton (384. ábra–388. ábra). Az ábrásorozatot tanulmányozva az alábbi megállapításokat tehetjük:

- A felszíni víz járásának közvetlen hatása mutatható ki a hidegvízcsatornához legközelebbi, 8-as pozíciójú kutakban (helyzete alapján e csoportba tartozik az I-6-B kút is). E kutak jellemző távolsága a vízfolyástól 100 m körüli (64 és 111 m közötti).
- A 6-os pozíciójú kutak vízfolyástól való távolsága 200–250 m, a hidraulikai kapcsolat a vízfolyással már gyengébb, de még határozott.
- A 4-es pozíciójú kutak a vízfolyástól 380–430 m távolságban helyezkednek el, a hidraulikai kapcsolatuk a vízfolyással még észrevehető, de időben eltolt, mértékében korlátozott.
- A 2-es pozíciójú vízfolyástól mérhető kutak távolsága már 600 m körüli, a hidraulikai kapcsolat nem ismerhető fel.



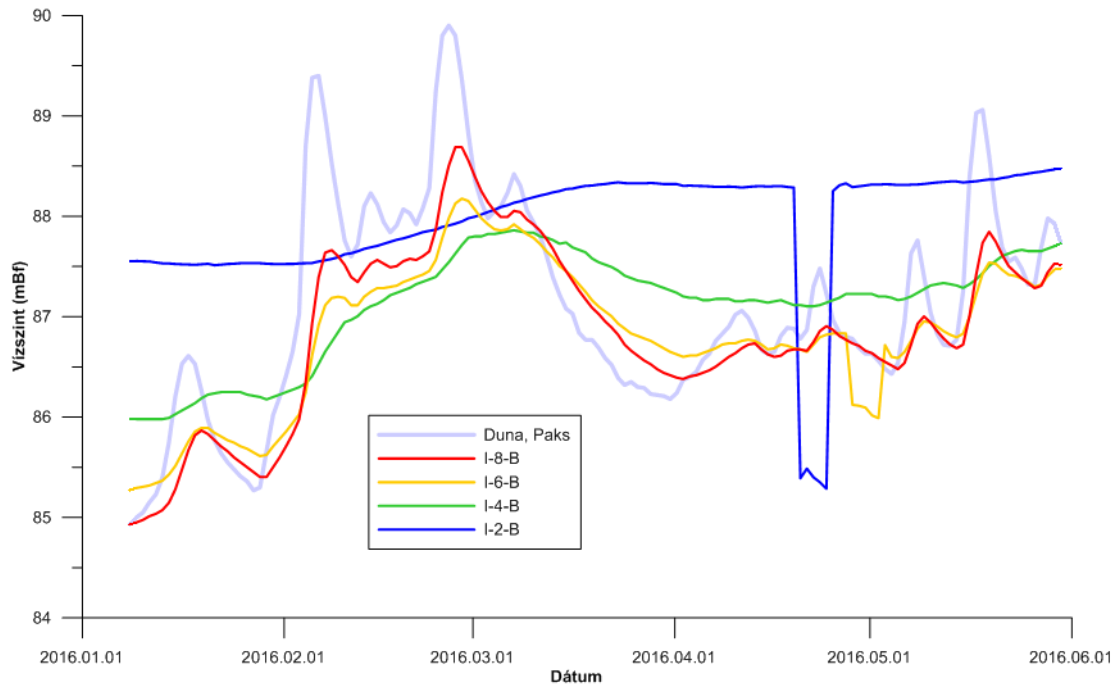
383. ábra A „B” és „A” jelű talajvízkutak vízszintkülönbségének dobozdiagramja

Jelmagyarázat: a doboz a 75%-os és 25%-os percentilisek közötti tartományt ábrázolja, a középvonal a mediánt, a függőleges vonalak az 1%-os ill. 99%-os percentiliseket mutatják, a kiugró értékeket jelölik az „x” jelek.

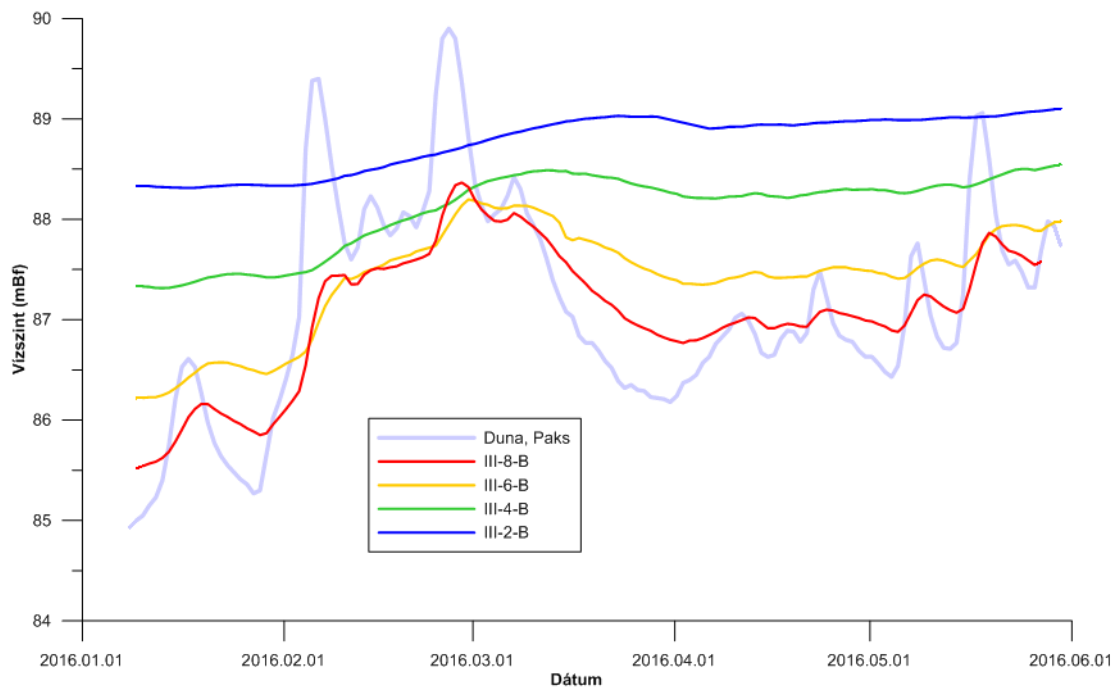
171. táblázat „B” és „A” jelű talajvízkutak vízszintkülönbségének statisztikai jellemzői

Kútpár	minimum	maximum	átlag	szórás	Q ₁	Q ₂	Q ₃	IQR
I-2	-0,035	0,171	0,078	0,022	0,060	0,073	0,097	0,037
I-4	-0,041	0,048	0,015	0,018	0,007	0,020	0,027	0,020
I-6	-0,009	0,141	0,045	0,024	0,028	0,046	0,060	0,032
I-8	-0,025	0,123	0,072	0,028	0,049	0,074	0,099	0,050
II-2	-0,014	0,138	0,058	0,036	0,028	0,056	0,087	0,059
II-4	0,065	0,146	0,108	0,020	0,090	0,113	0,124	0,034
II-6	-0,024	0,028	-0,003	0,012	-0,012	-0,005	0,002	0,014
III-2	0,073	0,156	0,115	0,025	0,096	0,106	0,144	0,048
III-4	0,113	0,192	0,154	0,020	0,138	0,149	0,173	0,035
III-6	-0,037	0,182	0,013	0,018	0,001	0,011	0,019	0,018
III-8	-0,008	0,063	0,018	0,012	0,011	0,016	0,023	0,012
IV-2	-0,015	0,012	0,006	0,004	0,006	0,007	0,008	0,002
IV-4	-0,194	0,235	0,008	0,044	-0,021	-0,007	0,060	0,081
IV-6	-0,116	0,078	-0,005	0,048	-0,034	0,005	0,032	0,066
IV-8	-0,067	0,199	0,018	0,047	-0,016	0,015	0,032	0,048
V-1	-0,015	0,034	-0,006	0,011	-0,012	-0,009	-0,004	0,008
V-6	-0,064	0,064	0,031	0,011	0,026	0,032	0,036	0,010
V-8	-0,035	0,134	0,060	0,031	0,044	0,056	0,078	0,034

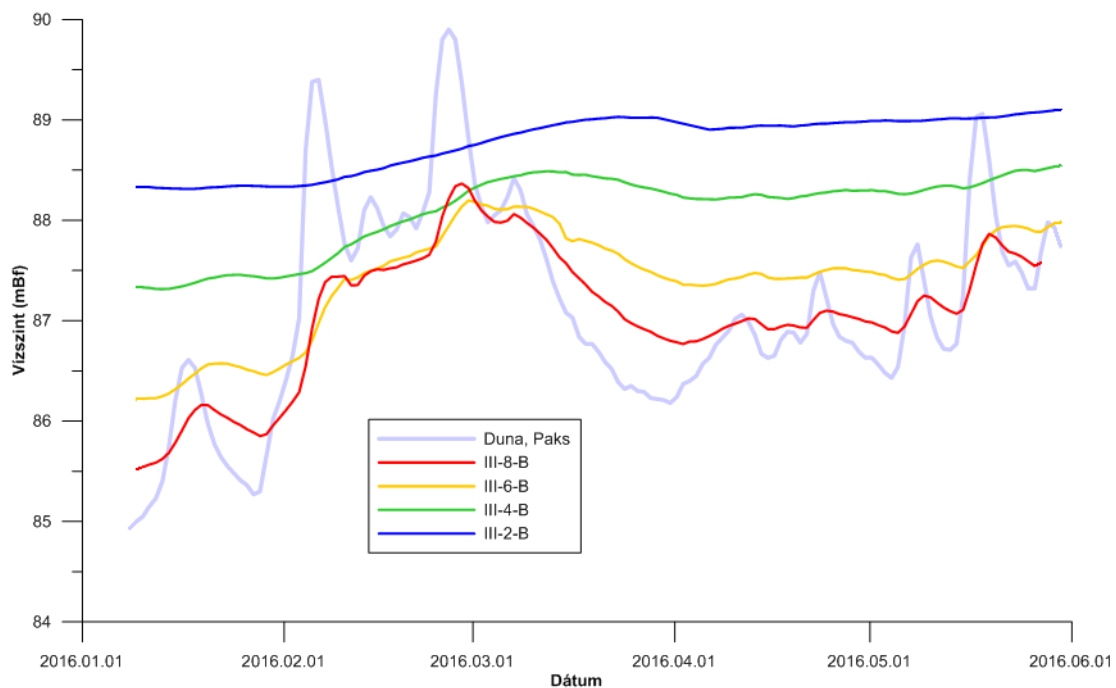
magyarázat: Q₁: alsó kvartilis, azaz a 25%-os percentilis; Q₂: medián, Q₃: felső kvartilis, azaz a 75%-os percentilis; IQR: interkvartilis terjedelem (IQR = Q₃ – Q₁, azaz a felső és alsó kvartilis különbsége)



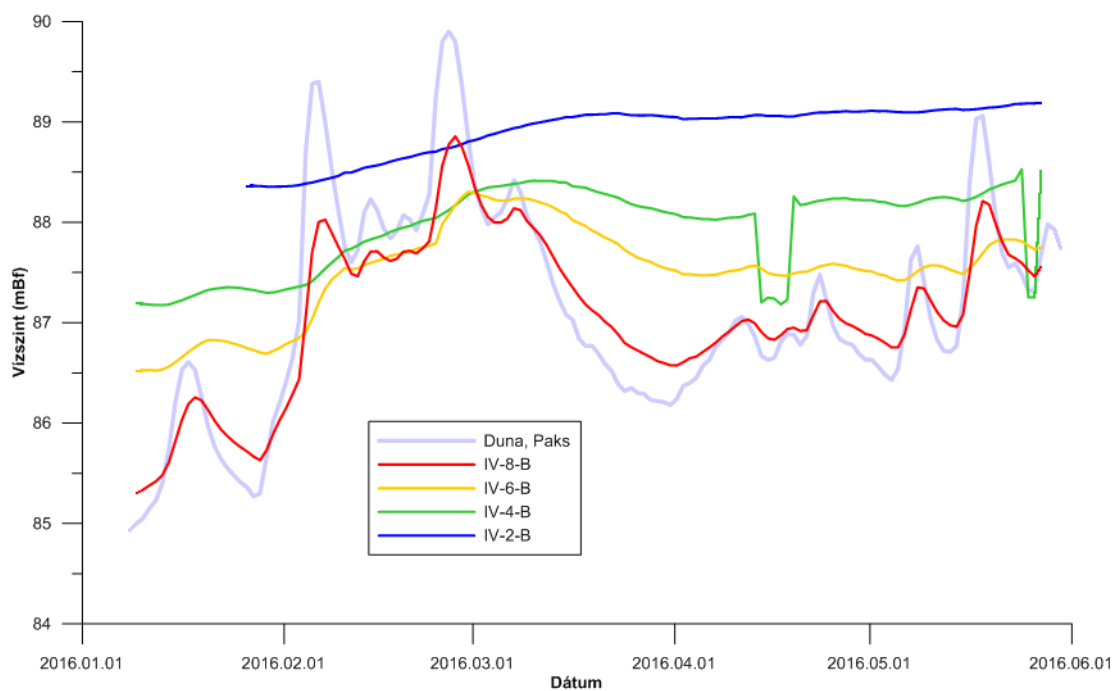
384. ábra Talajvízszintek az I. szelvényben



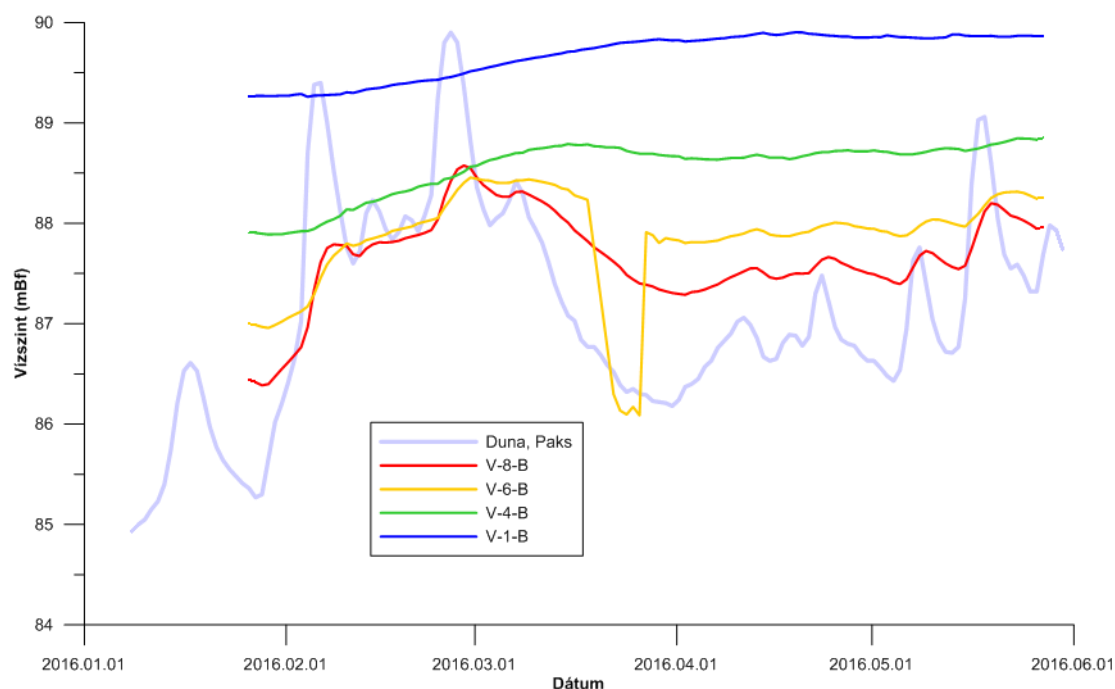
385. ábra Talajvízszintek a II. szelvényben



386. ábra Talajvízszintek a III. szelvényben



387. ábra Talajvízszintek a IV. szelvényben



388. ábra Talajvízszintek az V. szelvényben

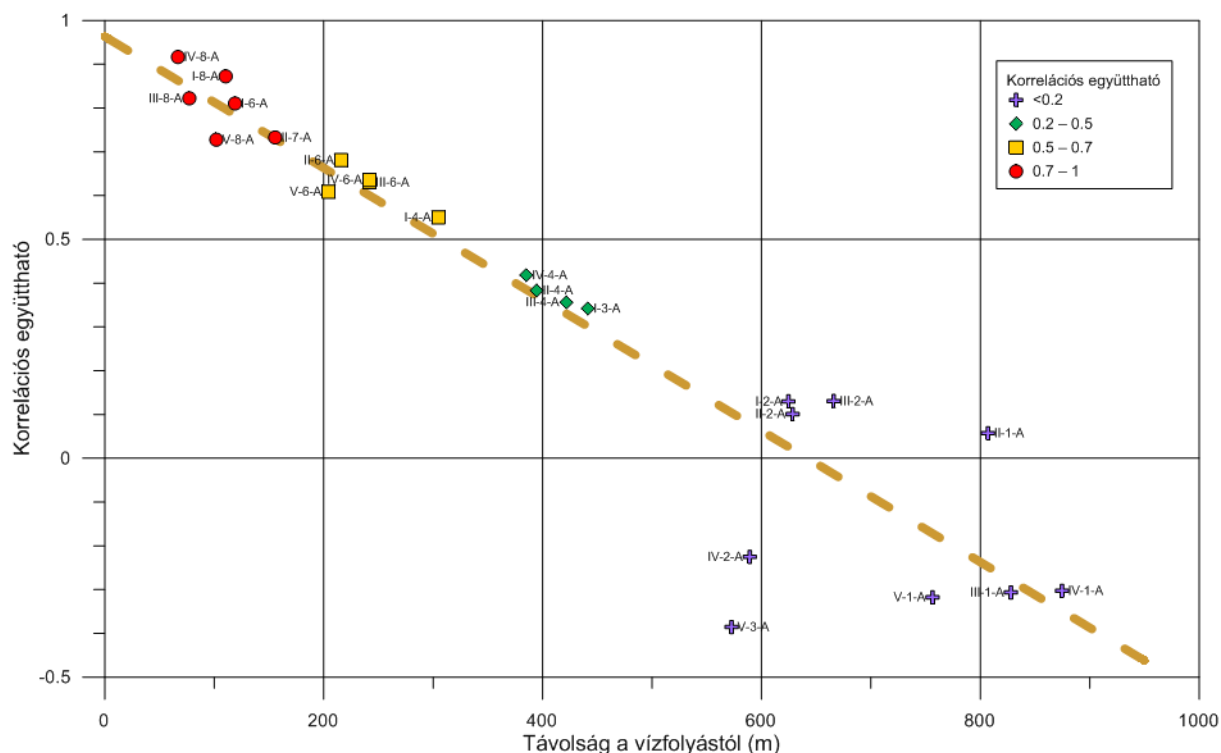
A talajvíz és a felszíni víz kapcsolatát kvantitatív módon vizsgálhatjuk az egyes talajvízkutak és a Duna vízszintidősora közötti korrelációs együttható kiszámításával. A tapasztalati korrelációs együtthatót az alábbi összefüggéssel számítottuk:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

ahol x_i a Duna vízszintje az i -edik időpontban, \bar{x} az x_i értékek átlaga, y_i a talajvízszint az i -edik időpontban, \bar{y} az y_i értékek átlaga. Bár az közismert, hogy a korrelációs együttható inkább méri a két változó közötti kapcsolat linearitását, mint annak szorosságát, megítélésünk szerint a korrelációs együttható értékének vizsgálata mindenképpen utal a talajvíz és a Duna vízszintje közötti kapcsolat meglétére vagy annak hiányára.

A 389. ábra a korrelációs együttható értékét ábrázolja az egyes talajvízkutak vízfolyástól való távolságának függvényében. A korrelációs együttható a vízfolyástól kb. 400 m távolságig lineáris függvénykapcsolat szerint csökken, ezen túl a korreláció már olyan csekély, hogy a függvénykapcsolat nem értelmezhető. Az ábra alapján is azt mondhatjuk, hogy a felszíni víz és a talajvíz között közvetlen kapcsolat a vízfolyástól kb. 100–150 m távolságig mutatható ki.

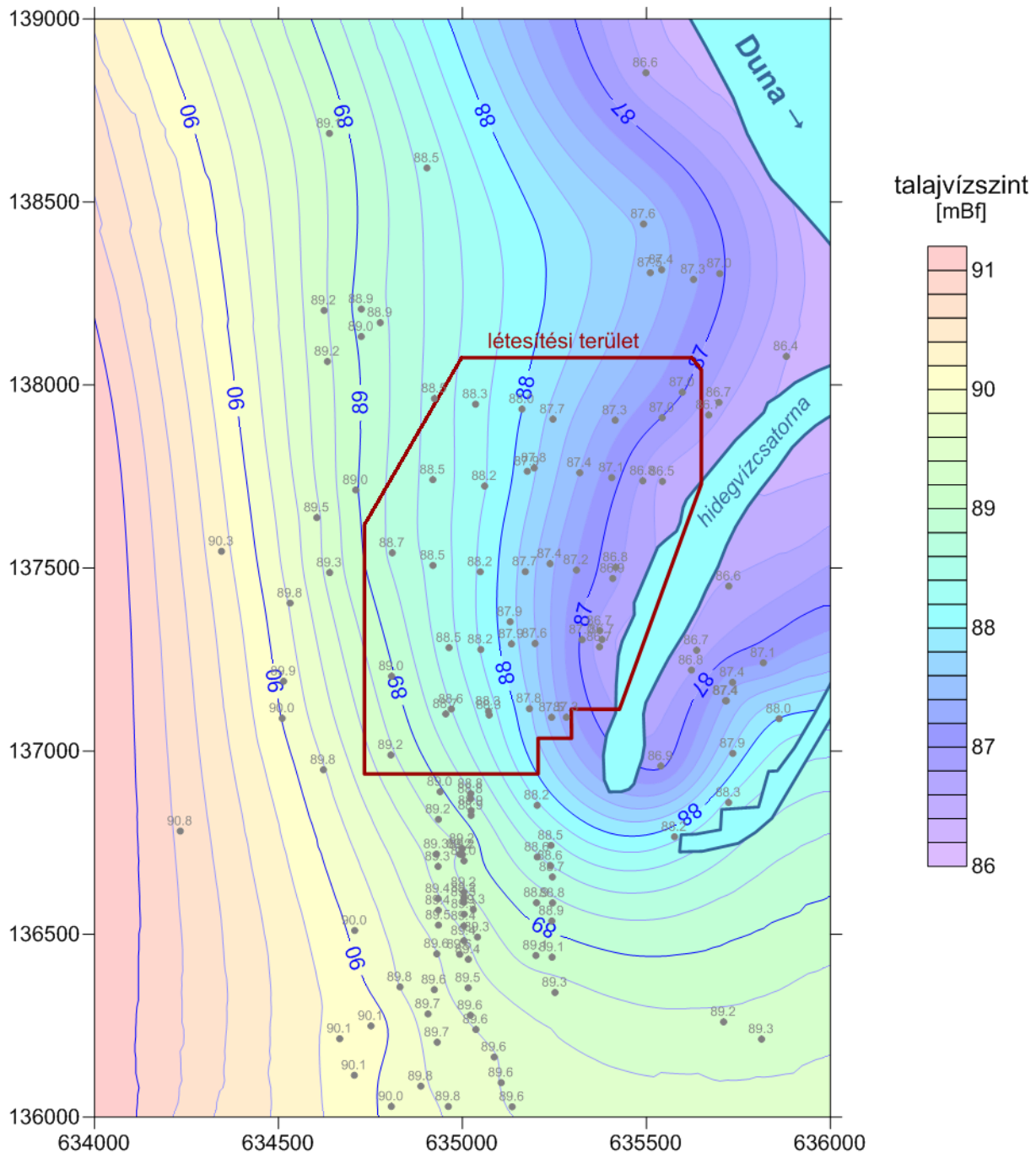
A pleisztocén rétegekben áramló talajvíz az összlet heterogenitásától függetlenül egységes képet mutat. A Dunántúli területeken az árapályák a telephelyen és közvetlen környezetében megközelítőleg Ny–K-i irányt követnek. Irányuk a felszíni viszonyoknak megfelelően a magasabb térszínek felől mutat a Duna irányába. A Dunától K-re lévő területeken pedig egységesen a Duna felé irányuló áramvonalak jellemzik a talajvizeket.



389. ábra A talajvíz és a Duna közötti korrelációs együttható alakulása a talajvíz kutak vízfolyástól való távolságának függvényében

A 390. ábra mutatja a 2016.03.31-i mérések alapján szerkesztett talajvízdomborzatot a telephely környezetében. A talajvízdomborzat szerkesztése az ArcGIS szoftver geostatistikai moduljával történt, az Empirical Bayesian Kriging eljárással.

A létesítési területen a Hidegvizes-csatorna felé mutató, Ny–K-i áramlási irányok a jellemzőek, ettől északra már inkább a Duna felé mutató, NyDNy–KÉK-i irányok. A létesítési területtől délre az áramlási irányok egyértelműen a Hidegvizes-csatorna felé mutatnak, helyről-helyre változó azimuttal.



390. ábra A 2016.03.30-i mérések alapján szerkesztett talajvízdomborzat szürke pontok: mért talajvízszint [mBf]

3.3.4.3 A rétegvizek hidraulikus potenciálja

A rétegvizek hidraulikus potenciálszintje (nyomásszintje) a telephely északi részén jellemzően a talajvíz szintje fölött húzódik. E területen minél mélyebben van a terepszint alatt a megnyitott szakasz, annál magasabb a rétegben uralkodó hidraulikus potenciál, ami a mélyebb rétegek felől a felszín irányába irányuló vízáramlásra utal.

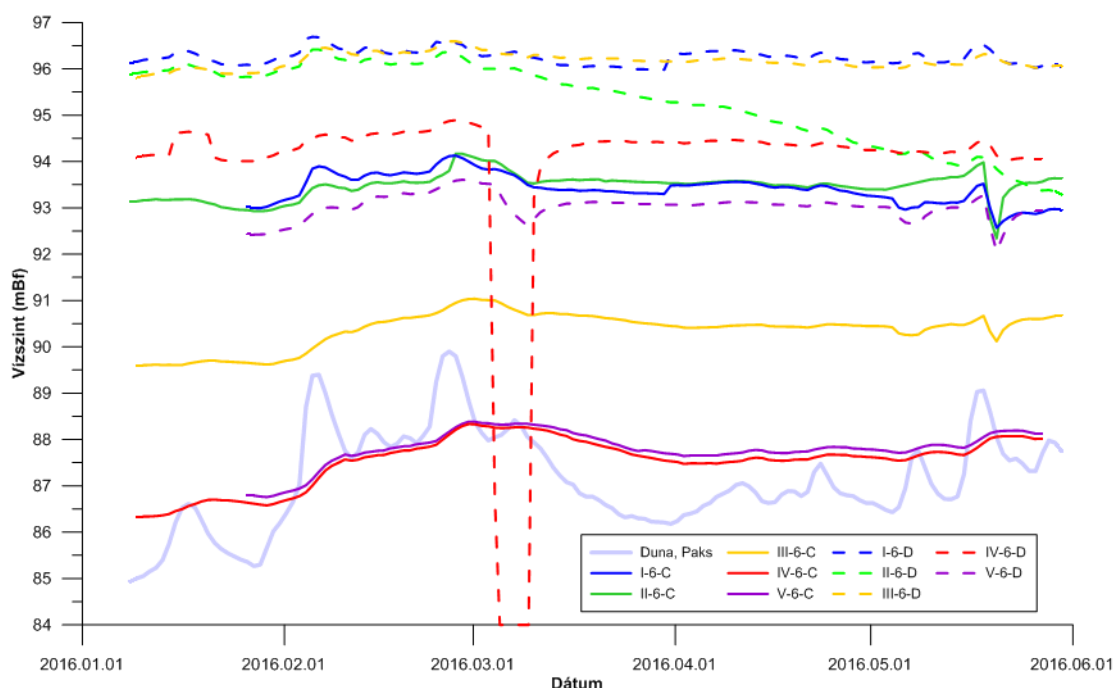
A telephely déli részén, kb. a IV. szelvényben elhelyezkedő geotechnikai fúrások vonalától déli irányban azonban a rétegvízszintek csökkenő középérték körül ingadoznak. Míg az I-6-C és II-6-C kutak vízszintje szinte együtt mozog (93–94 mBf értékek között), a

III-6-C kút közepes vízszintje már az 90–91 mBf tartományban változik, a IV-6-C és V-6-C kutak vízszintje a talajvízszint körüli sávban ingadozik (ezekben a Duna hatása is kimutatható). A rétegvízszintek időbeli alakulását a 14. ábra mutatja be a 6. pozíciójú kutakra illesztett, közel É–D-i irányú szelvény mentén.

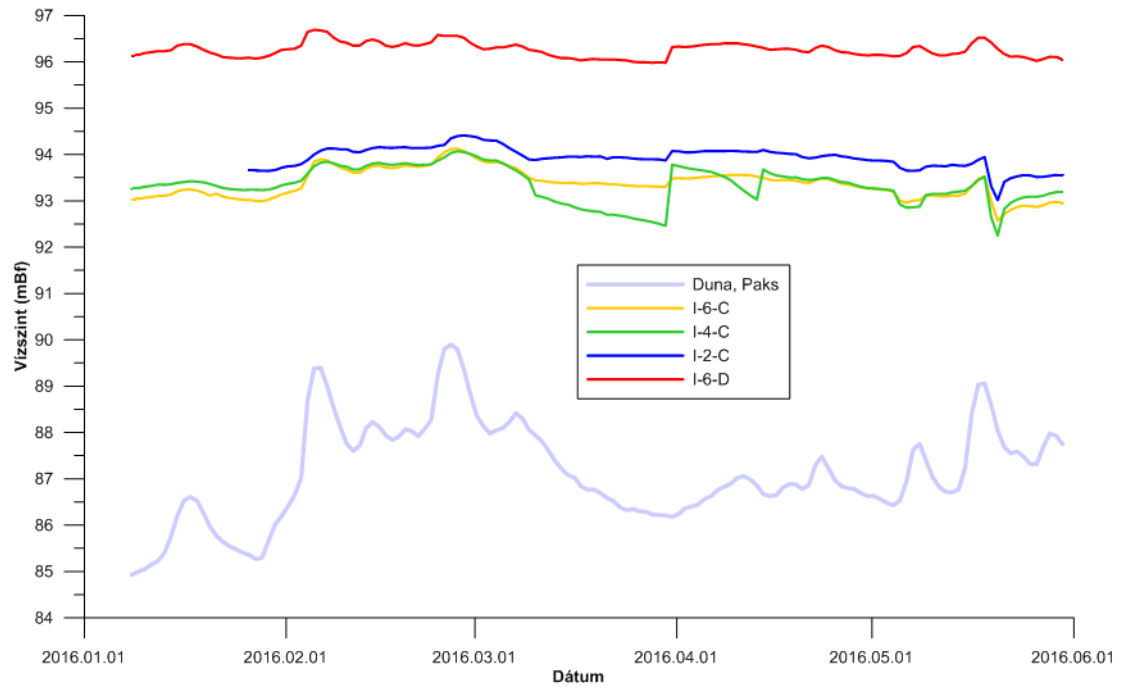
A 100 m mély D-jelű kutak vízszintje hasonló jellegzetességeket mutat (14. ábra). Az I-6-D, II-6-D és III-6-D kutak vízszintje a vizsgált időszak (2016.01.08–2016.05.30.) kezdetén szinte együtt mozog, 96–97 mBf közötti potenciálszintekkel, majd 2016.03.01. után a II-6-D kút potenciálszintje fokozatosan a 93 mBf körüli értékre csökken. A potenciálszint csökkenésének kezdete időben egybeesik a IV-6-D kútban történt szivattyúzásos vizsgálat kezdetével, de a szivattyúzott kút visszatöltődése után is folytatódott a fokozatos potenciálszint-csökkenés.

A IV-6-D kút víztermelés által nem befolyásolt („nyugalmi”) potenciálja a 94–95 mBf intervallumban ingadozik, tehát kb. 2 m-rel az I-6-D és III-6-D kutak nyugalmi szintje alatt. Az V-6-D kútban mért nyugalmi potenciálok ennél is alacsonyabbak, a 93 mBf szint körül mozognak, amely viszont már az I-6-C ill. II-6-C kutak vízszintjének felel meg.

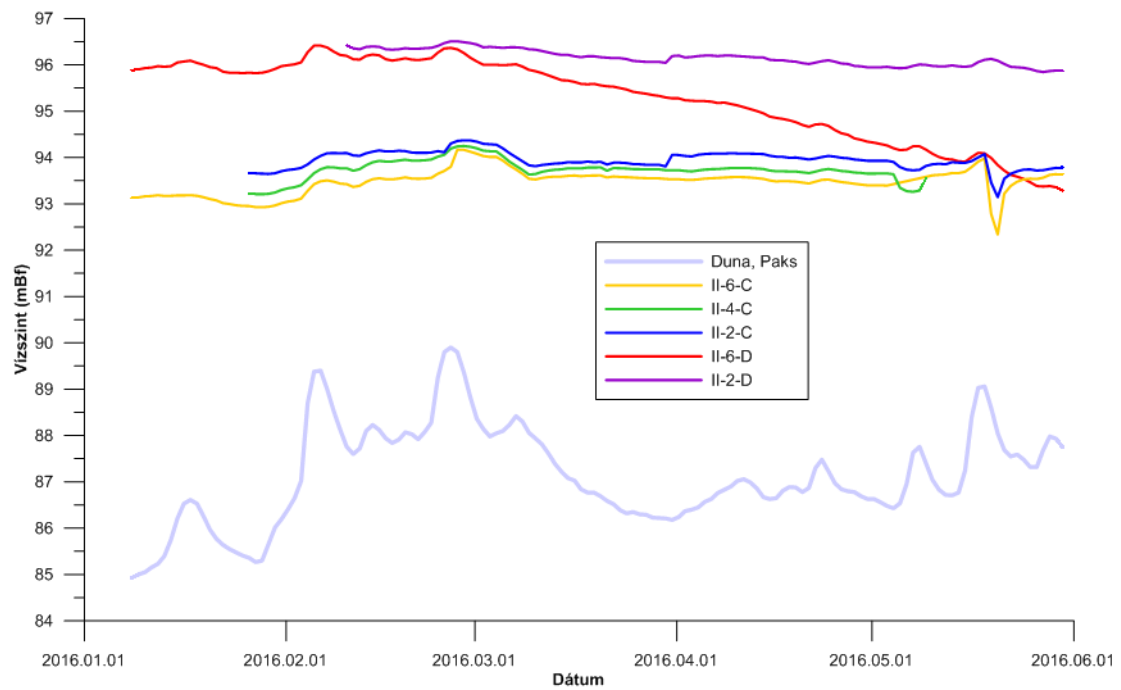
Az elmondottak jól követhetők az I–V. szelvényekben elhelyezkedő fúrásokban mért potenciál-idősorokon is (391. ábra–396. ábra).



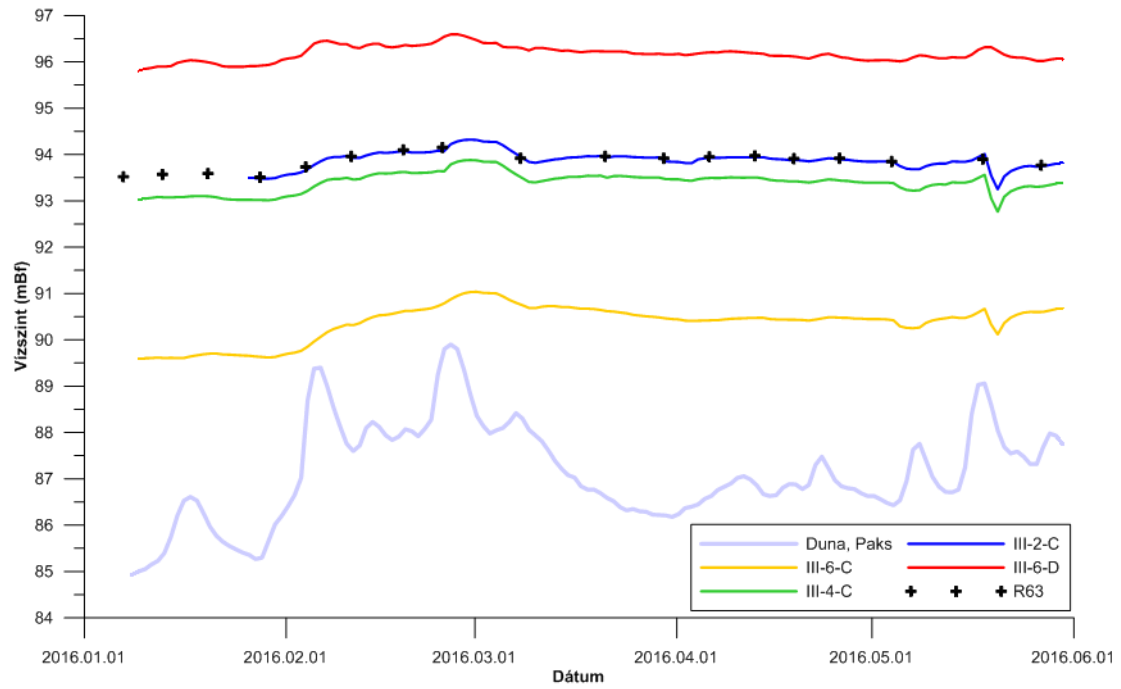
391. ábra Rétegvízszintek időbeli alakulása egy É–D irányú szelvény mentén elhelyezkedő figyelőkutakban



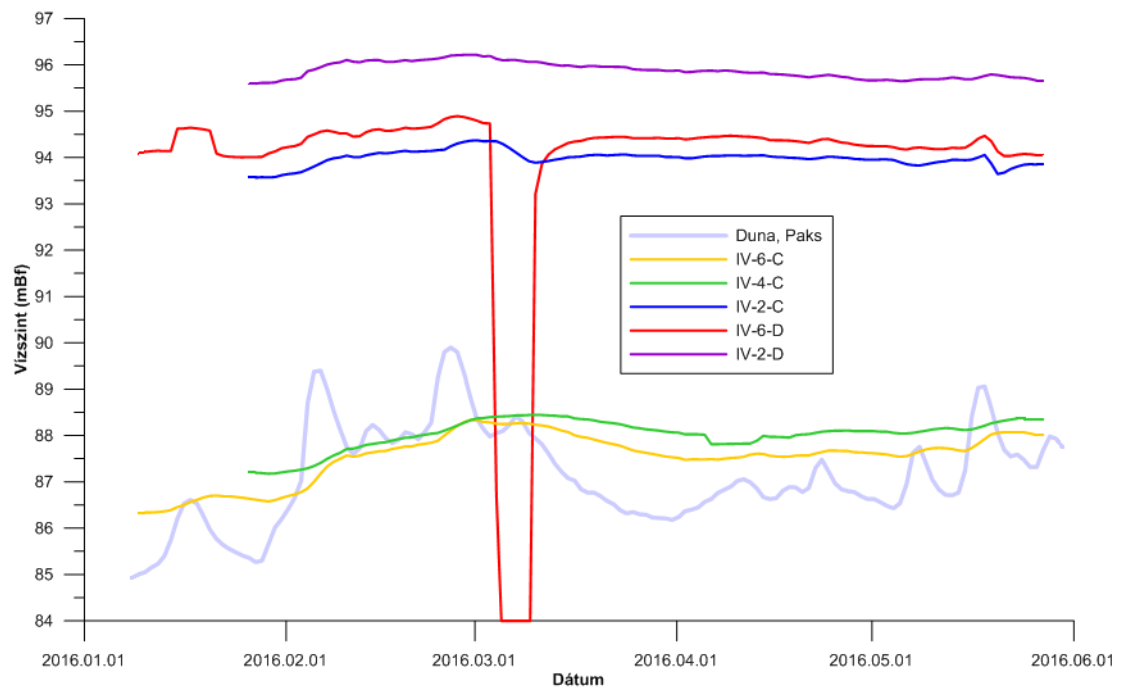
392. ábra Rétegvízszintek az I. szelvényben



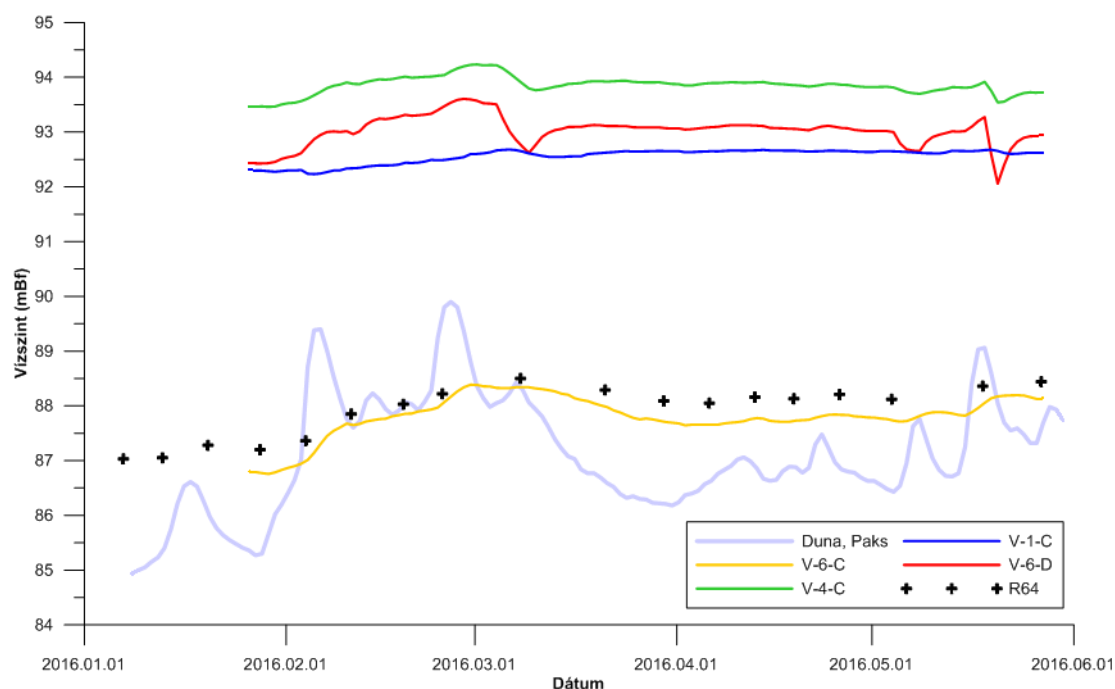
393. ábra Rétegvízszintek a II. szelvényben



394. ábra Rétegvízszintek a III. szelvényben



395. ábra Rétegvízszintek a IV. szelvényben



396. ábra Rétegvízszintek az V. szelvényben

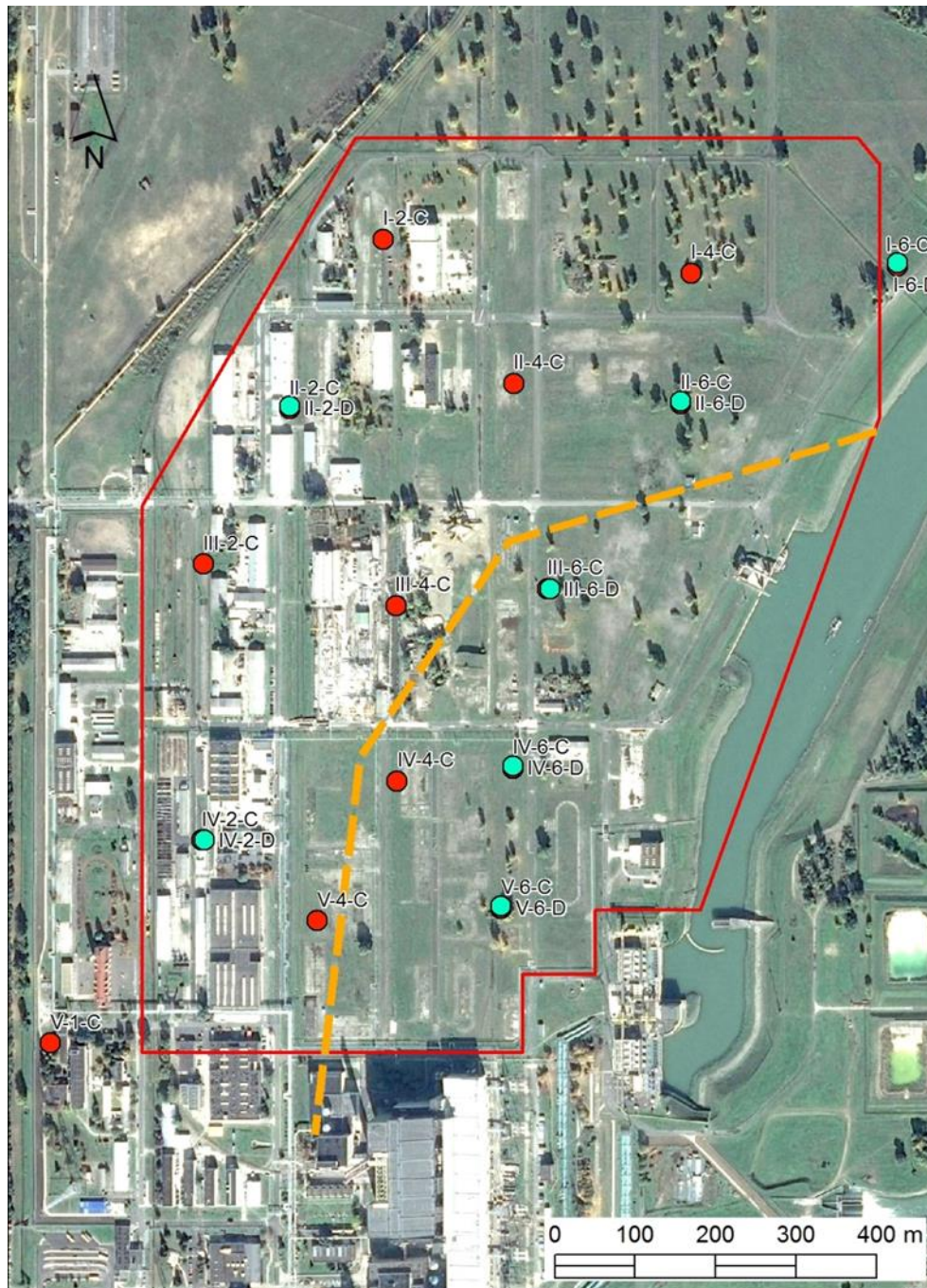
A rétegvízszintek térbeli alakulása alapján az alábbi lehetőségeket valószínűsíthetjük:

A telephely DK-i részén jobb vízvezető képességű felső-pannóniai rétegek érintkeznek a negyedidőszaki teraszkvaviccsal, a felső-pannon vízrekesztő rétegösszlet innen a mélybe bukik, így a III-6-C, IV-4-C, IV-6-C, V-6-C (és R64) kutak nem ugyanazt a réteget nyitják meg, mint a többi 50 m mélységű fúrás. Ezt a lehetőséget támasztja alá az „Értékelő geotechnikai-talajvizsgálati jelentés” [37] illetve a „Értékelő és összegző jelentés a karotázs mérések eredményeiről” [92] című jelentés is.

A telephely alatt húzódó Dunaszentgyörgy-Harta vetőzónának (lásd Koroknai, Wórum [168]) a felső-pannóniai és negyedidőszaki képződményekben lezajló vízáramlási folyamatokra gyakorolt szerepe nem teljesen tisztázott. Amennyiben ez a vető a kvarter talpát is elérő vagy megközelítő jó vízvezető zónát hozott létre, nem kizárható hogy a Duna illetve a Hidegvizes-csatorna megcsapoló hatása a felső-pannóniai rétegek felső szakaszán is érvényesül.

Elképzelhető, hogy a felső-pannóniai tetején települő vízrekesztő iszapos-agyagos üledéksorozat horizontálisan nem teljesen folytonos a telephely területén, azaz „üledékföldtani ablak” alakult ki, amely lehetővé teszi a kvarter és a felső-pannóniai homokosabb rétegei közötti intenzívebb hidraulikus kommunikációt.

A fenti lehetőségek kombinációja, pl. a vetőzóna és a felső-pannon tetején megjelenő homokosabb sáv együttes hatása sem zárható ki, ahogy arra a mélyfúrás-geofizikai értékelő jelentés [92] is utalt. A 397. ábra bemutatja az FKP keretében létesített telephelyi rétegvízfigyelő kutak helyszínrajzát. Az ábrán narancssárga színnel feltüntettük azt a vonalat, amelytől DK-re eső területen lévő fúrásokban mért rétegvízszintek (mind az 50, mind a 100 m mélységű kutakban) lényegesen alacsonyabbak, mint az e vonaltól ÉNy-ra eső fúrások vízszintjei, azaz az előzőekben tárgyalt „hidraulikai anomália” e vonaltól DK-re jelenik meg.



397. ábra A telephelyi rétegvízfigyelő kutak helyszínrajza

3.3.4.4 A felszín alatti vízrendszer kapcsolata az atmoszférával

A felszín alatti vizek regionális léptékű áramlási rendszereit jelentősen befolyásoló tényező a csapadék, amely a talajvíz utánpótlódás szempontjából meghatározó, valamint a hőmérséklet és a párolgás. A „Hidrometeorológiai és hidrológiai adatok beszerzése, paraméterezése a regionális vízföldtani modell kiterjedésének területéről” című jelentésében [310] a szerzők részletesen ismertetik a regionális vizsgálati területre adatbázisba összegyűjtött és a regionális vízföldtani modellhez felhasznált hidrometeorológiai adatokat és azok értékelését.

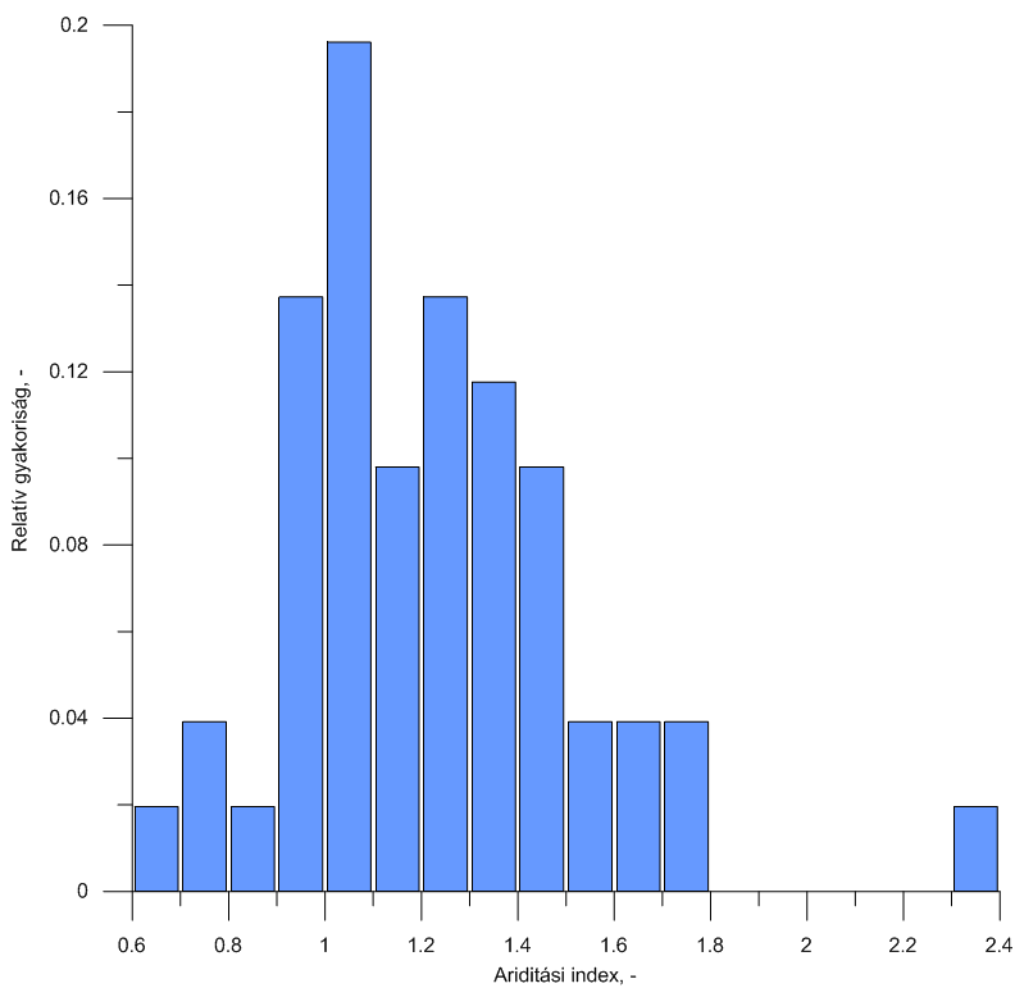
Csapadék, beszivárgás, evapotranszpiráció

A Paks meteorológiai állomás és a Tengelice hidrometeorológiai állomás 1961–2014 közötti időszak csapadékadatai alapján a terület csapadékmennyiségének hosszú távú elemzése [310] és az elmúlt 15 év a legcsapadékosabb (2010) és legszárazabb (2000 és 2011) valamint egy átlagosnak tekinthető (2009) évek részletes vizsgálata megtörtént.

Az átlagos évi csapadékösszeg 575 mm a paksi meteorológiai állomás adatai alapján. Az évi minimális csapadékösszeg 1961-ben 286 mm, míg a maximális csapadékösszeg 2010-ben 991 mm.

A terület hő és vízháztartásának kapcsolatát jól jellemzi az ariditási index (H) mely a potenciális evapotranszpiráció (PET) és a csapadék (P) aránya ($H = PET/P$). Az 1981–2010-es átlagos ariditási index Paks állomásra 1,7. Az 1-nél nagyobb érték jelzi, hogy Paks térsége csapadékeloszlás szempontjából száraz területnek minősíthető [242].

A FKP keretében Paks meteorológiai állomásra összegyűjtött havi csapadékösszegek és a CARPATCLIM projekt keretében számított havi potenciális-evapotranszpirációt felhasználva képeztünk éves csapadék- és PET összegeket az 1961 – 2010. időszakra. Az éves PET és csapadékösszeg arányát, vagyis az ariditási indexet a 398. ábra szemlélteti.



398. ábra Az 1961–2010. időszakra számított ariditási index relatív gyakorisága

A számított ariditási indexek maximum értéke 2,38 (1961); minimuma 0,68 (2010) és átlag értéke 1,22.

3.3.4.4.1 Talajvízháztartási modell

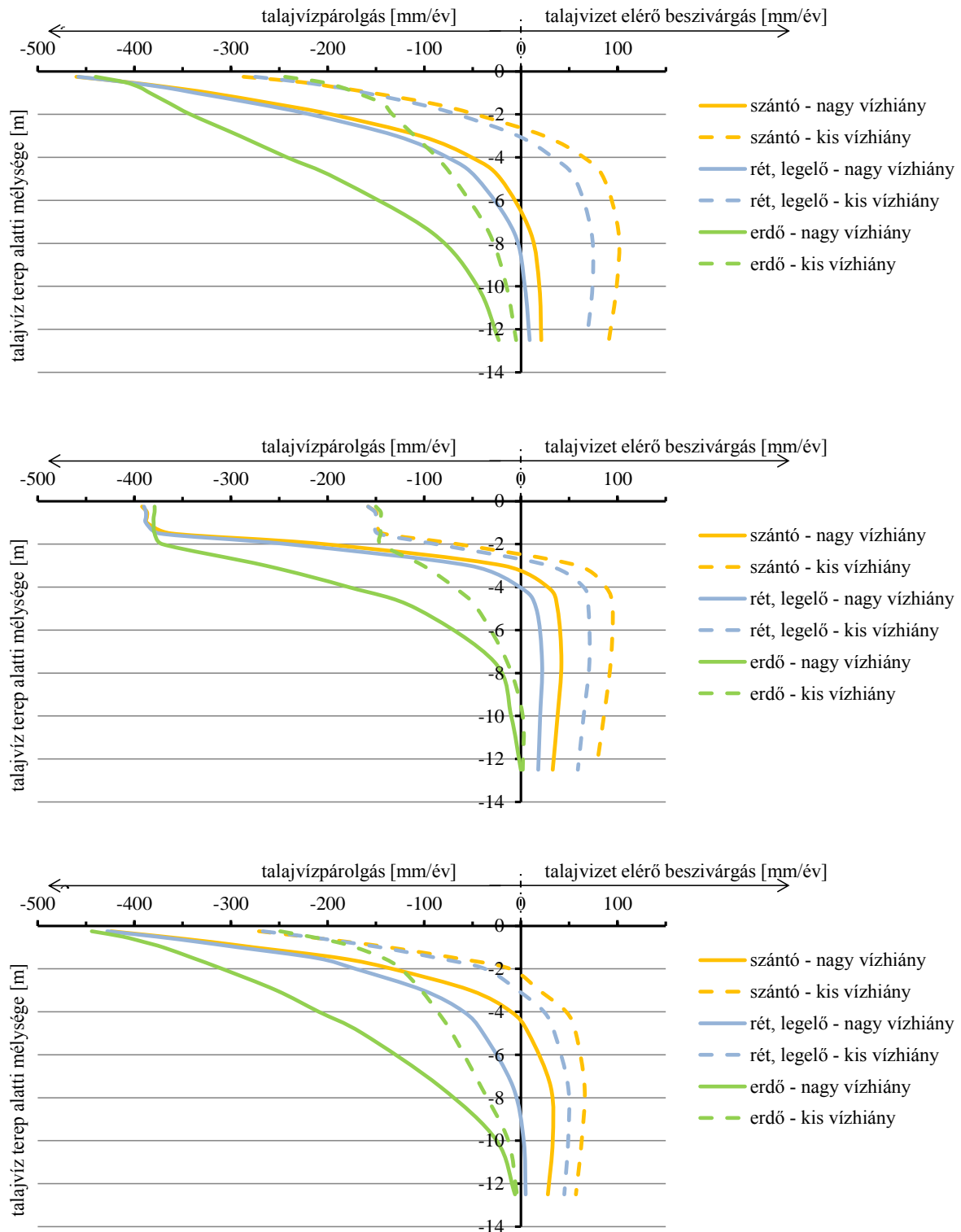
A talajvízforgalom és talajvízállás kapcsolata térben és időben változó, erősen függ a meteorológiai viszonyoktól, a talajtani viszonyoktól (szivárgáshidraulikai jellemzőktől) és a területhasználattól (növényzettől). Sokéves, átlagos viszonyok mellett a kapcsolat a talajvízháztartási jelleggörbékkel adható meg.

A talajvízháztartási jelleggörbéket egydimenziós numerikus modellezéssel határozták meg a HYDRUS-1D szivárgáshidraulikai szoftverrel [309]. A kidolgozott modellkonfiguráció lehetővé tette az adott szerkezetű talajoszlopra a légköri folyamatok, a vegetációs aktivitás, valamint különböző permanens vízszintek mellett a talajvíz utánpótlás és a párolgási megcsapolás napi/éves/hosszú idejű meghatározását.

A 399. ábra 3 különböző talajrétegzettség („a”, „b” és „c” típus) mellett szemlélteti a növénytípus és a meteorológiai viszonyok hatását. Az áttekinthetőség érdekében csak az eredő jelleggörbék megjelenítésére szorítkoztunk, a talajvíz párolgási és beszivárgási jelleggörbéket külön nem ábrázoltuk.

A létesítési területre a „b” típusú rétegzettség a jellemző, azaz a felszín és a talajvízszint között tipikusan csak homokos rétegek húzódnak. A burkolt, ipari jellegű területen a beszivárgási intenzitás és az evapotranszpiráció is a nullához áll közel. Az erdős, ligetes területeken szintén nullához közeli az effektív (nettó) beszivárgás a területre jellemző talajvízmélységek (8–10 m) mellett. A rét, legelő jellegű területeken a talajvizet elérő beszivárgás 10–50 mm/év között mozoghat, szántóföldi területeken inkább 20–60 mm/év között.

A tágabb értelemben vett telephely É-i, ÉNy-i részére a löszös kifejlődés a jellemző, amely inkább az „a” típusszelvény használatát teszi indokolttá. E típusszelvény esetén, a szántóföldi területeken a beszivárgás elérheti a 80–100 mm/év értéket, még mély (10 m-t meghaladó mélységű) talajvízszintek mellett is.



399. ábra A vizsgált terület jellemző talajvízháztartási jellegörbéi [309]

a) 1 m vályog fedőtalaj, 9 m vályog altalaj; b) 1 m homok fedőtalaj, 9 m homok altalaj; c) 1 m vályog fedőtalaj, 4 m agyag és 5 m homok altalaj

3.3.4.5 A telephely transzportjellemzői

3.3.4.5.1 Transzportfolyamatok

A vízfázisban oldott komponensek mérlegegyenletének felállításakor rendszerint öt összetevőt kell figyelembe venni.

- 1. A vizsgált pont körüli elemi térfogatba advekción, diszperzió és diffúzió hatására beérkező (és azt elhagyó) anyag mennyisége, másképpen a teljes tömegfluxus.
- 2. A folyadék- és szilárd fázis határán a folyadék és a szilárd anyag közötti elektromos és kémiai reakciók hatására a folyadékból kilépő (vagy abba belépő) anyagmennyiség. Az ioncsere és az adszorpció szolgálhatnak az ilyen jelenségek példájául.
- 3. A vízben lévő alkotók közötti kémiai reakciók vagy a különféle bomlási folyamatok eredményeként a vízbe érkező (vagy abból távozó) anyagok mennyisége.
- 4. A víztárolóba vízbesajtolással is kerülhet oldott anyag, és távozhat belőle vízkivétel során.
- 5. A fenti jelenségek hatására megváltozik az elemi térfogatban az oldott anyag mennyisége.
- A fent bemutatott összetevők kombinációja adja meg a víztároló elemi térfogatának anyagmérlegét (egy oldott komponensre).

Az oldott komponens minőségétől független, kizárólag a vízföldtani viszonyok által meghatározott transzportfolyamat az advekción és a diszperzió. A besajtolás, ill. vízkivétel ez esetben peremfeltételként fogható fel és minden esetben egyedileg vizsgálandó.

A diffúzió, az adszorpción/deszorpción és a lebomlás mértéke függ a vizsgált oldott komponensről, ezért nem kizárólag a vízföldtani viszonyok függvénye. A továbbiakban ezekkel a folyamatokkal nem foglalkozunk.

Advekción

Az advekción a víz átlagos sebességével (az ún. Reprezentatív Elemi Térfogaton belül vett fázisátlag) szállított oldott anyag tömegfluxusa (időegység alatt egységnyi felületen átáramló anyagmennyiség).

$$\vec{J}_{adv} = n\vec{c}\vec{u} \quad (1)$$

Az átlagos vízsebesség lamináris áramlás esetén a Darcy-törvényben szereplő szivárgási sebességből (másképpen Darcy-féle fluxusból) számítható:

$$\vec{u} = \frac{\vec{v}}{n_{eff}} \quad (2)$$

ahol \vec{v} a szivárgási sebesség (Darcy-féle fluxus) vektora, n_{eff} az effektív hézagterfogat (másként szabad hézagterfogat vagy effektív porozitás).

Diszperzió

Porózus közegben lévő tetszőleges pont környezetében a vízsebesség az átlagsebességtől mikroszkopikus szinten eltér. A sebességnek ebből a mikroszkopikus

fluktuációjából származtatható az ún. *diszperzív fluxus*. Ez a fluxus csak makroszkopikus szinten jelentkezik, térbeli átlagolás mellékhatásaként.

A diszperzív fluxust Bear nyomán [1-3] a diffúziós fluxust leíró Fick-törvényhez hasonló egyenlettel fejezzük ki:

$$\vec{J}_{diszp} = \langle c_d \vec{v}_d \rangle = -nD\nabla c \quad (3)$$

ahol a D mechanikai diszperziós tényező tenzora. Az előző egyenlet azt fejezi ki, hogy a diszperzív fluxus egyenesen arányos az átlagos koncentráció gradiensevel és ez a fluxus a magasabb koncentrációjú helyekről az alacsonyabb koncentrációjú helyekre szállít anyagot.

A diszperziós tényezőt általában felírhatjuk az alábbi egyszerűsített formában

$$D = \begin{bmatrix} a_L u & 0 & 0 \\ 0 & a_T u & 0 \\ 0 & 0 & a_T u \end{bmatrix} \quad (4)$$

ahol a_L az ún. *longitudinális diszperzitás* és az a_T a *transzverzális diszperzitás*.

A longitudinális és transzverzális diszperzitás mértékegysége a méter. Mindkét paraméter léptékfüggő, azaz értékük minden vizsgált esetben a jellemző terjedési útvonal hosszával arányosan növekszik. A léptékfüggést matematikai formában egyszerű lineáris vagy bonyolultabb (pl. exponenciális) összefüggéssel szokták leírni, jellemzően minden esetben a diszperzitás a vizsgált úthossz monoton módon növekvő függvénye. A matematikai összefüggést általában csak a longitudinális diszperzitás esetében adják meg, a transzverzális diszperzitást a longitudinális diszperzitás 5–20%-a közötti értékkel adják meg (rendszerint 10%-os értékkel).

3.3.4.5.2 A telephelyi viszonyokra jellemző transzportparaméterek

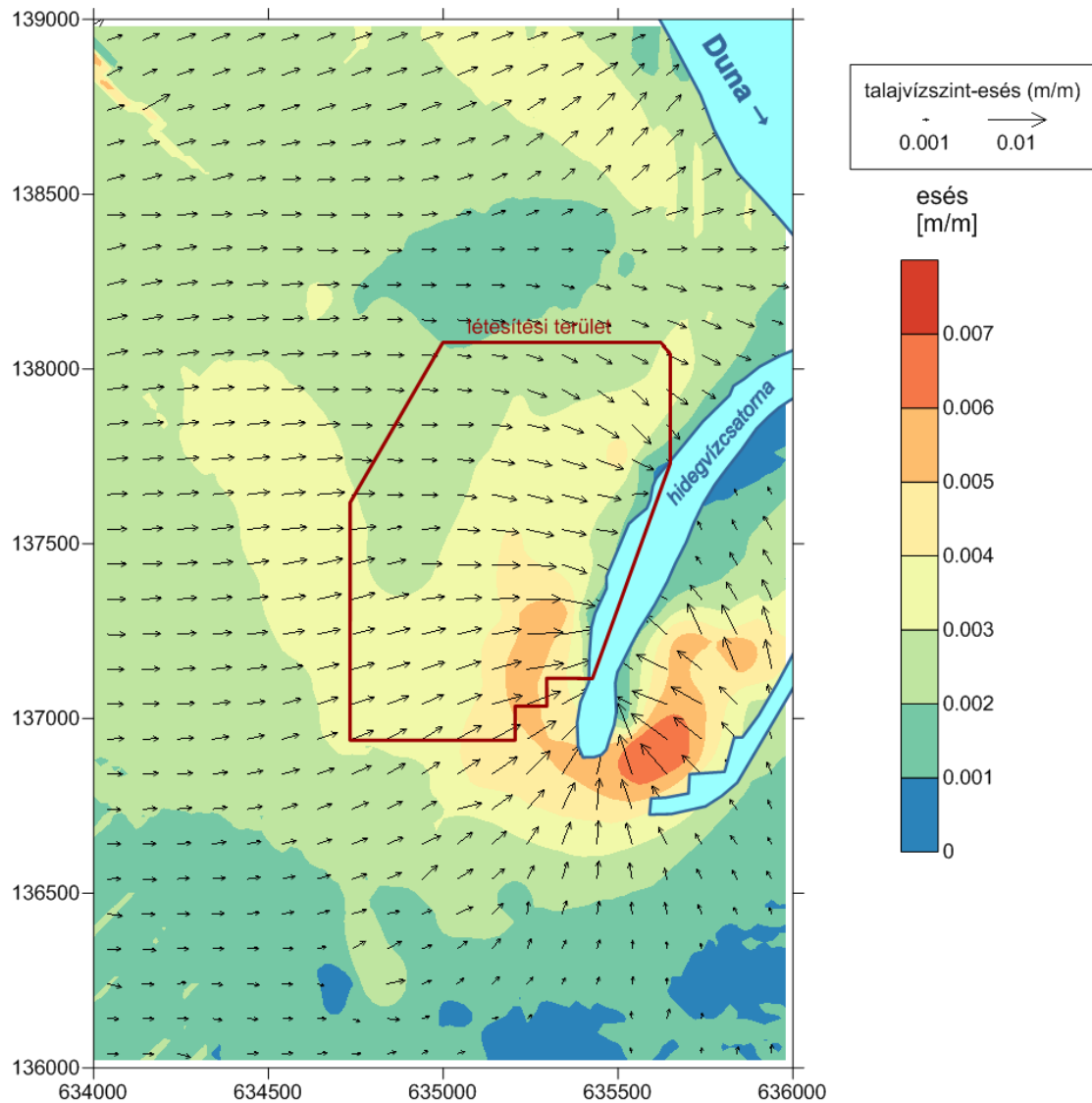
A Darcy-féle fluxus (szivárgási sebesség)

A Darcy-féle fluxust (\vec{v}) a Darcy-törvény alapján számolhatjuk:

$$\vec{v} = -K\nabla h \quad (5)$$

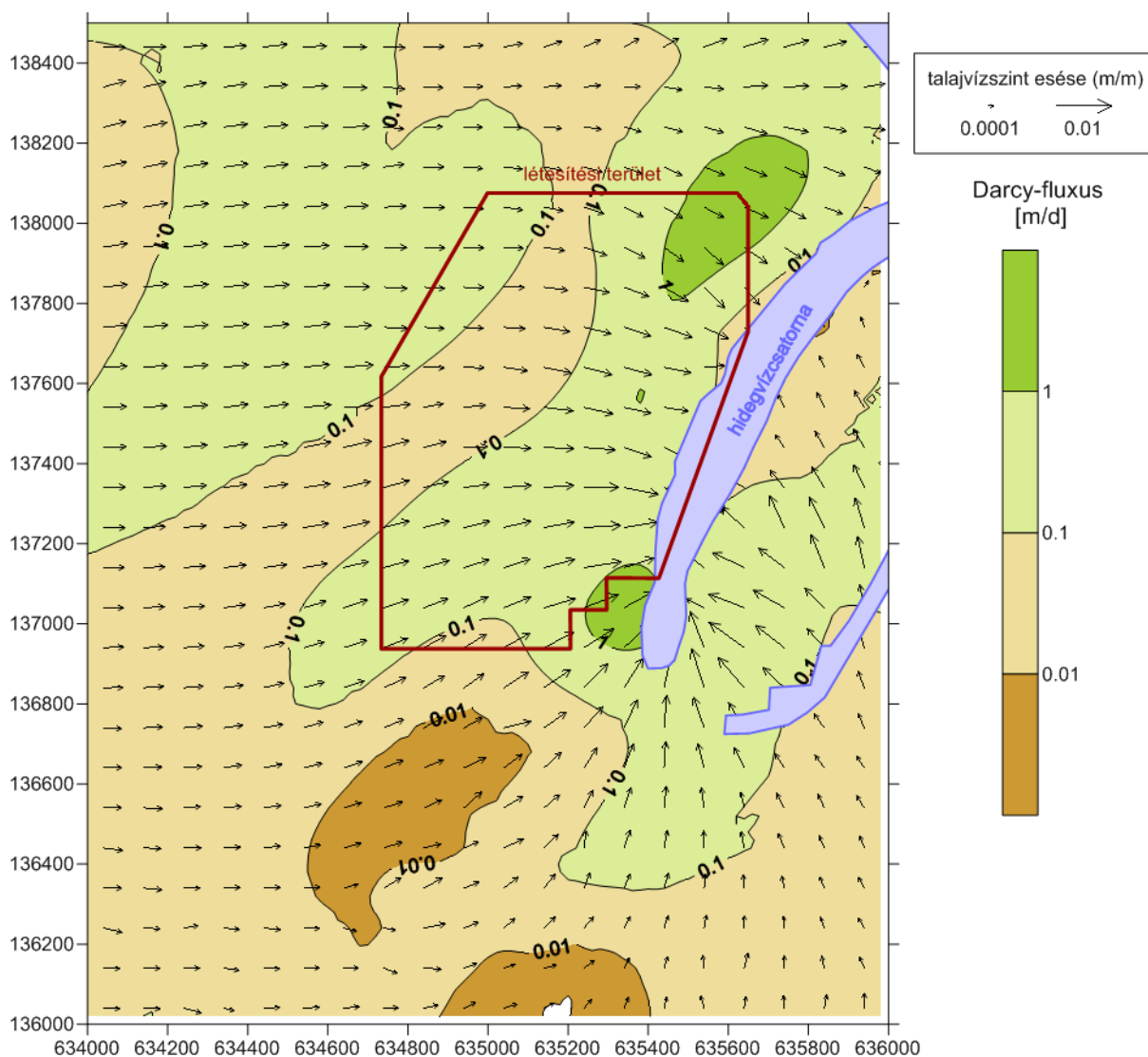
ahol K a szivárgási tényező tenzora, h a hidraulikus potenciál. Azaz a Darcy-féle fluxus értéke a szivárgási tényező és a hidraulikus potenciál negatív gradienseinek szorzata. A negatív előjel azt fejezi ki, hogy a vízmozgás a magasabb potenciálú (vízszintű) helyről az alacsonyabb potenciálú hely felé irányul. A hidraulikus potenciál negatív gradiensét hidraulikus esésnek is szokták hívni.

A hidraulikus esés nagyságát és irányát mutatja be a 400. ábra a 2016.03.30-i (86,20 mBf, Paksnál mért dunai vízszinthez tartozó) talajvízszintek alapján (a talajvízszint-domborzatot a 390. ábra szemlélteti). A telephelyen a hidraulikus esés nagysága 2–5% közötti értéket vesz fel, átlagos értéke 3% körül van. Iránya a Hidegvizes-csatorna felé mutat, attól távolodva jellemzően kelet felé.



400. ábra A hidraulikus esés nagysága és iránya a telephelyen (a 2016.03.30-i talajvízszintek alapján)

A hidraulikus esés és a szivárgási tényező szorzata adja a Darcy-fluxust, amelynek térbeli eloszlását a 401. ábra mutatja. Ez esetben a szivárgási tényező skaláris mennyiség, tehát a Darcy-fluxus iránya egybeesik a hidraulikus esés irányával. A Darcy-fluxus nagysága a létesítési területen kb. 0,1–1 m/d közé esik.



401. ábra A Darcy-fluxus abszolút értéke a kavicsteraszban és a talajvízszint-esés iránya (a 2016.03.30-i talajvízszintek alapján)

Az effektív porozitás

Mint azt a 3.3.4.5 pontban említettük, az effektív porozitás értékét a helyszíni nyomjelzéses vizsgálattal határozták meg. Az FKP keretében elvégzett nyomjelzéses vizsgálatok eredményei alapján az egyes helyszíneken érvényes effektív porozitás értékeket a 170. táblázat mutatja.

A diszperziós tényező

Szintén a 3.3.4.5 pontban leírtak szerint, a terepi nyomjelzéses vizsgálatok kiértékelése során meghatározták a longitudinális diszperziós értékek statisztikai jellemzőit a 169. táblázat foglalja össze. Az egyszerű lineáris diszperziós modell szerint az L áramlási úthosszra vonatkoztatott a_L/L relatív diszperziósértékek átlaga 2,7%, mediánja 2,2%.

A lineáris diszperziós modell szerint tehát – az átlagértékkel számolva – 500 m-es áramlási úthossz esetén a longitudinális diszperziós értéke 13,5 m.

3.3.4.5.3 *A numerikus modellszámítások fontosabb eredményei*

A vízföldtani modellt a 2016.01.08–2016.05.30. közötti időszakban mért talajvízszintek alapján kalibráltuk be, majd a modellt lefuttattuk a 2013. júniusi árvízi időszakra (2013.05.01–2013.07.20.). Ezen időszak számított talajvízszintjei alapján határoztuk meg a telephelyre érvényes maximális talajvízállást. Vizsgáltuk továbbá a nagyobb mértékű talajvíz utánpótlódás, és a megnövekedett vízkivétel hatását, egy-egy modellváltozattal.

A modell kalibrációja a 2016.01.08–2016.05.30. közötti időszakra

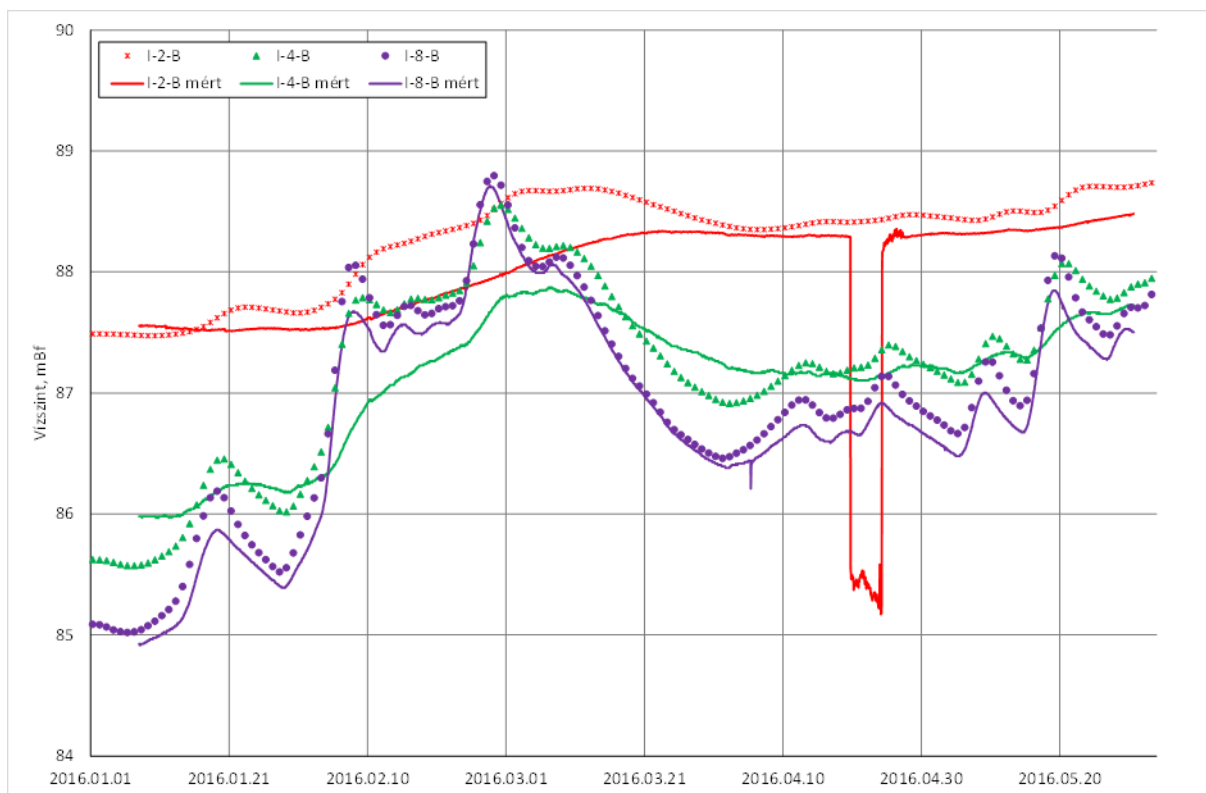
A modellt a 2016.01.08–2016.05.30. közötti időszakban mért talaj- és rétegvízszintek felhasználásával kalibráltuk, mivel erre az időszakra volt megfelelő mennyiségű és minőségű dunai vízállás, talajvízszint és rétegvízszint adatunk. A dunai vízállások óras gyakoriságban álltak rendelkezésünkre, míg a figyelőkutakban a talaj- ill. rétegvízszinteket 10 percenként mérték automatikus adatgyűjtővel.

A kalibráció során összehasonlítottuk a számított és mért talaj- és rétegvízszinteket, majd manuális adatbevitellel igény szerint módosítottuk az alábbi modellparamétereket:

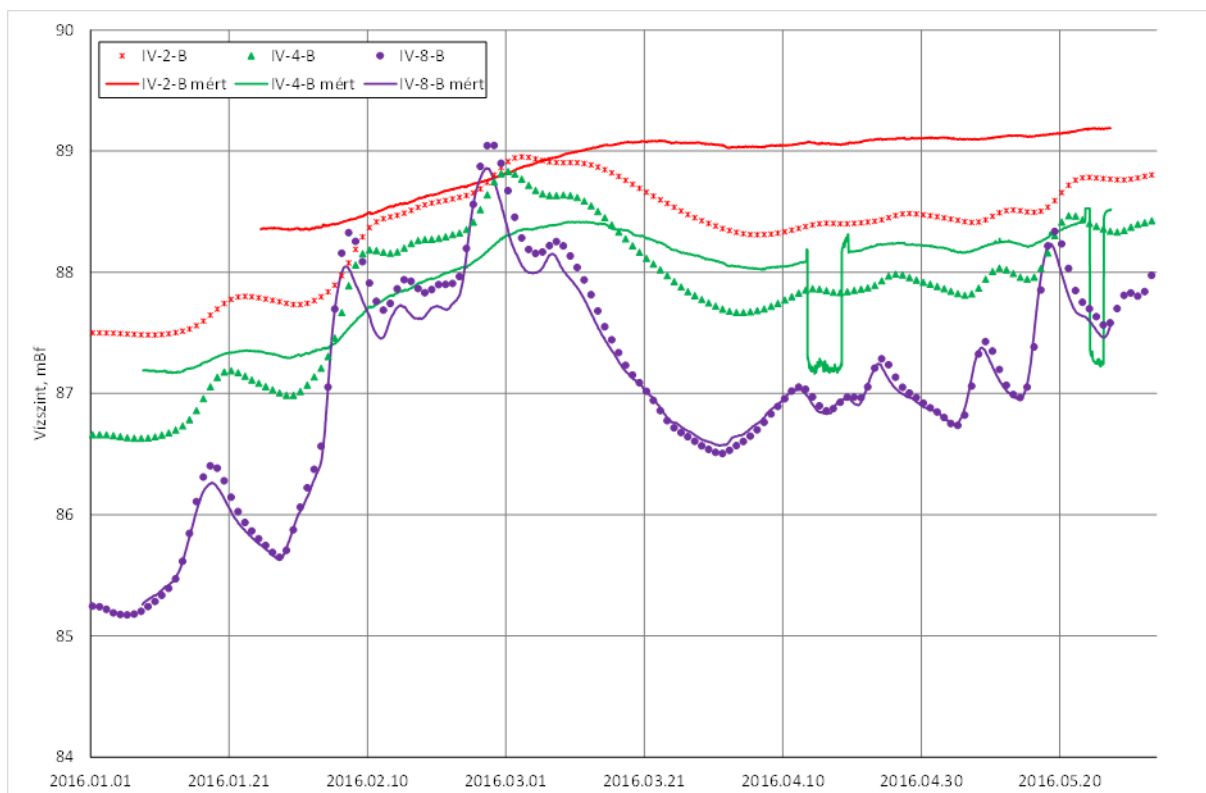
- az egyes modellrétegek szivárgási tényezője;
- a vetőzóna figyelembe vétele (a vetőzóna által érintett sávban megnöveltük az érintett rétegek vertikális szivárgási tényezőjét);
- beszivárgási intenzitás;
- a Duna mederellenállása;
- az oldalsó peremfeltételek súlya (a kvarter rétegekhez kapcsolódó peremek vízforgalmát korlátoztuk a harmadfajú peremfeltételhez kapcsolódó hidraulikus ellenállás változtatásával).

Az I-2-B, I-4-B és I-8-B talajvízkutak mért és számított idősorát mutatja be a 402. ábra. A folyóvízhez legközelebb eső I-8-B kút számított vízszintje néhány cm-rel a mért értékek fölött mozog, de a számított értékek jól követik a mért vízszintek változását. Az I-4-B kút számított vízszintje a nagyvízi időszakokban nagyobb amplitúdóval hullámzik, mint a mért idősor, a legnagyobb különbség a számított és mért értékek között eléri az 1 m-t. A kisvízi időszakokat a modell jól adja vissza. Az I-2-B kút már viszonylag távol van a folyótól (kb. 650 m távolságra), ezért a dunai vízállás ingadozása már csak nagyon áttételesen érvényesül (nagy késleltetéssel és kis amplitúdóval). A számított értékek a 2016. januári kisvízi időszakot leszámítva a mért értéke fölött futnak, a hiba nagysága egyes időszakokban – jellemzően árhullám esetén – eléri a 0,5 m-t.

A IV-2-B, IV-4-B és IV-8-B talajvízkutak esetén a számítási hiba tendenciája a folyótól távolodva megfordul (403. ábra), a távolabbi kutakban a mért értékek magasabbak, mint a számítottak (kivéve az árhullámok időszakát). A IV-8-B számított és mért értékének különbsége mindössze néhány cm, a modell jól követi a mért idősort. A IV-4-B kútnál a számított vízjáték némileg magasabb a mért értékeknél, és a modell a valóságosnál gyorsabban reagál a folyó vízszintváltozásaira. A IV-2-B kútra a modell a mértnél alacsonyabb vízszinteket számol, tulajdonképpen. a IV-2-B és IV-4-B kutak közötti hidraulikus esés számított értéke kisebb a valóságosnál.



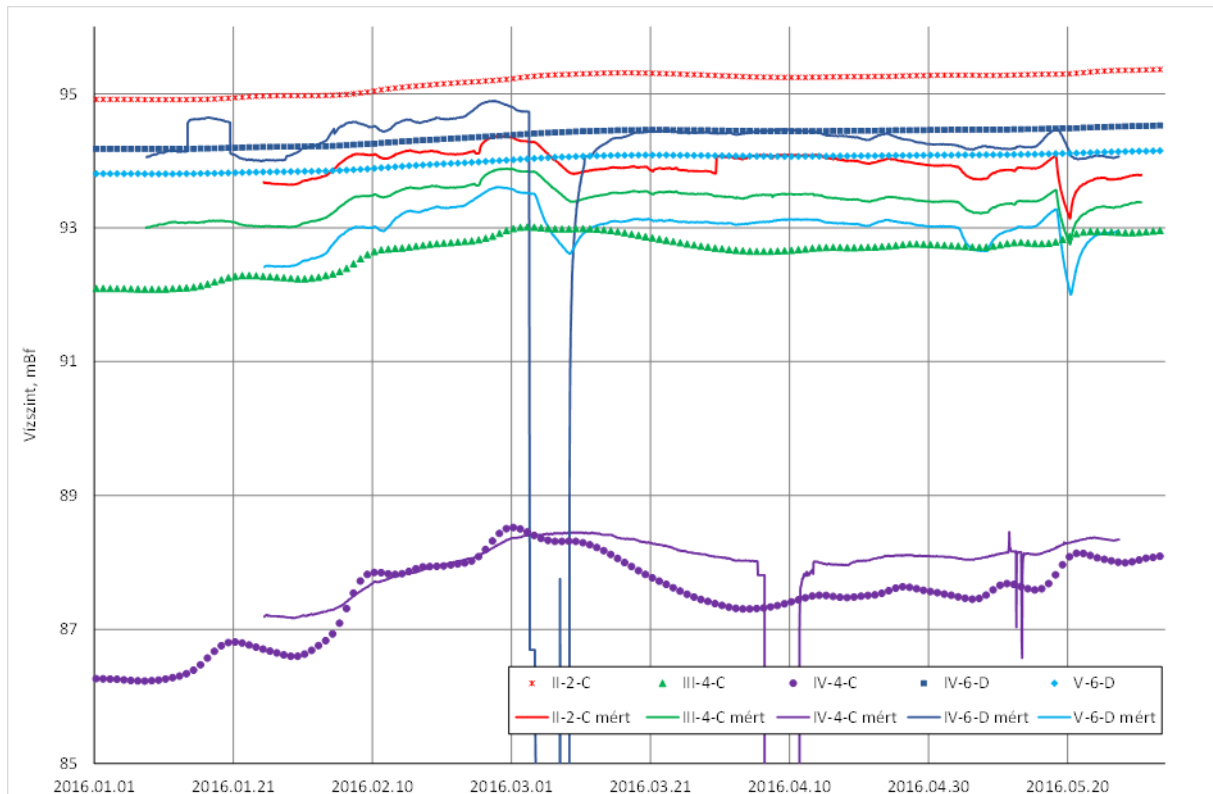
402. ábra Mért és számított vízszintek az I-2-B, I-4-B és I-8-B jelű kutakban



403. ábra Mért és számított vízszintek az IV-2-B, IV-4-B és IV-8-B jelű kutakban

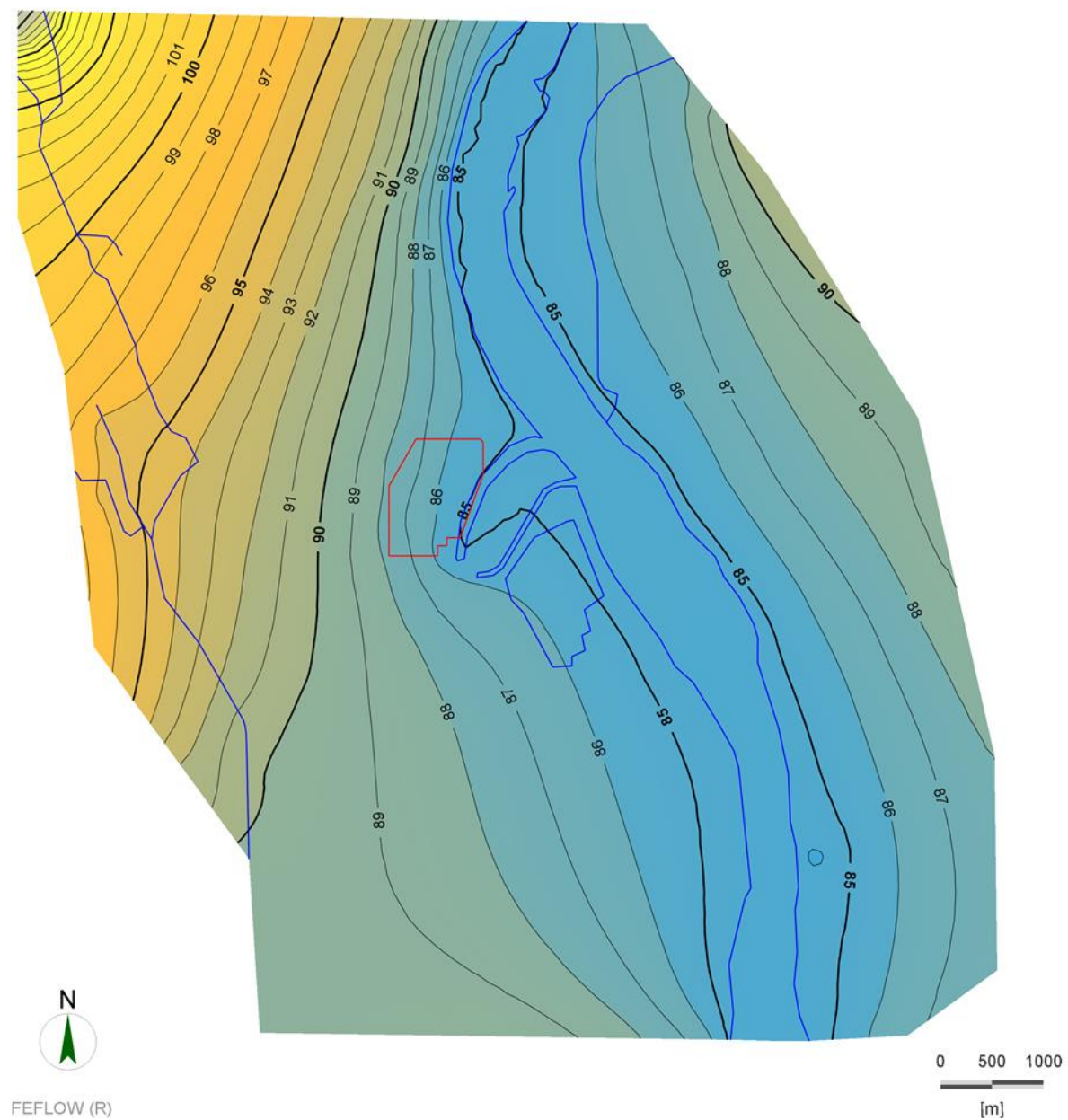
A rétegvízszintek közül a IV-4-C és IV-6-D kutakban mért értékeket nagyon jól közelíti a modell, a hiba 0,5 m-nél kisebb (404. ábra). A II-2-C, III-4-C és V-6-D kutak esetében a

hiba már nagyobb, eléri az 1 m-t is. A II-2-C és V-6-D kutaknál a számított értékek a magasabbak, a III-4-C kút esetében a mért értékek.

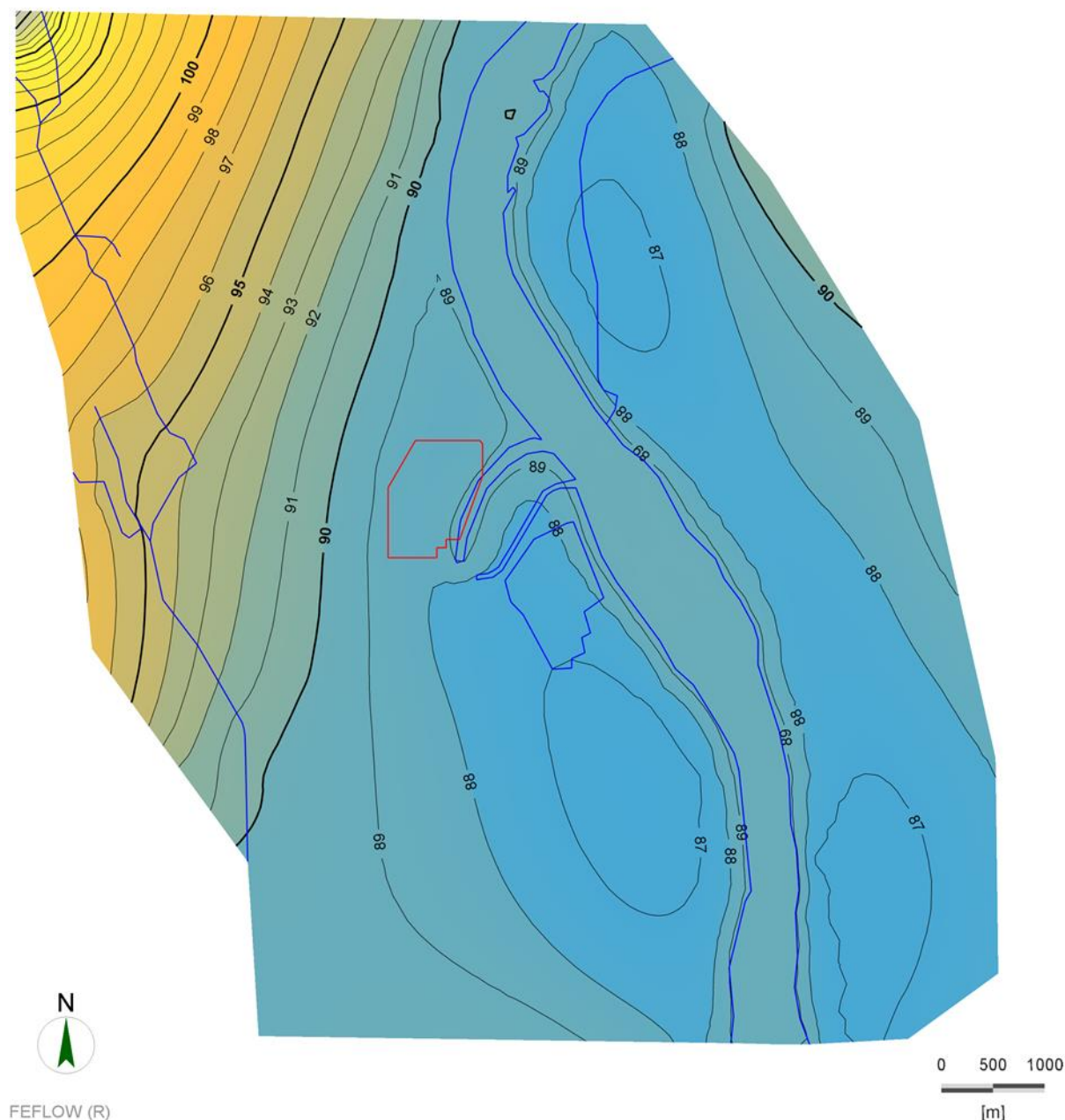


404. ábra Mért és számított vízszintek a II-2-C, III-4-C, IV-4-C, IV-6-D és V-6-D jelű kutakban

A kalibrált modell segítségével meghatároztuk a 2016. 01. 01-i kisvízi talajvízszint-eloszlást a telephelyi modell területére, ezt a 405. ábra mutatja be (84,92 mBf paksi vízszint). A 406. ábra mutatja be a 2016.02.26-i számított talajvízszint-eloszlást, amely egy árhullám tetőzése során kialakuló állapotot reprezentál (89,9 mBf paksi vízszint).



405. ábra Számított talajvízszint Paks vízmércén mért 84,92 mBf vízszint esetén (2016.01.01.)



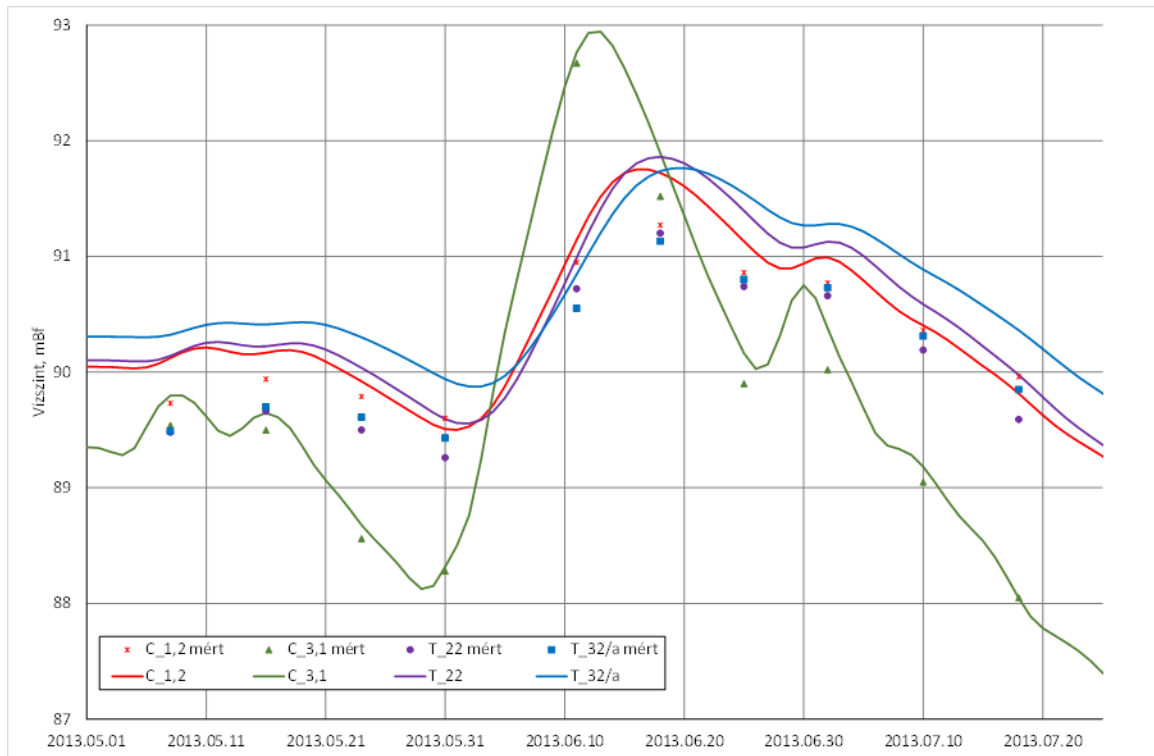
406. ábra Számított talajvízszint Paks vízmércén mért 89,9 mBf vízszint esetén (2016.02.26.)

A 2013. júniusi árhullám modellezése

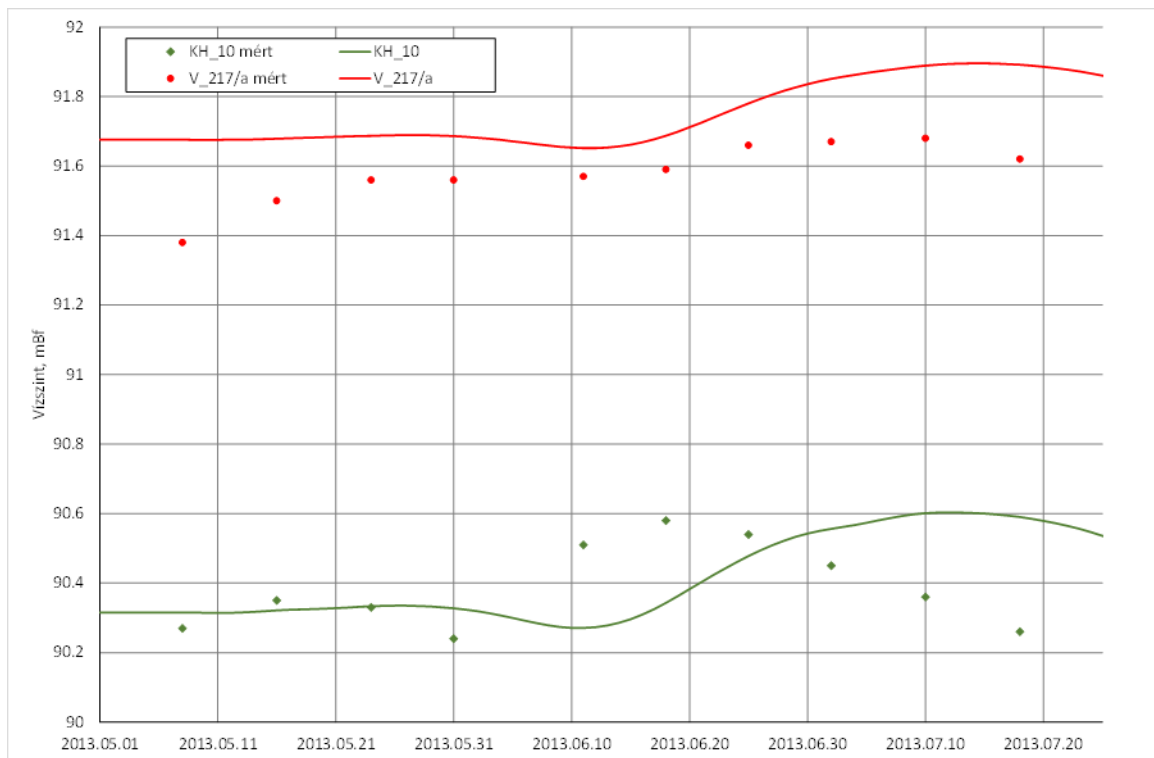
A kalibrált modell segítségével számításokat végeztünk a 2013 júniusában levonult dunai árhullám talajvízre gyakorolt hatásának vizsgálatára. A modellezett időszak kezdete 2013.05.01., vége 2013.07.31.

Mért talajvízszintként ezen időszakra csak az FKP-t megelőző kutatási programok során létesített monitoringkutakban heti gyakorisággal mért adatok álltak rendelkezésünkre, ami kutanként 11 adatot jelent.

A mért és számított talajvízszinteket a 407. ábra és a 408. ábra szemlélteti. A figyelembe vett kutak helyét a 409. ábra mutatja.



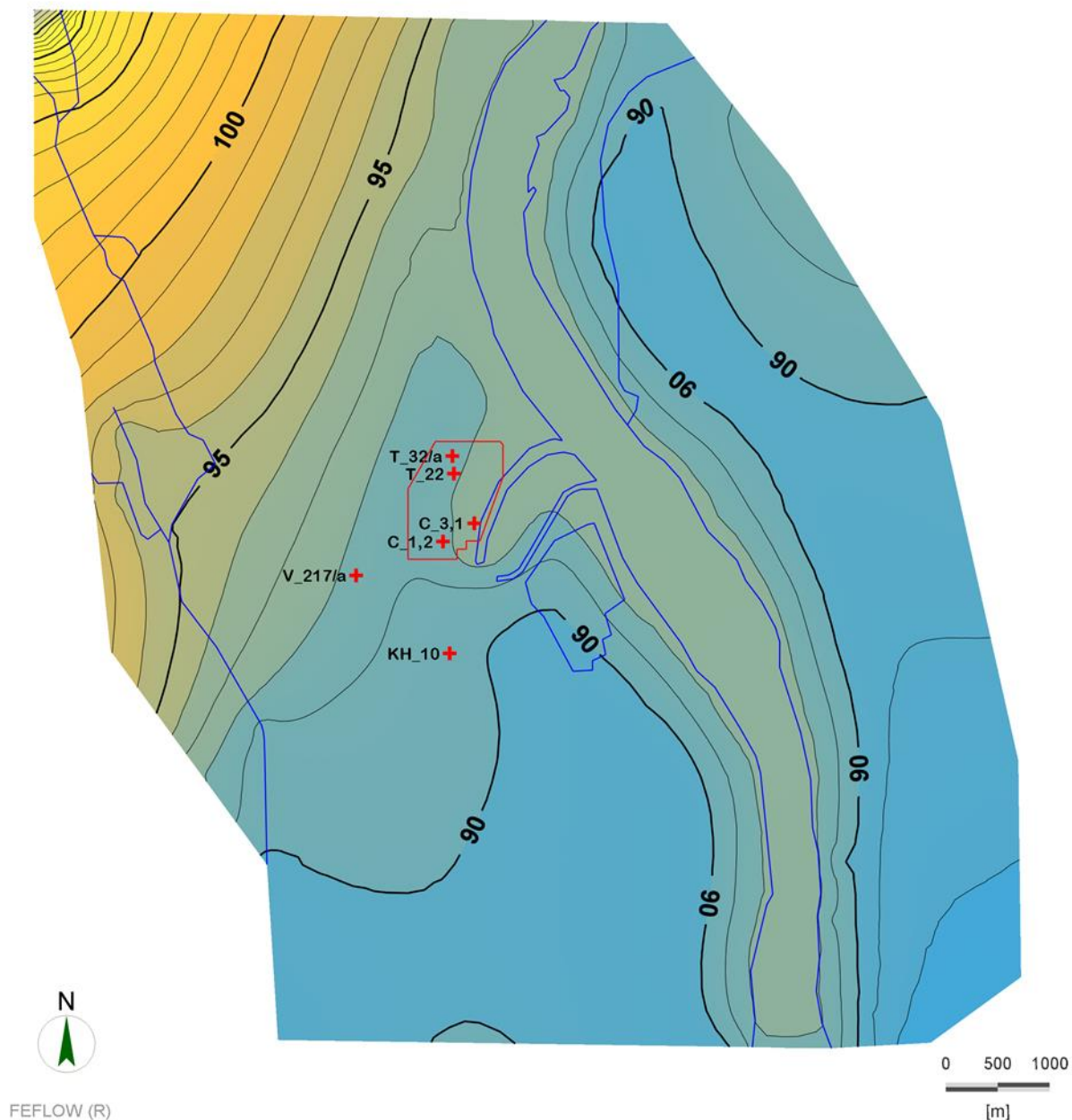
407. ábra Mért és számított talajvízszintek a C1,2; C3,1; T22 és T32/a kutakban a 2013. júniusi árhullám idején



408. ábra Mért és számított talajvízszintek a K10 és V217/a jelű kutakban a 2013. júniusi árhullám idején

A vízfolyáshoz közeli kutak (C1,2; C3,1; T22 és T32/a) vízszintjét a modell megfelelő pontossággal (0,5 m-e belül) képezi le, a számítási hiba elsődleges oka a kezdeti feltételek meghatározásának bizonytalansága. A távolabbi kutak (K10 és V217/a) esetében a hiba jellemzően 0,2 m-nél kisebb, a számított görbék némi késéssel reagálnak az árhullámra.

A 409. ábra mutatja be a 2013. júniusi árvíz során kialakult legmagasabb modellezett talajvízszint térbeli eloszlását.

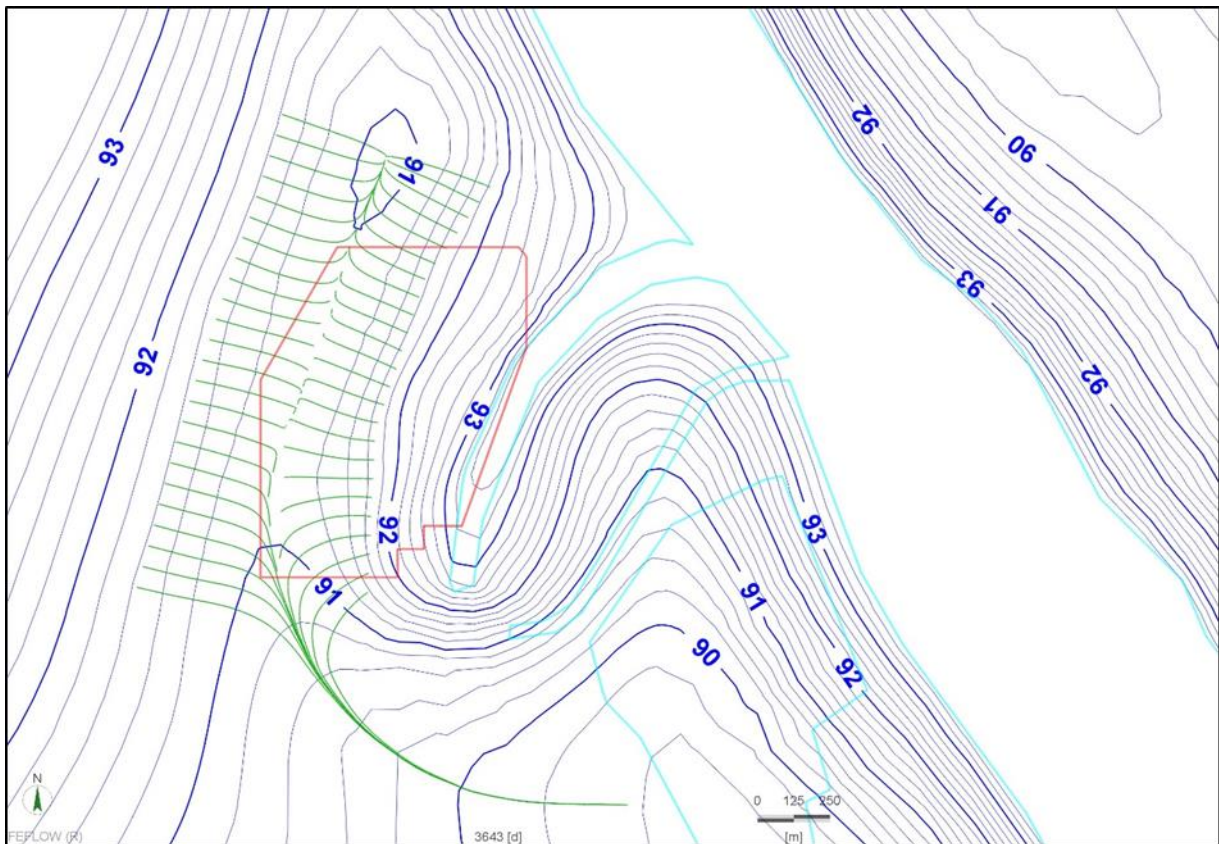


409. ábra A 2013. júniusi árvíz során kialakult legmagasabb modellezett talajvízszintek

talajvízszint: mBf, piros kereszt: kiértékelésnél figyelembevett kutak, piros vonal: létesítési terület

A vízföldtani modell segítségével meghatározható a Duna hidrodinamikai hatásterülete. A 410. ábra bemutatja a telephelyen, az eddig észlelt legmagasabb jégmentes dunai vízállás (2013.06.11-én) által meghatározott, számított talajvízszinteket. A Duna hatásterületét a telephely területéről, illetve a létesítési területtől nyugatra, az árhullám által már nem befolyásolt területről indított árapályákkal határoztuk meg. Az árapályák vagy a létesítési területtől északra létrejött pangó vizű talajvízminimum, vagy a modell déli peremének irányába fordulnak el, követve a talajvízszint esésvonalát. Az árapályákon látható éles törésvonalakat képzeletben összekötve kirajzolódik a Duna (illetve a létesítési terület esetében

a Hidegvizes-csatorna) hidrodinamikai hatástávolsága. Az ábráról leolvasva a hatástávolság kb. 600 m-re tehető.

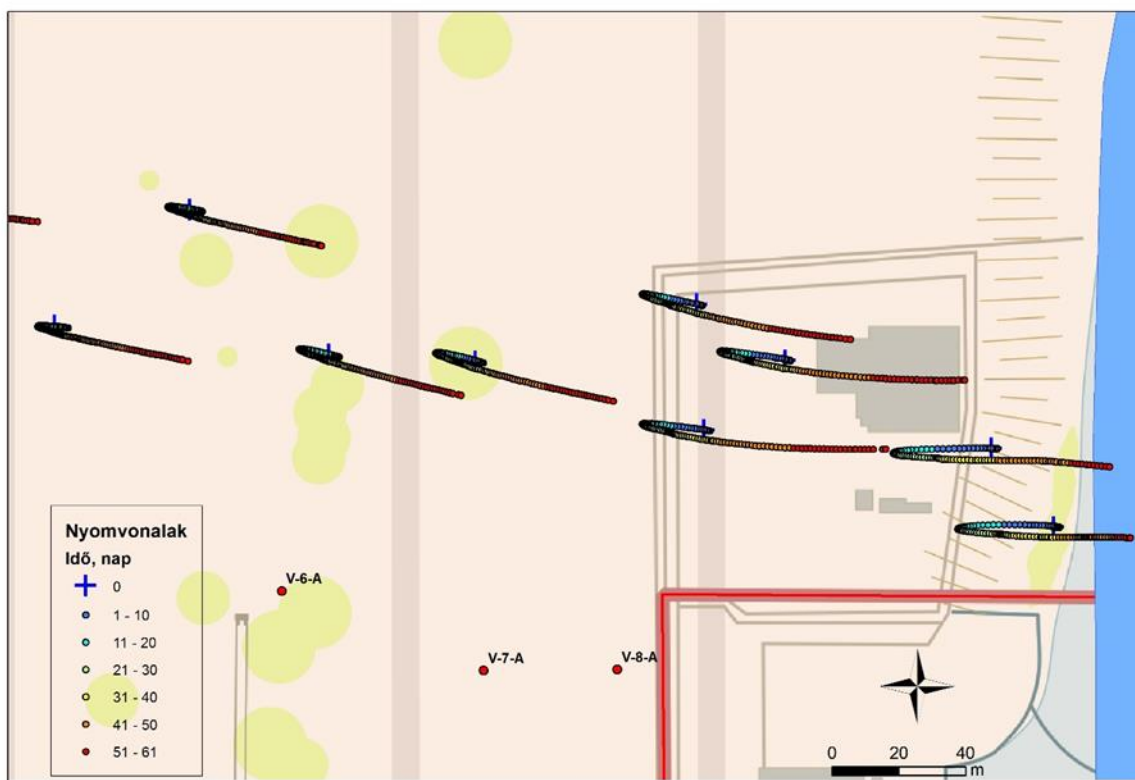


410. ábra A Duna hidrodinamikai hatásterületének meghatározása a telephelyen nagyvízi időszakban, árampályák alapján

sötétkék vonalak és feliratok: számított talajvízszint (mBf), piros vonal: létesítési terület, világoskék vonal: felszíni víztest határa, zöld vonal: árampálya

A Duna hatástávolsága folyószakaszonként változó, nagymértékben függ a helyi hidrológiai adottságoktól. A Duna bal partján például, az erőművel szemközti oldalon a hatástávolság 800–900 m. Az erőműtől délre, a jobb parton a hatástávolság szintén kb. 800 m.

A hidrodinamikai hatástávolságnál lényegesen kisebb a részecsketranszport szempontjából mértékadó transzport-hatástávolság, amely azt mutatja meg, hogy a vízfolyások mellett milyen szélességű sávban történik tényleges anyagátadás. Ez a sáv a Hidegvizes-csatorna esetében – a modellszámítások alapján – mintegy 50 m-re tehető (411. ábra), amely kb. egy nagyságrenddel kisebb érték, mint a hidrodinamikai hatástávolság. Ez a különbség érthető lesz, ha meggondoljuk, hogy a hidrodinamikai hatástávolság az impulzustranszport hatására jellemző érték, amely lényegesen gyorsabb folyamat a részecsketranszportnál.



411. ábra A telephelyi vízföldtani modell által a 2013. júniusi árhullámra számított nyomvonalak

A modellszámítások eredményei alapján meghatározhatjuk az eddigi maximális talajvízszintet a létesítési területen, amely a terület nyugati szélén 91,0 mBf-re tehető, míg a keleti oldalon, a Hidegvizes-csatorna mentén kb. 93,1 mBf. A talajvízszint természetesen függ a folyón levonuló árhullám víztömegétől is, hiszen kisebb tömegű, gyorsan levonuló árhullám kisebb területen eredményez talajvízszint-emelkedést, mint egy nagyobb tömegű, időben elnyújtott árhullám.

Paks II. létesítéskor megnövekedett vízkivétel hatásának vizsgálata

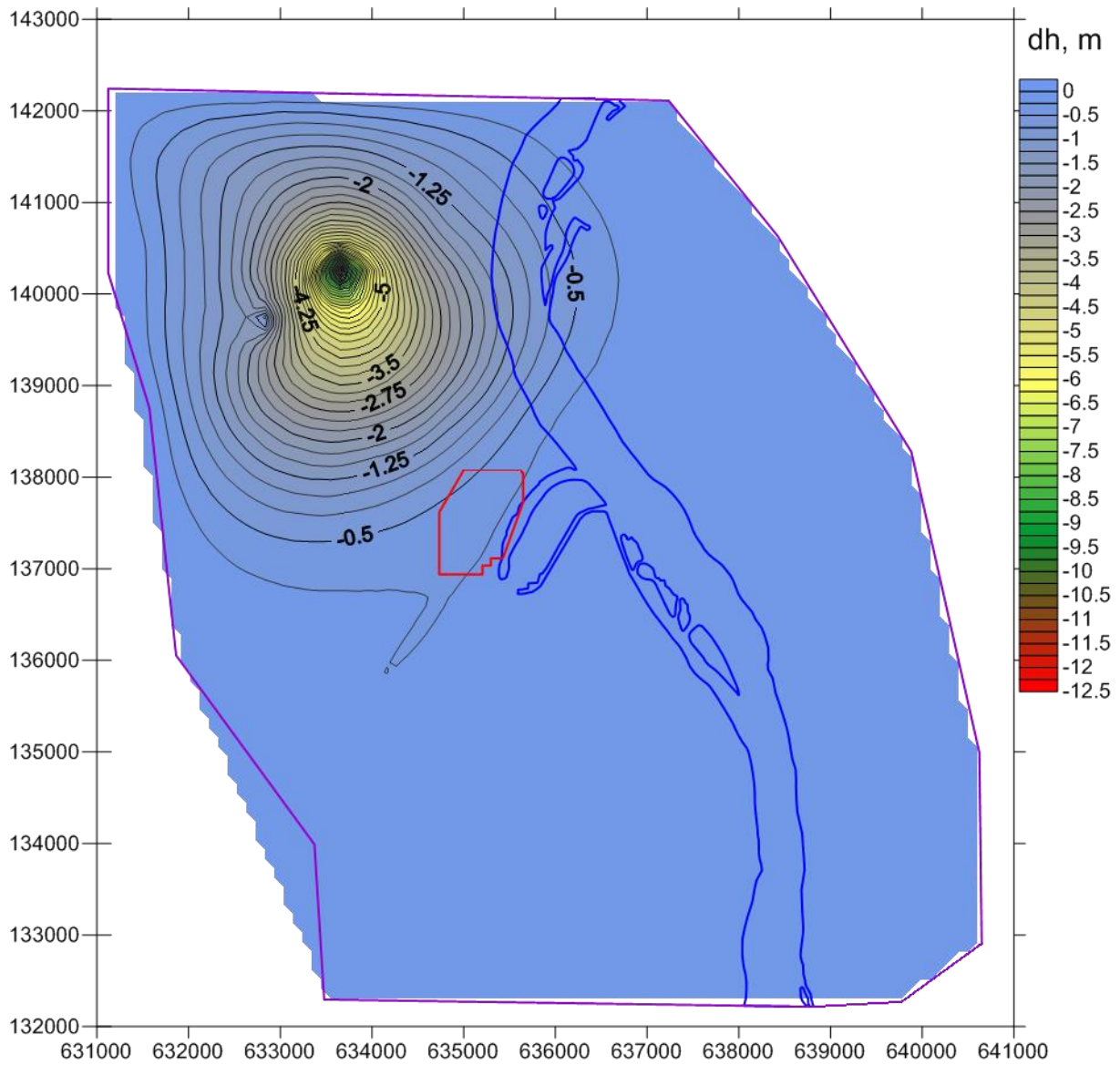
A Paks II beruházásával járó megnövekedett vízigényt és az új és régi blokkok együttes üzeme alatt fellépő vízigényt a Paksi vízmű valamint a Csámpai vízmű kutak megemelt kitermelésével tervezik biztosítani [308]. Modellfuttatást végeztünk a megnövelt vízkivétel hatásának vizsgálatára, amely a Paksi vízmű kutak esetén 7000 m³/nap, a Csámpai kutak esetén 2300 m³/nap maximális vízkitermelést jelent (172. táblázat).

172. táblázat Paks II beruházás várható megnövekedett vízigénye

VIFIR kód	Település	Helyi név	Q ₂₀₁₃ 10 ³ m ³ /év	Q _{max} 10 ³ m ³ /év
k020590066	Foktő	4/b sz. kút Vm.	676,7	676,7
k160260124	Paks	Dorogi út III/8.	67,7	135,3
k160260123	Paks	Dorogi út III/6.	211,9	423,8
k160260118	Paks	Dorogi út III/4.	64,2	128,3
k160260076	Paks	Borsócséplő III. k	3,2	6,3

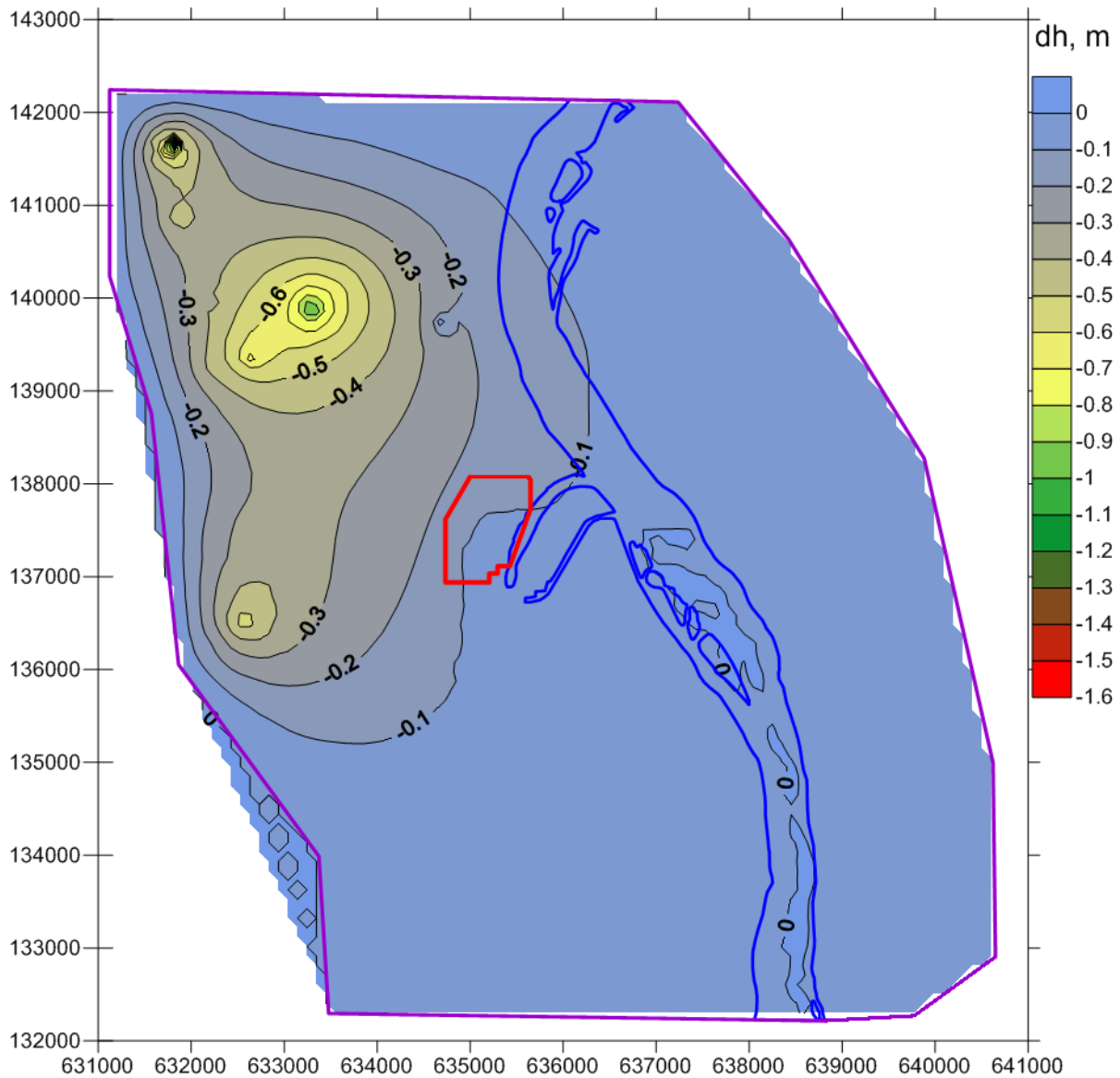
VIFIR kód	Település	Helyi név	Q ₂₀₁₃ 10 ³ m ³ /év	Q _{max} 10 ³ m ³ /év
k160260122	Paks	Dorogi út III/5.	253,9	507,9
k160260133	Paks	Dorogi út III/9a	79,4	158,9
e160260006	Paks	Nagyvízi mederben kút nem ivóvíz	0,5	1,0
k020590067	Foktő	Pannon Növényolajgyártó Kft. 1.sz.	331,5	331,5
k020590046	Foktő	Vm. 9/a.sz. kút	1241,5	1241,5
k020550034	Uszód	Kistersegi Vm. 11.sz.	42,0	42,0
k020550036	Uszód	Kalocsa Foktői reg. vm. Bara 12.sz.	19,9	19,9
k160260145	Paks	Pav III/9.kút 0181/1hrsz	60,6	187,3
k160260144	Paks	Pav III/8.kút 0187/4 hrsz	101,5	313,5
k160260078	Paks	Pav II/2.kút	37,8	116,6
k160260131	Paks	Pav II/6.kút	71,9	222,1
k020550015	Uszód	Egyetértés Tsz. Főmajor	1,2	1,2
k160260126	Paks	Dorogi út III/11.	221,8	443,7
k160260129	Paks	Pozitív termálkút OGYFI gyógyvíz	4,9	4,9
k160260116	Paks	Dorogi út III/2.	38,9	77,8
k160260073	Paks	Dorogi út III/1.	157,6	315,2
k160260125	Paks	Dorogi út III/10.	168,3	336,6

A Paks városi vízmű és a Paks-Csámpa-pusztai vízbázis kútjaiban várható maximális vízkivétel (Q_{max}) hatását vizsgáltuk alacsony Duna vízállás esetén egy külön modellváltozatban. A 2013-as víztermelési adatokkal futtatott modellváltozattal összevetve kiszámítottuk a modellterületen a potenciálkülönbségeket ($dh = h_{Q_{max}} - h_{Q_{2013}}$) az egyes modellrétegekre. A legnagyobb különbség a 19. modellrétegen, a felső- pannóniai agyagos, rossz vízvezető részén áll elő, amely a létesítési terület alatt a -100 mBf szinten települ (412. ábra). A 413. ábra a kvarter alsó felületére számított potenciálkülönbség-eloszlást ábrázolja. Látható, hogy a kutak környezetére korlátozódik a megnövelt vízkivétel hatása, a tervezett létesítési területen maximum 50 cm-es a depresszió a felső- pannóniai rétegben és 15 cm a kvarter fekjén.



412. ábra Potenciálkülönbség (dh) eloszlás a megnövekedett vízkivétel hatására a felső pannonban

lila vonal – telephelyi modell pereme, piros vonal – létesítési terület



413. ábra Potenciálkülönbség (dh) eloszlás a megnövekedett vízkivétel hatására a kvarter fekűn

lila vonal – telephelyi modell pereme, piros vonal – létesítési terület

A beszivárgási intenzitás bizonytalanságának vizsgálata

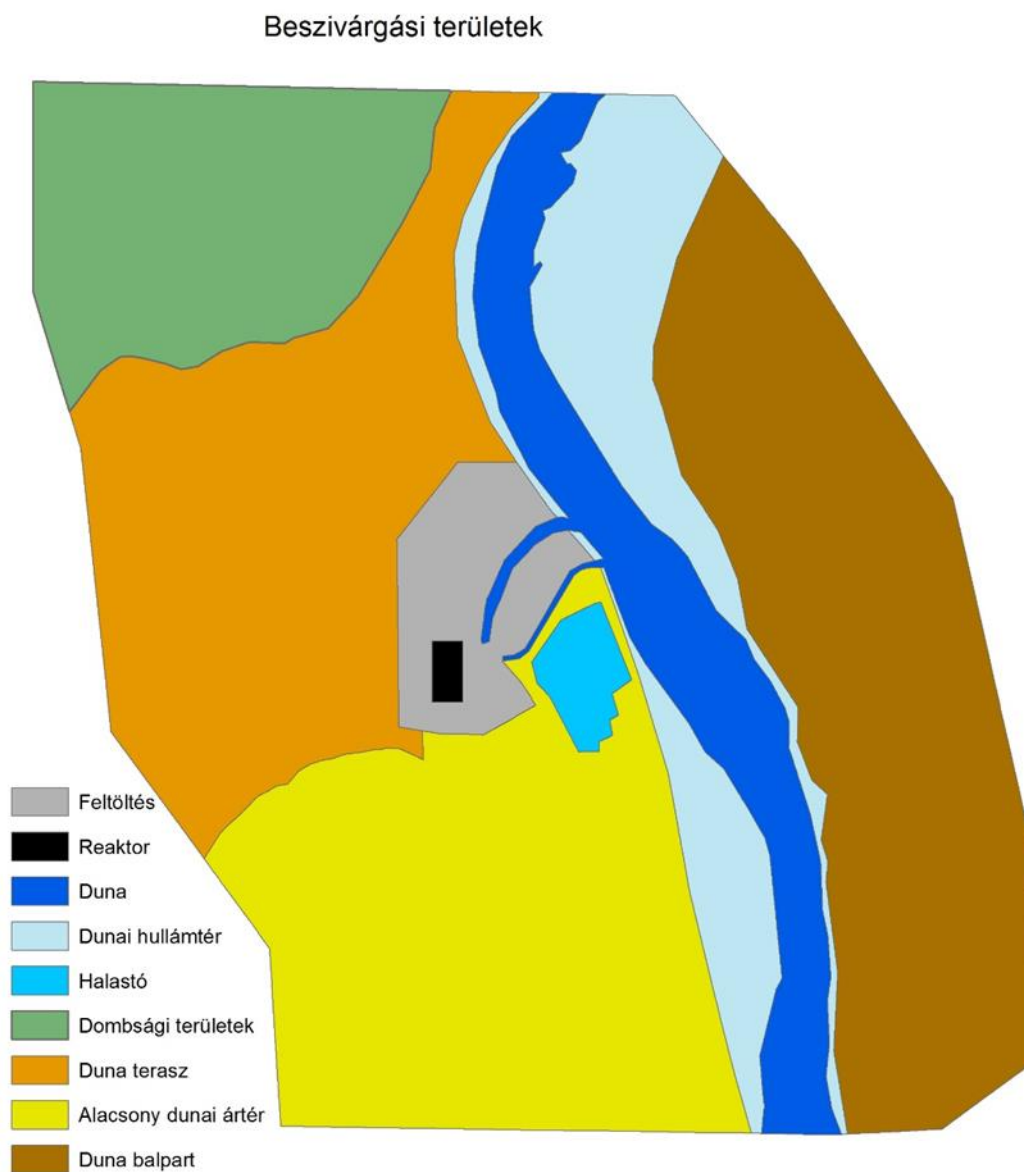
Vizsgáltuk a telephelyi modell érzékenységét a beszivárgás intenzitás változtatására. A 3.3.5.1.4.2. pontban ismertetett talajvízháztartási modell bizonytalanságai miatt a beszivárgási intenzitás helyi értékét a telephelyi vízföldtani modellezés során egy „mérsékelt” és egy „intenzív” beszivárgásra jellemző értéktartományban vettük fel. A szélső értékeket az

173. táblázat sorolja fel.

173. táblázat Modellszámításnál alkalmazott effektív beszivárgási intenzitás értékek mérsékelt és intenzív beszivárgás esetén

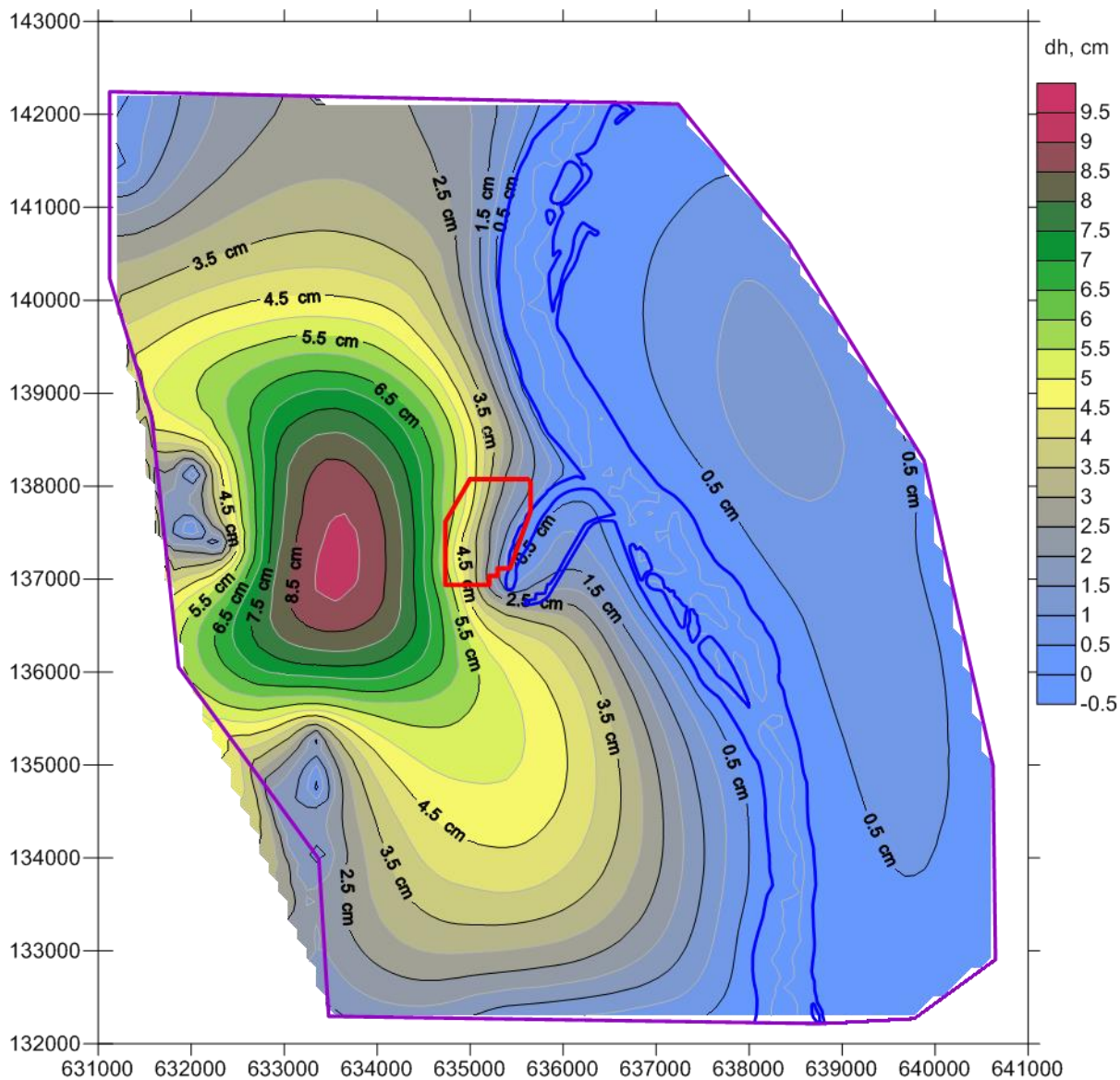
Terület	Mérsékelt beszivárgás	Intenzív beszivárgás
	mm/a	
Létesítési terület, feltöltés	30	60
Dombsági területek	100	100
Duna terasz	50	80
Alacsony dunai ártér	10	20
Duna balpart	5	10
Duna, Reaktor	0	0

A telephelyi vízföldtani modellben alkalmazott beszivárgási zónákat a 414. ábra mutatja be.



414. ábra Beszivárgási területek a telephelyi modell területén

Az 415. ábra a két modellváltozattal számított talajvízszintek különbségét mutatja be. Megfigyelhető, hogy a létesítési területen a Duna és a Hidegvizes-csatorna hatása a modellezett talajvízszintekre jelentősebb, mint a beszivárgás megnövekedésének hatása, így a talajvízszintek különbsége maximum 5,5 cm. Figyelemre méltó, hogy a kétszeres beszivárgás is legfeljebb 10 cm talajvízszint-emelkedést okoz a modellezett területen.



415. ábra Intenzív és mérsékelt beszivárgás értékkel számított talajvízszintek különbsége

3.4 A telephely tektonikai és földrengés-veszélyeztetettségének meghatározása

3.4.1 Neotektonikai analízis eredményei

Az alábbi fejezet a kutatási terület neotektonikai analízisének eredményeit önállóan ismerteti, tekintettel arra, hogy ezek az eredmények az FKP szempontjából kiemelkedő jelentőségűek. A következőkben bemutatott kutatási eredmények kulcsfontosságúak a tervezett telephely és közvetlen környezete tektonikai stabilitásának és földrengés-veszélyeztetettségének megítélése szempontjából.

A neotektonikus szerkezetalakulás alatt a vizsgált terület fejlődéstörténetének utolsó szakaszát értjük, amely regionális léptékben a Pannon-medence szerkezeti inverziójához köthető. A tágabb geodinamikai kontextust tekintve a kelet-kárpáti ív mentén a szubdukció hátragördülése ekkor már nem volt tovább lehetséges, ugyanakkor az Adriai-lemez dél felőli nyomása folytatódott [15]. Mindez kinematikai szempontból egyre inkább a megelőző transztenziós/extenziós feszültségtér (3.1.1.5.2 fejezet) eltolódásos, illetve kompressziós jellegűvé válásához vezetett [141] [81] [54]. Ennek következtében a neotektonikus szerkezetalakulás alapvető jelentőségű szerkezeti megnyilvánulását képezik a regionális skálájú oldalelmozdulások (D8), amelyek a pannóniai rétegeket is harántoló virágszerkezetként ismerhetők fel a szeizmikus szelvényeken.

A neotektonikai szakasz kezdete időben nem definiálható egyetlen, határozott időponttal, mert a medence inverziója délnyugaton hamarabb — mintegy 8 millió éve — indult meg, és ezt követően fokozatosan terjedt ki északias irányba [361]. Regionális léptékben a neotektonikus fejlődési szakasz fő megnyilvánulása bizonyos területek (pl. mai szigetegységeink) kiemelkedése és lepusztulása, valamint más medencéreszek (pl. alföldi mélyzónák) gyors süllyedése és feltöltődése volt. A kiemelkedő területeken (pl. Közép-magyarországi Szerkezeti Zóna sekélyebb részein és a paksi kutatási területen is) a lepusztulás következtében jelentős rétegtani hiány alakult ki a pannóniai és a negyedidőszaki képződmények között (177. ábra).

Az alábbi elemzés először a kutatási terület neotektonikus vetőképét és kinematikai értelmezését tárgyalja. Ezt követően a tervezett telephelyen és annak szűkebb környezetében elvégzett vetőkutatás releváns eredményei, majd pedig a kutatási területen megismert további neotektonikus események/jelenségek kerülnek bemutatásra. Az elemzés egyúttal magába foglalja a fentiekben tárgyalt események/jelenségek és a 3D földtani-tektonikai modell alapján bemutatott mélyföldtani felépítés (3.1.1.4. és 3.1.1.5. fejezetek) kapcsolatának analízisét is.

3.4.1.1 A kutatási terület neotektonikus vetőképe és kinematikai elemzése

A kutatási területen azonosított és a 3D földtani-tektonikai modell részét képező legfontosabb vetőket, illetve vetőrendszereket a 3.1.1.5.1. fejezet, míg ezek valószínűsíthető kinematikáját az egyes szerkezetalakulási szakaszokban a 3.1.1.5.2. fejezet ismerteti. A következőkben az FKP szempontjából meghatározó neotektonikus szakasz vetőképe és kinematikai értelmezése kerül bemutatásra.

Neotektonikus vetőnek azon vetőket nevezzük, amelyek a rendelkezésre álló 2D és 3D szeizmikus adatrendszerekben regionálisan térképezett legmagasabb helyzetű földtani

horizontot, az Algyő-tetőt, is átmetszik (3.1.1.5.1. fejezet). Ebből következően a neotektonikus vetőkép elemzésében mindenekelőtt az Algyő-tető és a negyedidőszaki képződmények talpának (5 és 6 jelű geológiai horizontok: 1. (178. ábra) mélységtérképeire lehet támaszkodni (1. és 2. mellékletek). Az utóbbi esetében az ábrázolt vetők nem metszik át a negyedidőszaki képződmények talpának horizontját, hanem — összhangban a korábbi, a „Duna-” jelű nagyfelbontású víziszizmikus szelvények kapcsán tett megállapításokkal [15] — addig, vagy annak közeléig hatolnak fel (3.1.1.5.1 fejezet). A lefolytatott kutatás tapasztalatai szerint a kvarter összlet tektonikus érintettségét csak kombinált speciális vizsgálatokkal (S-hullám reflexiós szeizmika, nagyfelbontású elektromos tomográfia (MUEL), sekélyfúrások, árkolás) lehet kielégítően alátámasztani/elvetni, amelyek kivitelezésére az FKP keretén belül korlátozott területi kiterjedésben — mindenekelőtt a tervezett telephely szűkebb környezetében — került sor (3.4.1.2 fejezet).

Az FKP keretében számos mérést végeztek a jelenkori feszültségtér vizsgálata céljából, amelynek ismerete alapvető fontosságú a neotektonikus vetőkép kinematikai elemzéséhez. A tervezett telephely és környezetének jellemző primer feszültségviszonyait Lenkey-Bógér [190] munkája tárgyalja a mérési adatok feldolgozása és szakirodalmi anyagok felhasználása alapján. Az egyik legfontosabb új adatrendszert a Golder Associates által — a hidraulikus rétegrepesztéses módszer alkalmazásával — elvégzett recens feszültség-meghatározások eredményei jelentik [13] [61] [11] [59] [60] [12]. E mérésekből a minimális vízszintes főfeszültség (S_h) nagysága közvetlenül adódik, míg iránya a mérést kiegészítő lyukfallékepező karotázs szelvényeken látható repedésrendszer orientációja alapján jelölhető ki. A maximális vízszintes főfeszültség (S_H) iránya merőleges a meghatározott S_h irányra, magnitúdója pedig közetfizikai mérésekkel meghatározott paraméterek alapján számítással becsülhető. A PAET-26, -27, -29, -34, -35 fúrásokban, több mélységben is elvégzett feszültség-meghatározások eredményei alapján a maximális vízszintes főfeszültség (S_H) átlagosan kb. N30° helyzetű. A meghatározott maximális vízszintes főfeszültség iránya jó egyezést mutat más módszerekkel (lyukfal kipergés – borehole breakout [BO], fúrás által indukált repedés – drilling induced fracture [DIF]) meghatározott főfeszültség irányokkal is [190], továbbá ugyancsak összhangban van a kutatási területre korábbi mérések [70] simító szűrésével és extrapolációjával kapott generalizált S_H iránnyal [16]. A feszültség-meghatározások adatait kombinálva a litosztatikai terhelésből adódó értékekkel (S_v) a recens feszültségtér eltolódásos jellege adódott, tehát σ_1 és σ_3 főfeszültségek a vízszintes síkban vannak, míg σ_2 függőleges helyzetű.

A meghatározott átlagos iránytól (N30°) azonban vannak eltérések: a PAET-35 fúrásban például a DIF repedések irányítottsága alapján meghatározott S_H irány N57°, míg a PAET-29 fúrásban a BO módszerrel meghatározott S_H irány N172°. Ez a változékonyság összefüggésben lehet a kutatási területen jelenlévő gyengült zónákból (vetőzónák) adódó feszültségtér inhomogenitásokkal.

A kinematikai elemzésben a meghatározott recens főfeszültség irányok állandósága megalapozottan feltételezhető a teljes neotektonikus szakasz során [15], hiszen ez egyrészt összhangban áll a fentebb rövideen vázolt geodinamikai képpel, másrészt nem áll rendelkezésre ennek ellenkezőjére utaló adat. A kinematikai rekonstrukció során az eltolódási zónákban kialakuló vetőkép általános, elvi sémáját [130] vizsgálták a jelenkori feszültségtérhez orientáltan, ami lehetővé tette a különböző irányítottságú főbb vető(zóná)k kinematikájának első közelítésben történő értelmezését. Ennek ismertetése előtt azonban hangsúlyozni kell az alábbiakat:

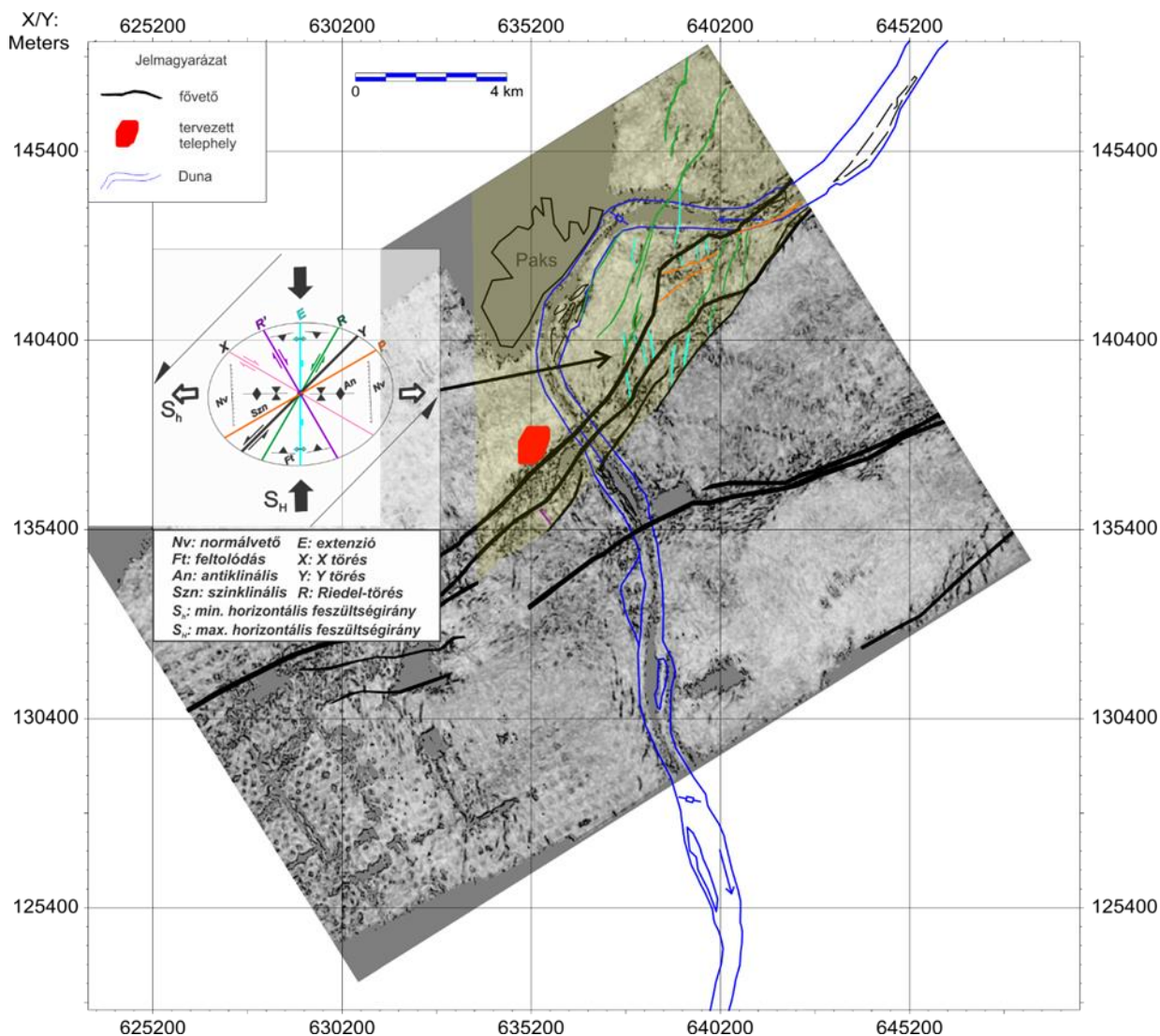
- – A kutatás tapasztalatai szerint a neotektonikus vető(zóná)k uralkodóan korábban keletkezett vető(zóná)k felújulásával jöttek létre (3.1.1.5.1 fejezet, illetve 14, 15, 18

és 21 melléklet) ami kisebb-nagyobb eltéréseket generálhat az elvileg elvárható kinematikai képtől, hiszen például egy markáns korábbi gyengeségi zóna mentén intenzívebb deformáció mehet végbe annál, mint ami az elvi kép alapján várható.

- – A feszültségtér lokális változásai — ami részben épp a megelőző fázisokban létrejött szerkezetekhez kapcsolódhat — ugyancsak befolyásolhatták a kialakuló végső vetőképet. E lokális inhomogenitásokat illusztrálják az előzőekben ismertetett recens feszültségtér meghatározások eredményei.

A kutatási területen észlelt, uralkodóan ÉK–DNy-i, illetve KÉK–NyDNy-i csapású vetők a fentebb tárgyalt feszültségtérben balos eltolódásként működtek, amely alapvető kinematikai jelleget az említett feszültségtér inhomogenitások lényegileg nem befolyásolják, azaz ezek a vetők a feszültségtér kisebb rotációja mellett is alapvetően balos eltolódásos jellegűek. Az eltolódásos jelleg jó összhangban van a szeizmikus szelvényeken megfigyelhető szerkezeti jellegekkel (3.1.1.5.1 fejezet), hiszen mind a (keleti) Kapos-vonal, mind a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna, illetve a Bonyhádi-medence vetőrendszere igen markáns virágszerkezetként jelentkezik. A térképi nézetben megfigyelhető fonatos, hajladozó geometria, melyhez számos kulisszás elrendeződésű segédtörés is csatlakozik (lásd 14-24. melléklet), ugyancsak az eltolódásos kinematikát támasztja alá. A megfigyelések alapján a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna a Kapos-vonal keleti részével egyenrangú neotektonikus szerkezetet alkot a tervezett telephely környezetében.

A Paks 3D szeizmikus adataiból számított koherencia-tömb adott időhorizontnál készített metszetei és a 3D szeizmikus adattömb integrált értelmezése alapján a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna belső szerkezetét kb. É–D-i, illetve ÉÉK–DDNy-i irányú, hajladozó lefutású, csak nagyon rövid távolságra követhető, másodrendű vetőszegmensek uralják (416. ábra). Ugyanilyen irányítottágú kisebb törések a zónához északról csatlakozóan is jelentős számban észlelhetők. Ezek Hancock, P. L. [130] elvi sémájában antitetikus Riedel-töréseknek (R'), illetve extenziós töréseknek adódnának a regionálisan jellemző feszültségtér orientációjának (S_H : 30–210°) figyelembevételével. Ugyanakkor e kisebb vetők jellegzetes rajzolata alapján úgy véljük, hogy azok inkább segítő Riedel-töréseket (ÉÉK–DDNy-i csapású vetőszegmensek), illetve húzásos vetőket (É–D-i vetőszegmensek) alkotnak, míg a kevés KÉK–NyDNy-i csapású vető P-törésként értelmezhető, ami szerkezetföldtani-közetmechanikai szempontból is realiztikusabbnak tekinthető.



416. ábra A Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna belső szerkezetének és közvetlen környezetének kinematikai értelmezése

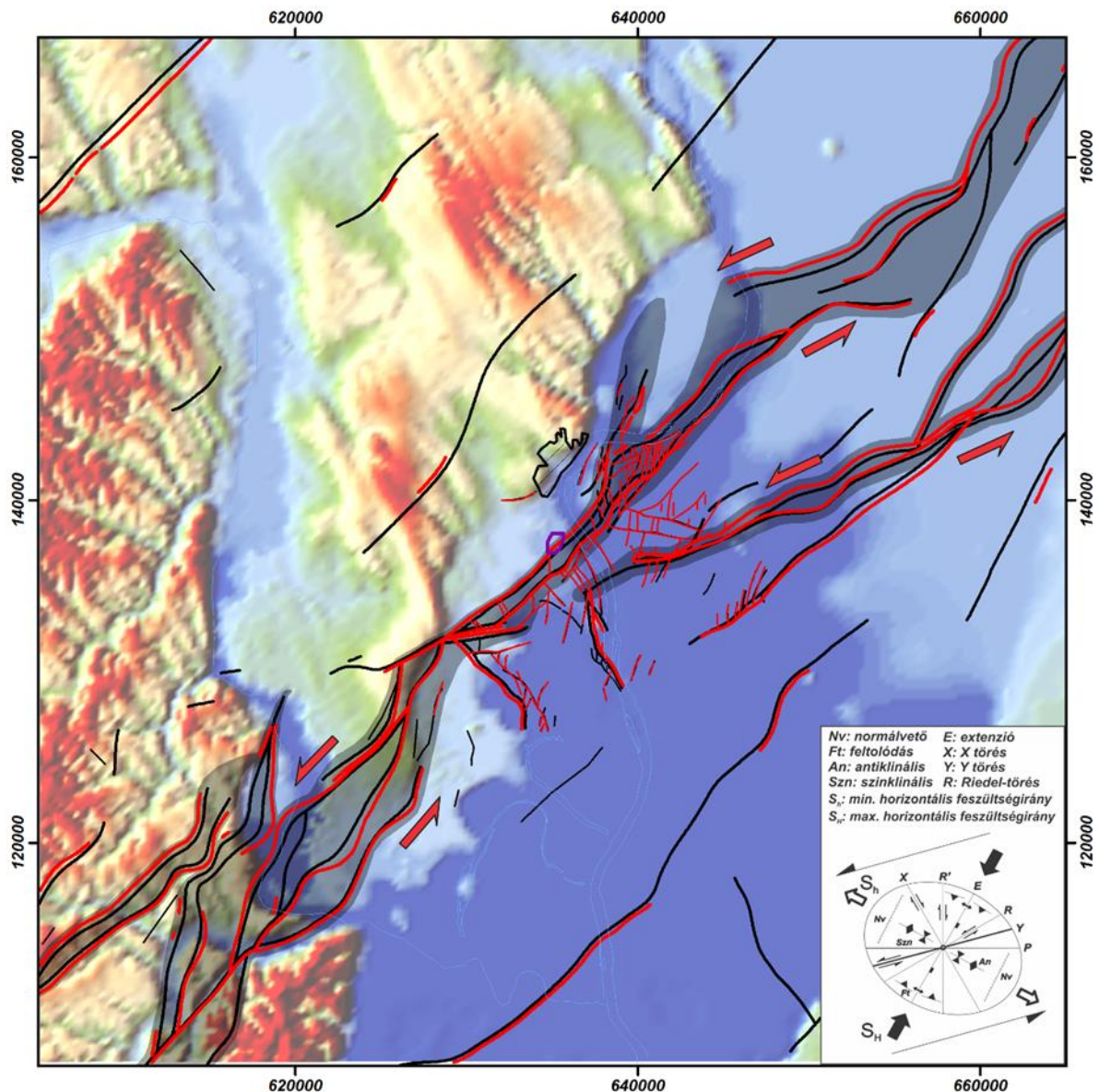
Az eltolódási zónákban kialakuló vetőkép elvi sémája Hancock, P. L. [130] alapján a Paks 3D szeizmikus adataiból számított koherencia-tömb Algyő-tető horizontnál vett metszetén.

Más szóval: az S_H feszültségtrajektóriák ebben a vetőzónában, és annak közvetlen környezetében mintegy 30°-kal eltérhetnek a regionálisan jellemző feszültségtér kb. 30–210° SH irányától (416. ábra). Mindez összhangban áll a megfigyelt és fentebb bemutatott lokális feszültségtér inhomogenitásokkal (l. PAET–29 fúrás). A vetőmintázat megfigyelt jellegzetességei alapján hasonló helyzet tételezhető fel a Bonyhádi-medence déli mestervetőjének (Bonyhádi-törés) és csatlakozó vetőrendszerének esetében is.

Az egyes vetők mentén, illetve vetőzónákban megfigyelt neotektonikus deformáció-intenzitás alapján a kutatási terület összképében egyértelműen meghatározó elemek a Kaposvonal keleti ága, a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna és a Bonyhádi-medence vetőrendszere. Ezek együttesen egy regionális skálájú, nagyjából ÉK–DNy-i irányú balos eltolódásos övet körvonalaznak (417. ábra). Az elvégzett geodinamikai modellszámítások eredményei alapján e meghatározó vetőrendszerek mentén a tektonikai stabilitást 100 000 éves időskálán (10-5 valószínűségi szinten) vizsgálva megállapítható, hogy az említett vetőrendszerek felújulása ezen időintervallumban nem zárható ki (sőt az idő előrehaladtával egyre növekvő

valószínűségű esemény), bár a vetőreaktiváció elvi valószínűsége még így is csak a közepes kategóriába esik a felállított ötfokozatú skálán az adott határfeltételek mellett (3.4.2. fejezet).

A kutatási területen azonosított jelentősebb vetők/vetőzónák többsége ezen meghatározó rendszerrel kb. párhuzamos irányú (pl. Mecsekalja-öv, Németskéri-magaslat északi és déli peremvetői), illetve ehhez a regionális rendszerhez kis szöggel csatlakozik. A csak ritkábban előforduló, és kisebb jelentőségű ÉÉNy–DDK-i irányítottaságú vetőrendszerek (pl. F_3D_SW vetőcsoport) ebben a rendszerben ún. X-törésként (esetleg antitetikus Riedel-törésként) értelmezhetők, melyek mentén kisebb mértékű jobbos eltolódás ment végbe, ami összhangban áll a szeizmikus szelvényeken észlelt tipikus virágszerkezetükkel.



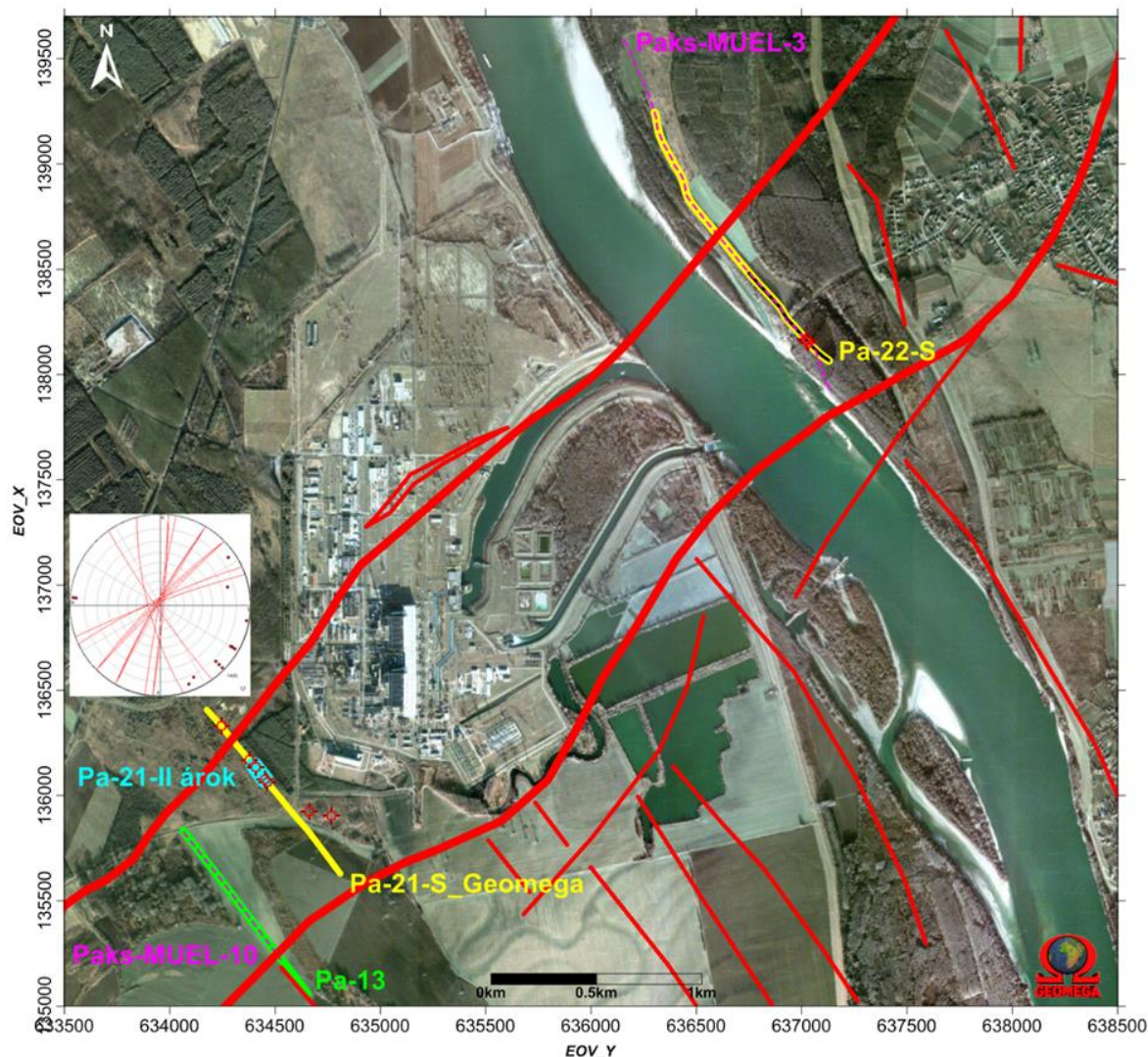
417. ábra A kutatási terület meghatározó neotektonikus vetőzónáinak (szürke kiemelés) áttekintése

Piros vonalak: a pannóniai/kvarter határig, illetve annak közelébe hatoló vetők, fekete vonalak: az Algyői Formáció tetejét átmetsző vetők. Háttér: a kutatási terület digitális terepmodellje. Lila poligon: tervezett telephely (középen). Jobb sarokban: az eltolódási zónákban kialakuló vetőkép elvi sémája [130] a regionális feszültségtér orientációjának figyelembevételével.

3.4.1.2 Negyedidőszaki vetőaktivitás a tervezett telephely környezetében

Az FKP keretében elvégzett földtani-geofizikai vizsgálatok egyik legalapvetőbb kérdését az jelentette, hogy a neotektonikus aktivitást mutató vetők vajon felhatolnak-e a negyedidőszaki rétegekbe, és ha igen, ott milyen deformációt idéztek elő. A neotektonikus vetők közül is értelemszerűen kiemelkedő jelentőségű a tervezett telephely délkeleti része alatt, valamint annak déli előterében húzódó, az előzőekben részletesen bemutatott **Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna** (3.1.1.5.1 és 3.4.1.1 fejezetek), amely neotektonikai aktivitásának pontos ismerete a tervezett telephely szűkebb környezetének földrengés-veszélyeztetettségének és tektonikai stabilitásának megítélése szempontjából alapvető fontosságú.

Az FKP keretében elvégzett földtani-geofizikai kutatás tapasztalatai alapján világossá vált, hogy a kvarter összlet tektonikus érintettsége csak speciális vizsgálatok kombinációja által vizsgálható kellő hatékonysággal és megbízhatósággal. A Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna belső szerkezetének és neotektonikai aktivitásának részletes vizsgálatára ezért számos nagyfelbontású felszíni geofizikai-geológiai módszer együttes alkalmazásával (2D P- és S-hullám reflexiós szeizmikus szelvények, nagyfelbontású elektromos tomográfia (MUEL), pszeudo-3D vízi szeizmikus mérések, sekélyfúrások és árkolás) került sor a tervezett telephelyen és annak szűkebb környezetében. A továbbiakban ezen vizsgálatok a kutatás szempontjából releváns eredményei kerülnek összegzésre, amely a mérési eredmények integrált értékelését és főként a vetőzóna felszínközeli viselkedésének bemutatását foglalja magába. Az ismertetett mérések helyszínét és neotektonikus szerkezeti kontextusát a 418. ábra mutatja be. A geofizikai méréseket és azok eredményeit részletesen Tóth T. [353] jelentése, míg a PA-21-II jelű kutatóárok földtani-szerkezeti észleléseit a 3.1.2.3 fejezet ismerteti.



418. ábra A tervezett telephely és szűkebb környezetének neotektonikus szerkezeti elemei és a jelen fejezetben tárgyalt földtani-geofizikai vizsgálatok áttekintése

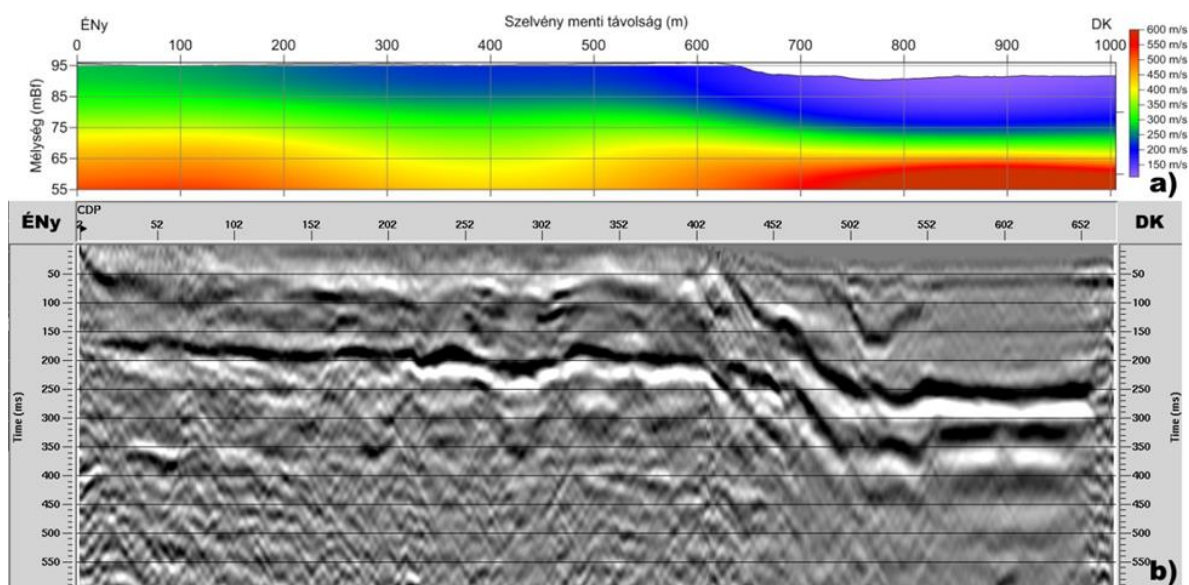
Piros vonalak: a korábbi és az FKP keretében mért 2D és 3D szeizmikus adatrendszerek integrált értelmezése alapján meghatározott vetők/vetőszezmensek a negyedidőszaki fekü horizontján; a vastag piros vonal a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna határait jelöli. Piros poligon a tervezett telephelyen belül az FKP keretében elvégzett földtani-geofizikai vizsgálatok integrált értelmezése alapján meghatározott vető felszíni vetületét jelöli. Bal oldalon: a Pa-21-II kutatóárokban észlelt szerkezeti elemek sztreogramja. Piros körök: vetőkutató sekélyfúrások. Háttér: Google légifénykép

Az FKP keretében **2D P- és S-hullám reflexiós szeizmikus szelvények** és a Paks 3D szeizmikus adattömb eredményeinek integrált értelmezése alapján a megelőző kutatások során csak 2D szeizmikus szelvények alapján ismert Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna helyzete és geometriája tisztázódott. Az integrált értelmezés eredményei alapján egyértelművé vált, hogy a vetőzóna a tervezett telephely délkeleti része alatt, valamint annak déli előterében halad át (416. ábra 417. ábra 418. ábra, 14, 15. mellékletek), továbbá az új 2D szelvények rávilágítottak a zóna belső szerkezetének csapás menti változékonyságára is [175]. E szelvények elemzése azt is egyértelművé tette, hogy a pannóniai rétegekben észlelt vetők a teljes pannóniai összletet harántolják [175], azaz egészen a kvarter-pannóniai diszkordancia felületig hatolnak. Ennek fényében különösen fontos volt e vetőzóna neotektonikai aktivitásának pontos kronológiai meghatározása. A 2D reflexiós szeizmikus mérések közül e

szempontból kiemelkedő jelentőségük az S-hullám szelvények, mert ezek — a P-hullám szelvényekkel szemben — a negyedidőszaki összetétel is megfelelő minőségben képezték le. Az S-hullám reflexiók szeizmikus szelvények a nagyfelbontású 2D P-hullám reflexiók szeizmikus szelvények azon szakaszain kerültek kijelölésre, amelyeken a leképezett legfiatalabb rétegeket is harántoló vetők voltak azonosíthatók [353].

A Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna neotektonikai aktivitásának pontosabb korolása szempontjából kulcsfontosságúnak bizonyult a tervezett telephely közvetlen délnyugati szomszédságában mért, ÉNy–DK-i irányú Pa-21-S-Geomega jelű szelvény (418. ábra). E szelvény előzetes szerkezeti értelmezése [353] alapján kerültek kijelölésre a szelvény nyomvonalában (illetve annak közelében) mélyült Pa-21- jelű vetőkutató sekélyfúrások, valamint ezek eredményét is figyelembe véve a Pa-21-I és Pa-21-II kutatóárok (3.1.2.3. fejezet). A lemélyült Pa-21- sekélyfúrások rétegsorában mind a lyukgeofizikai mérések, mind a maganyag értékelése a negyedidőszaki fekü határát is érintő tektonikus hatást jeleztek, amelyet a Pa-21-B fúrásban a negyedidőszak bázisát képező Tengelici Formációban észlelt eltolódásos vetőfelület közvetlenül igazolt is. A Pa-21-S-Geomega szelvény középső részén telepített Pa-21-II kutatóárokban (420. ábra) a földtani analógiák és a rendelkezésre álló radiokarbon kormeghatározások (3.1.2.3. fejezet) alapján késő-pleisztocénnak besorolható futóhomokban szeizmotektonikus eredetű szerkezeteket, köztük homokinjekciókkal kísért töréseket/hasadékokat és oldalelmozdulásos vetőzónákat azonosítottak és dokumentáltak (3.1.2.3. fejezet). E szerkezetek azokon a helyszíneken jelentek meg a kutatóárokban, ahol az előzetes szeizmikus értelmezés vetőket jelzett [353].

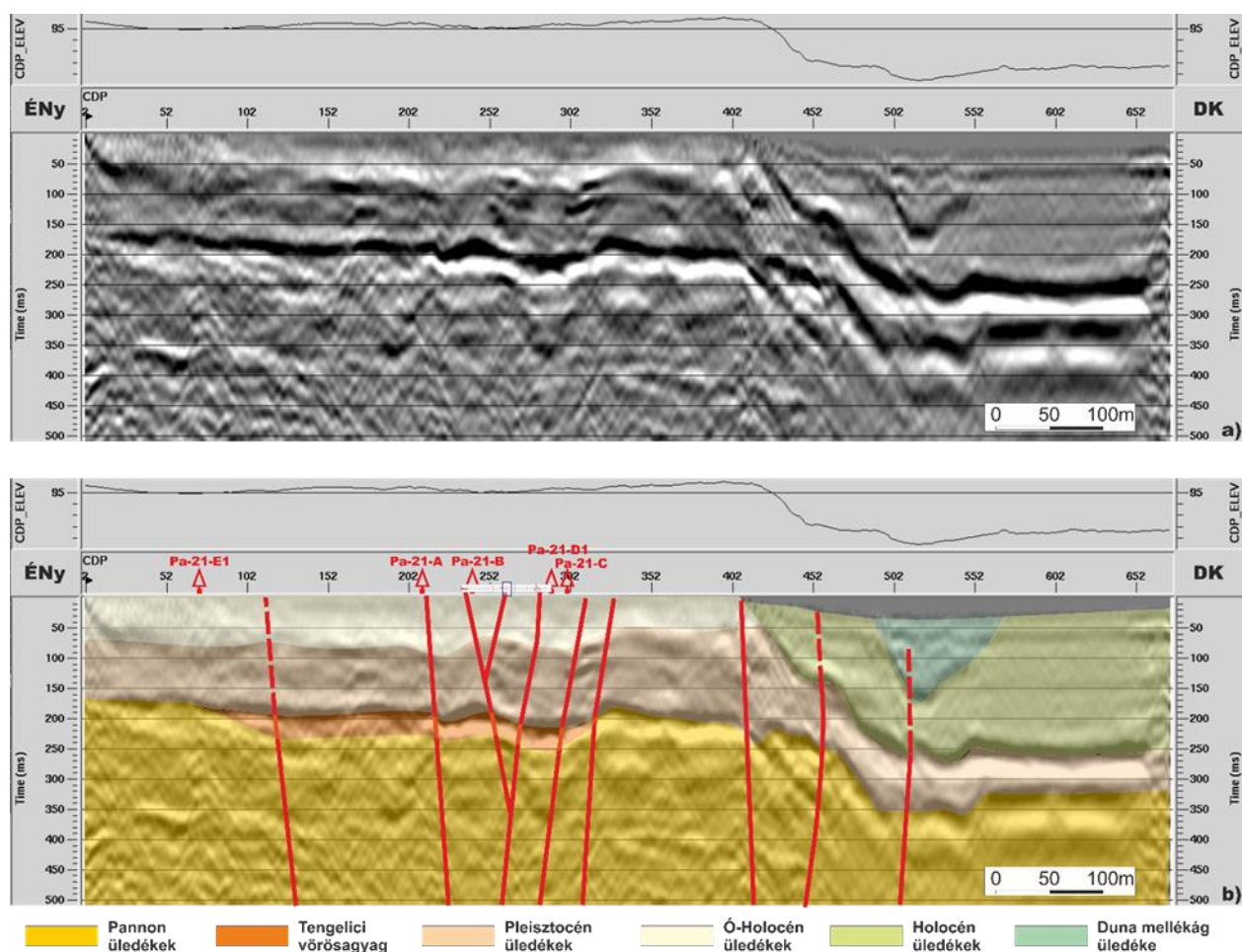
A Pa-21-S-Geomega szelvény északnyugati és középső részén (100–350 CDP szakasz) a negyedidőszaki képződmények bázisának kismértékű, de határozott deformációja ismerhető fel, amely vetők menti elmozdulásokhoz kötődik (420. ábra). A szelvény déli részén, nagyjából a 400–500 CDP szakaszon az időszelvényben látszólag markáns lezökkenés észlelhető. Ennek kapcsán hangsúlyozni kell, hogy a számított sebességterekkel elvégzett mélységkonverziós tesztek azt mutatták, hogy ez a lezökkenés csak látszólagos, és a mélységszelvényben hasonló ellépés nem tapasztalható (419. ábra).



419. ábra A Geomega által mért Pa-21-S-Geomega S-hullám időszelvény (b) és tomografikus feldolgozásának eredménye (a).

A tomografikus sebességtér háromszoros túlmagasítással került megjelenítésre.

A szelvény északnyugati és középső részén megfigyelhető, vetőkkel szabdaltsz deformációs zóna szűkebb értelemben is mintegy 150 m (tágabban értelmezve: akár 500 m) szélességű sávot alkot. E deformációs zóna a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna északi pereméhez kapcsolódik (vö. 418. ábra), annak felszínközeli megjelenését képviseli. A széles deformációs zóna kialakulása abból fakad, hogy a főbb mélytörések a felszín felé haladva egyre jobban szétágaznak, több ágra bomlanak, és a deformáció egyre jobban szétoszlik az egyes ágak közt. Az elmozdulás eltolódásos jellegét jelzi a szelvény középső részén megfigyelhető tipikus virágszerkezet (420. ábra). Ez kiváló összhangban van a Pa-21-II kutatóárokban dokumentált klasszikus negatív virágszerkezettel (421. ábra), amely a Pa-21-B sekélyfúrástól délre látható vetőág felett jelenik meg. Mindez az észlelt deformáció geometriai jellegzetességeinek skála függetlenségét, más szóval fraktál jellegét jelzi (247. ábra). A deformáció fraktál jellege nemcsak a tanulmányozott, különböző léptékű szelvényekben, hanem térképi vetületben is jól észlelhető: a kutatóárokban dokumentált szeizmotektonikus szerkezetek sztereogramján ugyanazon fő irányok tükröződnek, mint a 2D és 3D szeizmikus adatrendszeren azonosított neotektonikus vetőrajzolat (418. ábra).



420. ábra A Pa-21-S-Geomega S hullám szeizmikus szelvény értelmezetlen (a) és értelmezett változata (b)

Nem képezi le a szelvény, ezért nincs is jelölve az értelmezett szelvényen a legfelső talajréteg. A folytonos piros vonal vetőt, a szaggatott piros vonal feltételezett vetőt jelöl. Az alsó ábra feltünteti a szelvény mentén mélyült Pa-21- jelű sekélyfúrásokat (piros háromszögek), a Pa-21-II kutatóárok helyét (vékony fehér sáv a Pa-21-B és -D1 fúrások közt; a kis kék téglalap az 421. ábra helyét jelzi), az árokban észlelt szeizmotektonikus eredetű szerkezetekkel (piros pontok). Módosítva Tóth T. [353] után.



421. ábra A Pa-21-II kutatóárokban dokumentált normálvetőkkel kísért, fölfelé kiszélesedő hasadéka

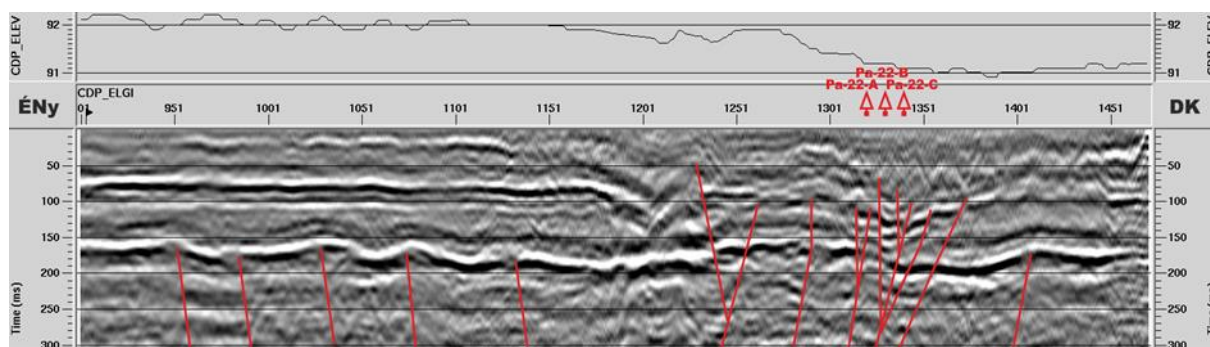
A hasadék értelmezetlen (balra) és marker-horizontok jelölésével (színes vonalak) értelmezett képe (jobbra) a K-i oldalfal 43,7 méterénél. A szerkezet helyét a kutatóárokban kis kék téglalap jelzi (420. ábra). A megfigyelt geometriai jellegzetességek alapján a szerkezet eltolódásos eredetű, tipikus negatív virágszerkezetként értelmezhető, kiváló összhangban van a Pa-21-S-Geomega szeizmikus szelvényen bemutatott vetőértelmezéssel (420. ábra).

A fentebb bemutatott eredmények alapján egyértelmű, hogy a neotektonikus szerkezetalakulás során a pannóniai rétegekben végbement markáns deformáció a fiatal negyedidőszaki (késő-pleisztocén végi) képződményeket ugyanolyan szerkezeti stílussal, de lényegesen kisebb intenzitással érintette. A kisebb látszólagos intenzitásképhez a vetőrendszer felfelé szétágazó, fraktál jellege is hozzájárult (ugyanazon deformáció több vetőágon oszlik el). Valószínűnek látszik továbbá, hogy a negyedidőszaki képződmények deformációja nem egyetlen szeizmotektonikus eseményhez kapcsolódik, hanem az egyes vetőzónákban több fázisban is történt deformáció (nem feltétlenül csak vetőfelület menti elmozdulást jelentve, és nem feltétlenül egyidejűleg és megegyező intenzitással minden vetőzónában), amint azt a kutatóárok szerkezeti észlelései is jelzik (3.1.2.3 fejezet, illetve 260. ábra).

A Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna északi peremének pozícióját illetően meg kell említeni az egymástól függetlenül elvégzett elemzések eredményeinek összhangját is. A tervezett telephelyre korábban fúrási adatok alapján elkészített 3D földtani modellben [322]) a pannóniai rétegekben észlelt DK-i irányú, a készítés idején még szerkezeti értelmezés nélkül bemutatott réteglehajlás ugyanis pont ott jelentkezik, ahol a telephelyi 2D szeizmikus szelvényeket is magába foglaló későbbi integrált értelmezés alapján a vetőzóna északi határa kijelölésre került (418. ábra: piros poligon).

A Pa-22-S jelű S-hullám reflexiós szeizmikus szelvény a Duna keleti partján, a tervezett telephelytől mintegy 2 km-re helyezkedik el (418. ábra). E szelvény a Dunaszentgyörgy–

Harta vetőzónát a csapásra merőlegesen kb. ÉNy–DK-i irányban harántolja. A szelvény déli részét az 422. ábra mutatja be.



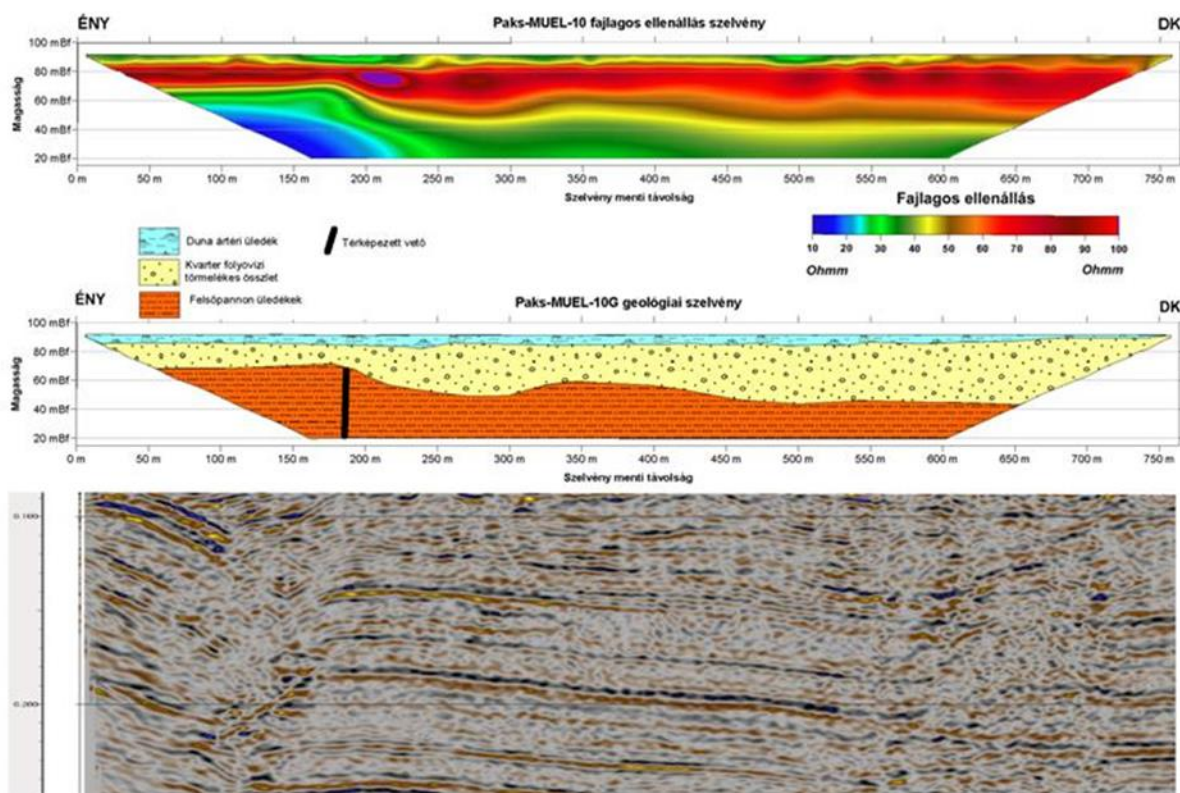
422. ábra A Pa-22-S szelvény délkeleti végének feldolgozása és szerkezeti értelmezése (Tóth 2016 alapján) [353]

Piros vonalak: értelmezett vetők. Az ábra feltünteti a szelvény mentén mélyült Pa-22- jelű sekélyfúrásokat (piros háromszögek). A negyedidőszak bázisa a 150–200 ms közt látható markáns reflexiónál jelölhető ki. A bemutatott szelvényrészlet térképi helyzetét (fekete vonal) a 418. ábra mutatja be. A CDP távolság 1 m-es, így a megjelenített CDP pontszám egyben szelvény menti méter távolságot is jelent.

A bemutatott szelvényrészlet legérdekesebb része az 1 300–1 370 CDP szakasz, amely egy negyedidőszaki mederkitöltést mutat, melyet egy szélesebb tektonikai zónához tartozó kisebb vetők deformálnak. A vetők nem metszik át a teljes negyedidőszaki üledéksort, hanem annak csak alsó részét érintik. A szelvény tehát egyértelműen jelzi a negyedidőszak során végbement tektonikai aktivitást. E deformációs zóna nagy valószínűséggel a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna déli pereméhez kapcsolódik (418. ábra).

A szelvényrészlet északi részén további kisebb vetők láthatók, melyek a negyedidőszaki képződmények talpának enyhe deformációját idézték elő, de — a déli résszel ellentétben — nem hatolnak fel a negyedidőszaki képződményekbe. A szelvény déli szakaszán egymástól kis távolságra (~10m) lemélyült, Pa-22- jelű vetőkutató sekélyfúrások lyukgeofizikai értelmezése és korrelációja alapján e szelvényben nem került sor kutatóárok telepítésére. Mindez azonban a fentebb bemutatott szerkezeti értelmezést nem befolyásolja.

A *nagyfelbontású elektromos tomográfia (MUEL)* mérések ugyancsak a Dunaszentgyörgy–Harta-vetőzóna felszínközeli szerkezetének leképezését és ezen keresztül a szerkezeti aktivitásának pontosabb korolását tűzte ki alapvető célul. A méréseket és az eredmények részletes ismertetését Kudó I. [184] munkája tartalmazza. A szelvények közül kiemelkedő jelentőségű a tervezett telephelytől délnyugatra futó Paks-MUEL-10 szelvény, amely a korábban mért PA-13 jelű 2D szeizmikus reflexiók szelvényével közel identikus nyomvonalon mérődött (418. ábra). A szeizmikus reflexiók szelvényen jól látszó, a pannóniai/negyedidőszak diszkordancia felületet elérő vetővel megegyező helyen a Paks-MUEL-10 szelvényen a mélyebb, durvatörmelékes fluviális negyedidőszaki rétegekben markáns kivastagodás észlelhető (423. ábra).



423. ábra Paks-MUEL-10 geoelektromos szelvény, értelmezése, valamint a nyomvonal mentén korábban mért Pa-13 szeizmikus szelvény részlete (Kudó I. [184] alapján)

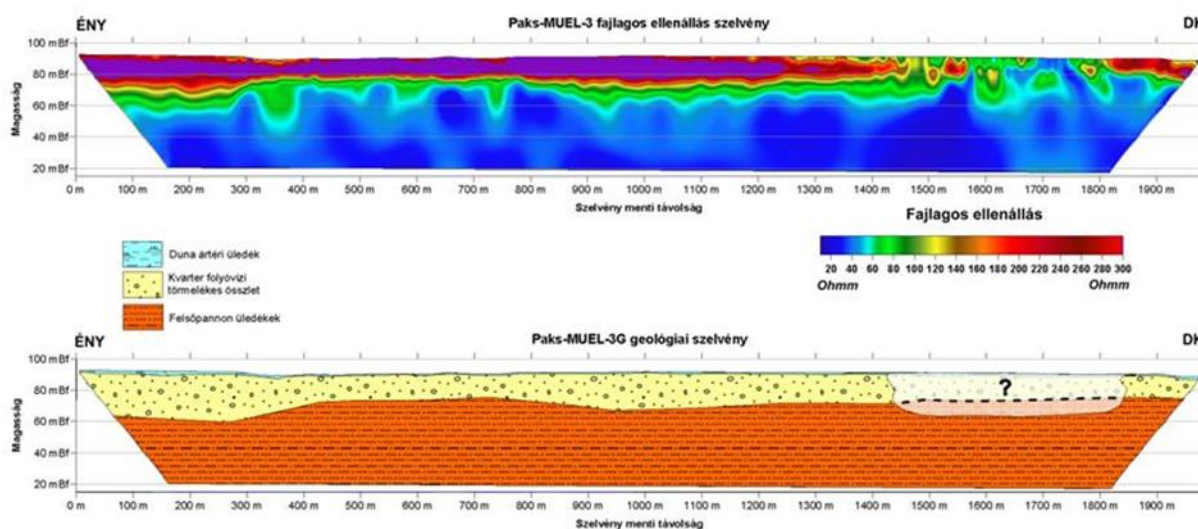
A MUEL-10 szelvényen értelmezett és a Pa-13 szelvényen is jól látszó vető a 3D földtani modellben a Dunaszentgyörgy–Harta-vetőzóna északi pereméhez kapcsolódik.

Kudó I. [184] erre, még az S-hullám mérések és a kutatóárok eredményeinek ismerete előtt, két lehetséges magyarázatot adott: (1) a vető a negyedidőszak korai szakaszában folyamatosan aktív volt, és ez kismértékű folyamatos süllyedésben nyilvánult meg a levetett helyzetű, DK-i blokkban; (2) a vetőműködés a kvarter kezdetére olyan topográfiai különbséget hozott létre, amely a negyedidőszaki üledékképződést alapvetően preformálta. A kétféle értelmezés közül pusztán a *Paks-MUEL-10* szelvény alapján nem lehetett egyértelműen állást foglalni, ugyanakkor az előzőekben ismertetett, igen közeli *Pa-21-S-Geomega* szelvényben mélyült sekélyfúrások, a szeizmikus szelvény és a kutatóárok eredményei egyértelműen az (1) magyarázatot igazolták.

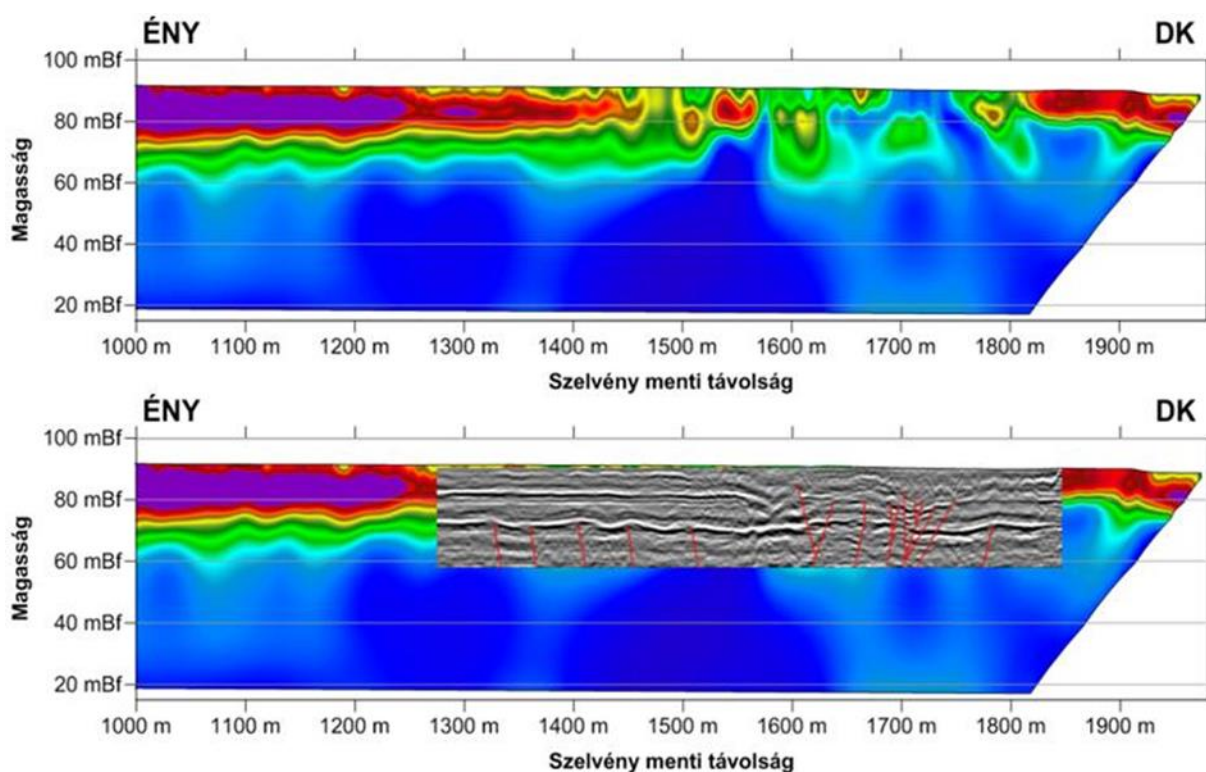
Közvetlenül a tervezett telephellyel átellenben, a Duna bal partján mért *Paks-MUEL-3* szelvény (418. ábra) ugyancsak a kvarter összlet jellegzetességeinek meghatározására irányult a Dunaszentgyörgy-Harta vetőzónában. A szelvény délkeleti végén az 1450–1850 m közötti szakaszon a folyóvízi durvatörmelékkes összletként azonosított nagy fajlagos ellenállású térrész zavarttá válik, horizontális szerkezete felbomlik (424. ábra), amely kiváló egyezést mutat a *Paks-MUEL-3* szelvényvel azonos nyomvonalon futó *Pa-22-P* és *Pa-22-S* nagyfelbontású 2D szárazföldi szeizmikus P és S hullám méréseken azonosított vetőrendszerrel (425. ábra). Ugyan Kudó I. [184] a kvarter tektonikai mozgások mellett még lehetséges értelmezési alternatívaként felvetette, hogy egy negyedidőszaki képződményekre átöröklődő, pannóniai vetők által okozott morfológiai és reológiai preformáltságról van szó, a *Pa-22-S* szelvény egyértelműen megerősíti, hogy a kvarter üledékek jelentős laterális

változékonysága a Paks-MUEL-3 szelvény említett szakaszán a negyedidőszaki képződményekbe hatoló vetőrendszerrel áll közvetlen kapcsolatban.

A Dunán elvégzett **pseudo-3D vízi szeizmikus (SeistecTM) mérések** [377] elsődleges célja a fiatal negyedidőszaki folyóvízi üledéksor belső szerkezetének, valamint a Dunaszentgyörgy–Harta-vetőzóna és a csatlakozó kisebb jelentőségű szerkezeti elemek azonosítása és azok felszínközeli jellegeinek részletes tanulmányozása volt. A mérési anyag a törmeléken késő-negyedidőszaki képződmények bonyolult belső üledékföldtani struktúrája miatt egyértelmű és közvetlen vetőazonosításra nem volt alkalmas, de két helyszínen, közvetett módon szoros térbeli korrelációt sikerült kimutatni a negyedidőszaki üledékképződési folyamatok és a felszín alatt húzódó, a pannóniai összletet harántoló vetők között. Ez a kapcsolat vetőrendszerek fölött települő intra-kvarter üledécsomagok kivastagodásában nyilvánul meg, amely hasonlóan a MUEL szelvények esetében a negyedidőszaki tektonikai aktivitáson túl a negyedidőszaki képződményekre átöröklődő, pannóniai vetők által okozott preformáltsággal is magyarázható volt (részletes diszkusszióért l. [377]). A pseudo-3D mérések alapján leginkább valószínű negyedidőszaki tektonikai aktivitás helyszínét a 426. ábra mutatja be.



424. ábra Paks-MUEL-3 nagyfelbontású geoelektromos szelvény és értelmezése (Kudó I. [184])



425. ábra Paks-MUEL-3 geoelektromos szelvény a Pa-22-S sekélyreflexiós szelvény értelmezett változatával összevetve (Tóth T.[353] alapján [353])

Jól látható az egybeesés a geoelektromos szelvény délkeleti részén megjelenő zavart ellenálláskép és az S-hullám szeizmikus szelvényen értelmezett, a negyedidőszaki képződményekbe hatoló vetőzóna helyzete között.

Összegezve a fentiekben bemutatott mérések eredményeit megállapítható, hogy a tervezett telephely alatt és annak déli előterében húzódó Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna a negyedidőszak során tektonikailag aktív volt, amely aktivitás egyes területeken az egészen fiatal (késő-pleisztocén végi) képződményeket is érintette. Erre teljesen egyértelmű, közvetlen bizonyítékot szolgáltatott a Pa-21-II kutatóárok, s ugyancsak világos a (legalább) kora-kvarter aktivitás a Pa-22-S sekélyreflexiós szelvény mentén is. Más helyszíneken az aktivitás ténye közvetett módon valószínűsíthető. Hozzá kell tenni, hogy a nagyobb bizonytalanságú helyszíneken az észlelt jelenségek a vetőkkel tagolt pannóniai térszín preformáltságából adódó üledékföldtani folyamatokkal is magyarázhatók, a pannóniai összetlet harántoló vető(zóná)k és a negyedidőszaki üledékképződés közt fennálló szoros kapcsolat azonban így is egyértelmű.

A tervezett telephely tágabb környezetében negyedidőszaki képződményeket deformáló vetők egy feltáráscsoportból kerültek részletes földtani dokumentálásra felszíni geológiai észlelésekkel [203]. E vetők, amelyek a tervezett telephelytől kb. 10 km-re ÉÉNy-ra találhatóak (426. ábra), csak az M6-os autópálya építése során voltak tanulmányozhatók (Gyapai elágazás), azóta lefedték őket. A futóhomokkal, illetve folyóvízi homokkal fedett lösz-paleotalaj összetletben észlelt nyírásos, illetve extenziós eredetű, elvétve vetőkarcot is tartalmazó hasadékok a kialakulásuk idején felszínig hatoló, nyílt szerkezetek lehettek. A szerkezeti aktivitás kora a hasadékokat kitöltő és fedő homokokban elvégzett optikai lumineszcens vizsgálatok alapján 5500 – 14400 év közöttinek ($5,5 \pm 1,1$ és $14,3 \pm 2,7$ ka) adódott [203].

A gyapai elágazásánál dokumentált, negyedidőszaki képződményeket deformáló szerkezetek a Németkéri-magaslatot dél felől határoló, a 3D földtani-tektonikai modellbe integrált vető (F_Nemetker_S; 13.1.1.5.1 fejezet) felszíni vetületétől mintegy 1 km-re DDK-re található (426. ábra), így lehetséges, hogy azzal közvetlen vagy közvetett szerkezeti kapcsolatban állnak. A feltárásokban észlelt szerkezetek egyik jellemző iránya az említett vető csapásához illeszkedik, a másik arra közel merőleges.

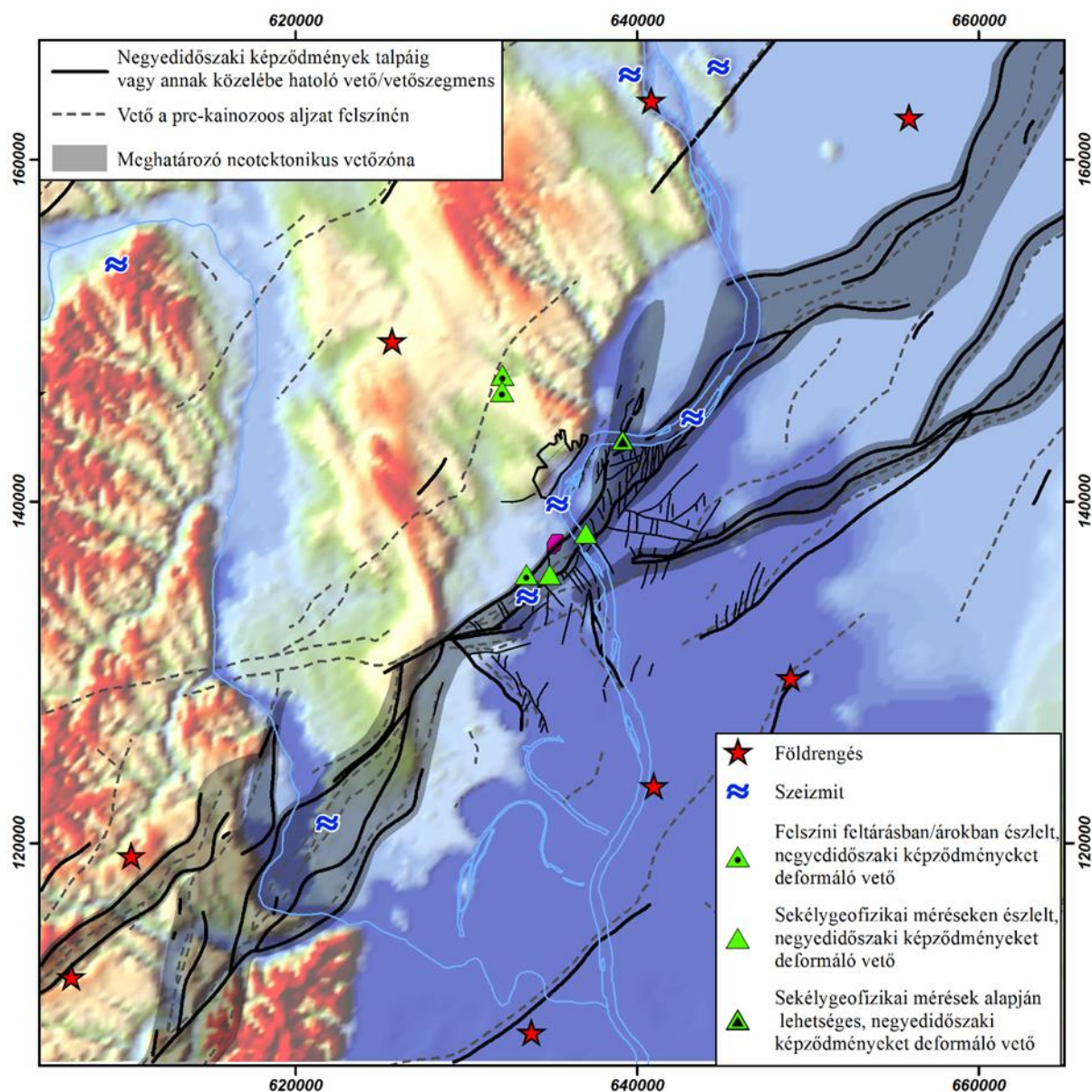
A fenti előforduláson kívül a kutatási területen lefolytatott földtani-geomorfológiai térképezés során a negyedidőszaki képződményekben vetőt nem észleltek (3.1.2 fejezet), a megfigyelt deformációkat — az alább tárgyalt szeizmitéktől eltekintve (3.4.1.3 fejezet)— csuszamlásos eredetűnek értelmezték (3.1.1.3 és 3.1.2. fejezetek).

3.4.1.3 Egyéb neotektonikai észlelések és azok kapcsolata a 3D földtani modellel

Az alábbiakban olyan szeizmikus aktivitáshoz köthető megfigyelések kerülnek ismertetésre, amelyek ugyancsak a neotektonikai fejlődési szakaszhoz tartoznak és közvetett módon jelzik a kutatási területen végbement tektonikai folyamatokat. Ezek közé tartoznak a jelenkori műszeres szeizmitási adatok, valamint a paleo-szeizmitásra utaló szeizmiték. Ezeket az észleléseket a korábban ismertetett neotektonikai vetőészlelésekkel együtt a 426. ábra mutatja be és a 3D földtani modell tektonikai elemeinek tükrében kerülnek tárgyalásra.

A **jelenkori szeizmitásra** az 1995 óta folyamatosan végzett, nagy pontosságú mikroszeizmikus monitorozás során nyert adatok adnak felvilágosítást, amelynek keretében a kutatási területen és annak tágabb környezetében kipattanó földrengések kerültek regisztrálásra [94] 0 [96] [97]. A földrengések kipattanását kiváltó szeizmikus esemény lényegében a kőzetekben egy kritikus feszültségérték meghaladása után létrejövő törés és ementi elmozdulás (vetődés) eredményeként jön létre.

A monitorozás eredményei alapján a kutatási terület szeizmitása összességében alacsony (426. ábra és 427. ábra). A 3D földtani modell területén belül az 1995. jan. 1. és 2016. május 31. közti időszakban összesen nyolc kis magnitúdójú ($M < 3$), igen változatos fészekmélységű (0–15 km) földrengést észleltek, ezek közül hét magnitúdója kisebb mint 2 ($M < 2$). A 2010 és 2016 május 31. közti időszakban három földrengést regisztráltak a kutatási területen (Zomba, Németkér, Negyvenszállás), melyek közül a Németkér térségében bekövetkezett rengés volt a kutatási területen az elmúlt 21 évben észlelt legnagyobb magnitúdójú rengés ($M = 2,7$).



426. ábra A kutatási terület neotektonikus eseményeinek/jelenségeinek áttekintése

Háttér: a kutatási terület digitális terepmodellje. Lila poligon: tervezett telephely (középen).

A kutatási terület középső részén, azaz a tervezett telephely szűkebb környezetében nem észleltek kimutatható rengést a vizsgált időszakban, jóllehet a legintenzívebb neotektonikus aktivitást mutató Kapos-vonal keleti ága és Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna is e részterületen húzódik. E vetőzónák kapcsán érdemes újfent utalni arra, hogy az elvégzett geodinamikai modellszámítások szerint a modellezett vetők felújulását 100 000 éves időskálán vizsgálva e két vetőzóna reaktivációjának a legnagyobb a valószínűsége (l. 3.4.2 fejezet).

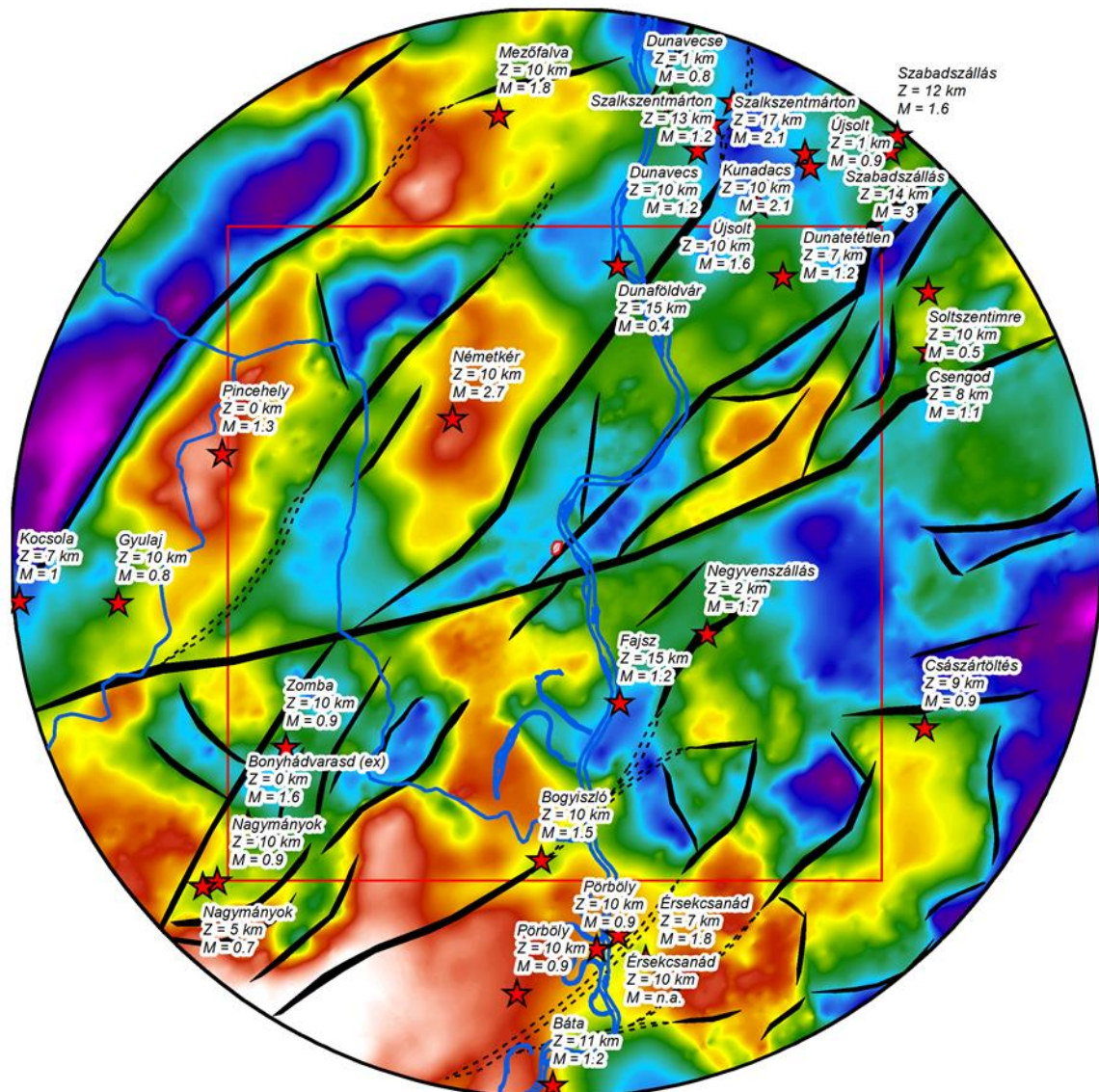
Az észlelt szeizmikus események alapján a kutatási terület leginkább szeizmoaktív szerkezetének a Mecsek-alja-öv és környezete tűnik. A vizsgált terület délnyugati részén két rengést (Zomba, Bonyhádvarasd) észleltek, amelyek valószínűleg a Bonyhádi-medence komplex törésrendszeréhez (3.1.1.5.1fejezet) köthetők. Összességében az észlelt rengések

felénél valószínűsíthető, hogy az észlelt szeizmikus esemény a kutatási területen azonosított és térképezett szerkezeti elemhez kapcsolódik. Mindazonáltal a földrengés epicentrumok meghatározásának bizonytalansága, továbbá az egyes vető(rendszere)k térképezhetőségének objektív korlátai (szeizmikus adatok hiánya) és mélységbeli geometriájának meglehetősen korlátozott ismerete (2.1.2.3.2. és 3.4.2fejezetek) is hozzájárulnak ahhoz, hogy a regisztrált földrengések és a vetőrendszerek közti kapcsolatok vonatkozásában csak óvatos következtetések vonhatók le.

A kutatási terület tágabb környezetében, amely a tervezett telephely 50 km-es sugarú környezetét jelenti, viszonylag jelentősebb számban regisztráltak túlnyomó többségükben igen gyenge ($M < 2$) földrengéseket az elmúlt bő két évtizedben (427. ábra). A legtöbb rengés a kutatási terület közvetlen északkeleti szomszédságában pattant ki, amelyek többsége négy jelentősebb, a 3D földtani-tektonikai modellbe is integrált szerkezeti zóna (Kapos-vonal, Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna és a Németkéri magaslatot délről és északról határoló vetők) északkeleti folytatásába, illetve azok szomszédságába esik. A megfigyelési időszak legnagyobb magnitúdójú rengése ($M = 3$) is e részterületen pattant ki Szabadszállás térségében. Úgy tűnik tehát, hogy a tágabb környezetben — figyelembe véve a kutatási terület közeli dunaföldvári és dunatétleni földrengéseit is — e részterület tekinthető leginkább szeizmoaktívnak.

A földrengések másik viszonylag jelentősebb csoportját a kutatási terület déli szomszédságában (Pörböly, Érsekcsanád térsége) regisztrálták. Ezek esetében jelenleg nem ismerünk olyan szerkezeti elemet, amelyhez a rengések egyértelműen kapcsolhatók lennének. Haas J. [122] térképe alapján ezek a rengések a Villányi- és a Mecseki-zóna tektonikus kontaktusának tágabb északi szomszédságában pattantak ki. Délnyugaton a nagymányoki rengések valószínűleg a Bonyhádi-medence komplex törésrendszerének nyugati folytatásához (Északi pikkelyzóna) kapcsolódnak. Ezek mellett még három további rengést észleltek a területtől nyugatra és keletre, melyek közül egyértelmű szerkezeti kapcsolatot a kocsolai rengés mutat, amely a határozott neotektonikus aktivitást mutató Tamási-vonalra esik.

A terület **paleo-szeizmicitásának** rekonstrukciójára a földrengések hatására kialakuló ún. szeizmiték terepi észlelése ad lehetőséget. Ezek olyan deformált szerkezetek az üledékes rétegekben, amelyek szeizmikus tevékenység hatására jöttek létre. A szeizmiték fedő-, illetve feküképződményei nem mutatnak deformációt. Az üledékes rétegsorokban észlelhető szeizmiték azt jelzik, hogy a bezáró üledék diagenézise előtt — jellemzően annak képződése idején — szeizmikus sokk érte a területet, így a deformáció még laza, konszolidálatlan és többnyire vízzel telített üledékben történt. A deformáció kialakulhat mind agyagos, kőzetlisztes, homokos és kavicsos üledékekben. Magyarai Á. [203] nemzetközi tapasztalatok alapján hangsúlyozza, hogy az ilyen típusú deformációt legalább 5-ös magnitúdót elérő ($M \geq 5$) földrengés hozhat létre.



427. ábra A tervezett telephely 50 km-es környezetében 1995. jan. 1. és 2016. május 31. között észlelt földrengések epicentrumai (piros csillag) [377]

Prekainozoos aljzatmélység szerkezeti térképén. Z: fészekmélység, M: magnitúdó, n.a.: nincs adat. A piros négyzet a 3D földtani modell területét, a kis piros poligon (középen) a tervezett telephelyet jelöli.

A kutatási területen az FKP keretében lefolytatott földtani-geomorfológiai térképezés és a korábbi kutatások eredményeként több helyről is ismertté váltak szeizmiték. A jelentésben ismertetett Pa-21-II jelű kutatóárokban azonosított szeizmitéken (13.1.2.3 fejezet) túlmenően számos más helyen is azonosítottak negyedidőszaki üledékekben szeizmikus sokk hatására létrejött deformációkat. Az alábbiakban ezek legfontosabb jellemzői kerülnek áttekintésre, a szeizmiték észlelési helyszíneit a 3D földtani modell területén a 426. ábra szemlélteti.

Magyari Á. [203] a paksi kikötőbővítéshez kapcsolódóan dokumentált üledékfolyósodásra utaló vízkiszökéses szerkezeteket, gyüredezettséget és mikrovetőket fiatal dunai üledékekben, amelyeket szeizmitként értelmezett. Az előfordulás a tervezett telephelytől alig 2,5 km-re északra található. A deformációt szenvedett, a legfiatalabb Duna-

teraszt felépítő üledékek (homok-közetliszt-agyag) lumineszcens korai 15 000 és 12 000 év között változnak ($14,8 \pm 1,3$ és $12,0 \pm 1,0$ ka [336]). Mivel a rétegtanilag legmagasabb helyzetű, korolt mintában is még látható deformáció mutatkozik, ezért a deformációt kiváltó szeizmikus hatás első közelítésben mintegy 12 000 év körülire datálható, esetleg annál valamelyest fiatalabb. A deformáció pontos korának meghatározását bonyolíthatja, hogy az üledék magas vízálláskor akár a jelenben is lehet vízzel átitatott, ezért deformáció kialakulására és megőrzésére a lerakódása óta szinte folyamatosan alkalmas. A tárgyalt előfordulás a Dunaszentgyörgy–Harta-vetőzóna északi szomszédságában, attól mintegy 2 km-re található. A helyszín közelében a Duna bal partján ÉÉK–DDNy-i csapású, kulisszás geometriájú kisebb vetők azonosíthatók a Paks 3D szeizmikus adattömbben (426. ábra), amelyek a Dunaszentgyörgy–Harta-vetőzóna kiegészítő Riedel-töréseiként értelmezhetők (3.4.1.1. fejezet). Amennyiben az ismertett szeizmit képződése e rendszerhez kapcsolódott, úgy az a Dunaszentgyörgy–Harta-vetőzóna pleisztocén végi aktivitását jelezné. Ez a feltevés összhangban áll a Dunaszentgyörgy–Harta-vetőzónának a Pa-21-II kutatóárokban megfigyelt és részletesen dokumentált késő-pleisztocén tektonikus aktivitásával a tervezett telephely közvetlen DNy-i szomszédságában (3.4.1.2. és 3.1.2. fejezetek).

A földtani-geomorfológiai térképezés során további szeizmit előfordulásokat dokumentáltak negyedidőszaki rétegekben Dunaegyháza, Szedres, Tolnanémedi és Sükösd térségében (426. ábra). A kutatási terület északi részén található dunaegyházai előfordulás esetében mészkonkréciós löszbe alulról benyomult „homokinjekciók” észlelhetők (2.1.2.3. és 3.1.2. fejezetek), ami jelentős üledékfolyósodásra utal. A löszből származó minta lumineszcens kora 185 000 évnél nagyobb ($> 185,5 \pm 15,0$ ka [336]), míg a deformáció által érintetlen fedő OSL kora 11 000 év körüli ($11,1 \pm 0,4$ ka [336]). Ennek alapján a deformációt kiváltó szeizmikus esemény kora 11 000 évnél mindenképp idősebb, de pontos kora ismeretlen.

Itt kell még megemlíteni a Bada G. [15] munkájában leírt, Dunaföldvár északi határának közelében található szeizmit előfordulást is, amely az előbb tárgyalt dunaegyházai előforduláshoz elég közel, de a Duna jobb partján található (426. ábra). Itt deformált, feltehetőleg folyóvízi eredetű üledékek jelennek meg a Paksi Löss Formáció fiatal lösz sorozata alatt. Az ismertett dunaföldvári és dunaegyházai előfordulások közelében, azoktól délkeletre húzódik a 3D földtani-tektonikai modell F_Nemetker_S_NE azonosítójú, ÉK–DNy-i csapású vetője (426. ábra), amely a Nemetkéri-magaslat déli peremén futó vető csapásmenti folytatásába esik, bár azzal közvetlenül nem korrelálható (3.1.1.5.1 fejezet).

A fenti előfordulásokat összevetve a kutatási terület recens szeizmicitását bemutató térképpel jól látható, hogy az 1998-ban 15 km mélységben kipattant dunaföldvári rengés ($M = 0,4$) mindkét előforduláshoz igen közel esik (427. ábra). Így lehetséges, hogy a recens szeizmogén forrás a pleisztocén során is aktív volt, amely számottevő intenzitású, szeizmitek képződését is előidéző földrengést váltott ki.

A kutatási terület délnyugati részén szeizmikus sokkhatás következtében deformált kvarter folyóvízi eredetű üledékek észlelhetők lösz fekéjében Szedres község közelében (426. ábra, 3.1.2. fejezet). Itt a több szintben is megjelenő deformált rétegcsoportok felső határai eróziósak, ezért ezek deformációja több önálló, az üledékképződéssel egyidejű szeizmikus eseményhez köthető. A szóban forgó folyóvízi képződmények lumineszcens korai kb. 19 000 és 25 000 év köztinek adódtak ($19,3 \pm 1,5$ és $25,2 \pm 2,1$ ka [337]). A dokumentált rétegsor alapján négy szeizmikus eseményt feltételezve itt a földrengés-visszatérési idő is becsülhető volt, amelyre a lumineszcens korok szélső értékeivel számolva 1500 év körüli érték adódott. A réteg szerint gyűjtött csigahéjakon mért, és megbízhatóbbnak tekintett radiokarbon-korok

figyelembevételével a földrengés-visszatérési időre kb. 200 év, de maximum 400 év becsülhető (3.1.2 fejezet). A szedresi előfordulás a Bonyhádi-süllyedék markáns neotektonikus aktivitást mutató törérendszerének (F_XI_main, F_XI_main_S) közelében (azoktól kb. 1 km-re délre) helyezkedik el (426. ábra, 3.1.1.5.1. fejezet). A feltárásban megfigyelt, helyenként félárokszerű geometriát mutató hasadékok orientációja jól egyezett a Bonyhádi-vetőzóna lokális csapásával (3.1.2 fejezet). Mindezek alapján lehetséges, hogy a dokumentált szeizmit képződése a Bonyhádi-süllyedék vetőrendszerének egy vagy több elemének késő-pleisztocén aktivitásához kapcsolható.

A kutatási terület északnyugati részén Tolnanémedi község közelében eolikus szállítású kőzetlisztes homokban észleltek szeizmitként értelmezett deformációs szerkezeteket (néhány cm-es elvetésű feltolódások; 3.1.2 fejezet). A deformált rétegek teteje — a szedresi előforduláshoz hasonlóan — erodált, ami szinszediment deformációra utal. A vizsgált rétegek, és egyúttal a deformáció hozzávetőleges kora lumineszcens mérések alapján 15 000 év körüli ($15,4 \pm 1,2$ ka [337]). Ez az előfordulás a 3D földtani-tektonikai modell igen markáns neotektonikus aktivitást mutató, ÉK–DNy-i csapású Tamási-vonalától kb. 5 km-re délkeletre található. E tektonikai elem alkotja a Közép-magyarországi Nagyszerkezeti Zóna déli határát, amely mentén számottevő recens szeizmicitás észlelhető (426. ábra).

A kutatási terület közvetlen déli szomszédságában Sükösdől északra észleltek deformált negyedidőszaki folyóvízi üledékeket, amely helyszínen — a szedresi előforduláshoz hasonlóan — több szintben is előfordul deformáció (3.1.2 fejezet). E képződmények lumineszcens korai 16 000 és 15 000 év közöttinek adódtak ($15,3 \pm 1,4$ ka és $16,4 \pm 1,4$ ka [337]), így a deformációt kiváltó szeizmikus esemény ezzel nagyjából egykorú, esetleg valamelyest fiatalabb. A sükösdi előfordulás lényegében a 3D földtani-tektonikai modellnek a Sükösdi-magaslat ÉNy-i peremét képező, ÉK–DNy-i csapású vetője (F_Miske_D) felett található. E szerkezeti elem az Algyő-tető horizontját metszi, tehát neotektonikus vető, azonban a közeli ipari 2D szelvények minősége nem teszi lehetővé a deformáció magasabb rétegtani szinteken történő követését.

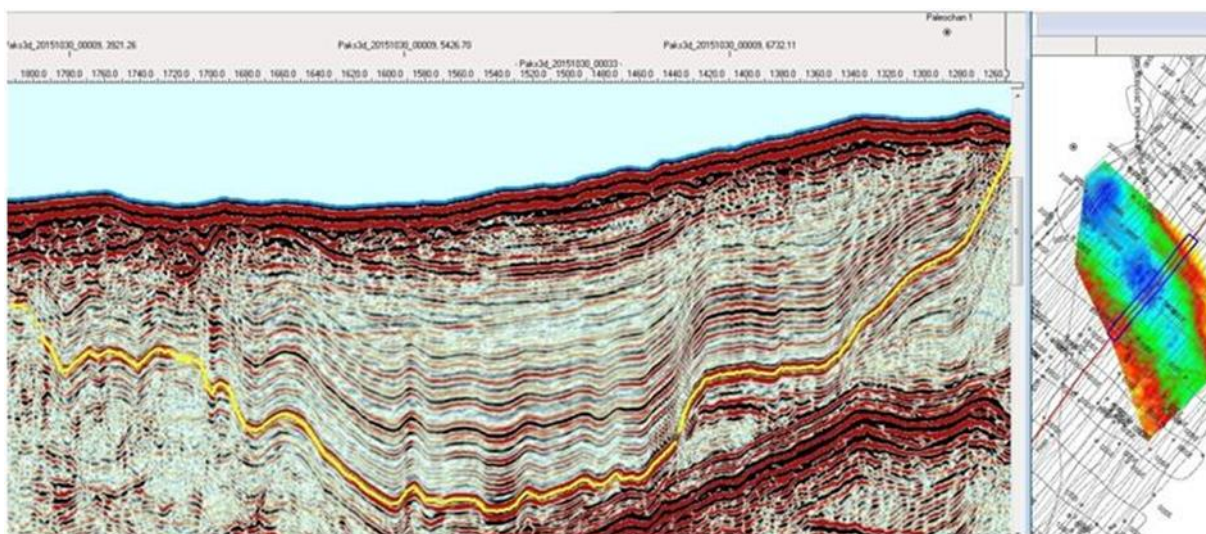
A fentiekén túl Bada G. [15] a kutatási terület tágabb környezetében további negyedidőszaki képződményekhez kötődő szeizmit előfordulásokat ismertet (Bonyhád, Tamási, Kismórág). Ezek közül kiemelendő a kutatási terület közvetlen szomszédságában, Bonyhád keleti peremén leírt szeizmit, amelyet folyóvízi agyagos, kőzetlisztes, finomhomokos rétegsorban észleltek. Az esemény relatív kora a Paksi Löss Formáció idős és fiatal lössorozata képződése közötti intervallumra tehető. Ezen előfordulás a Bonyhádi-süllyedék nagyon markáns neotektonikus aktivitást mutató, déli peremtörésének (Bonyhádi-törés) közvetlen közelében található.

A fentebb leírtakhoz deformációs képében hasonló, bár eltérő léptékű jelenséget („makroszeizit”) sikerült a pszeudo-3D vízi szeizmikus mérésekkel azonosítani egy egykori Duna-paleomederbe megőrződött, negyedidőszaki folyóvízi rétegsorban [377]. A deformált negyedidőszaki rétegsor a pszeudo-3D 2. számú mérési blokkjában Pakstól KÉK-re, a Duna Dunapataj és Ordas közti szakaszán 1540 fkm-nél került azonosításra (426. ábra). A mérési blokk teljes egészében a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna Duna alatt futó szakaszába esik. Itt korábban két többszörös vízi szeizmikus mérés is (Duna-208/94, Duna-8/96) leképezte a Duna alatt húzódó, pannóniai korú üledékeket teljesen elmetező vetőzóna egyedi vetőágait.

A 428. ábra bemutatott jelenség úgy értelmezhető, hogy a feltehetőleg elzáródott morotva-ágban lerakódott, jól rétegzett, finom szemcséjű, iszapos üledéksor deformációját egy közeli földrengéshez köthető szeizmikus lökéshullám hozta létre [377], mivel az

üledékekben azonosított vetők iránya nem egyezik meg a Duna alatt húzódó Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna irányával. Más szóval egyértelmű, hogy itt nem a pannóniai összlet teljesen átmetsző vetőágak felfelé hatolása idézte elő a mederüledékek deformációját.

A paleomedret kitöltő deformált üledékösszlet felső részéből származó minta korára kb. 11 000 év (11.1 ± 1.3 ka) [249] adódott. Ez a koradat a földrengés felső korhatárát jelezheti, figyelembe véve, hogy a paleomeder-kitöltés legfiatalabb rétegei már nem látszanak deformáltnak a reflexiós képen (428. ábra). Figyelembe véve a fentebb tárgyalt lumineszcens kormeghatározások között hibahatárait is, a jelzett kor igen hasonló a paksi kikötőbővítés során dokumentált szeizmit legfiatalabb, még deformációt mutató rétegeinek korához ($12\ 000 \pm 1000$ év), így lehetséges, hogy az észlelt deformációk ugyanahhoz a paleoszeizmikus eseményhez kapcsolódtak.



428. ábra A pszeudo-3D vízi szeizmikus mérés 2-es blokkjának felmérése során leképezett paleo-meder üledéksorának deformációja

A térképrészleten (bal oldalon) látható medermorfológia a szelvényen sárga vonallal értelmezett horizont képe (Wórum G. [377] alapján).

A 426. ábra bemutatott, a közvetlen és közvetett negyedidőszaki vetőészleléseket, a jelenkori földrengéseket, valamint a paleo-szeizmicitásra utaló jelenségeket a 3D földtani modell szerkezeti elemeivel integráló térkép egyes elemei között, mindent egybevetve, meglehetősen jó korreláció mutatkozik. A neotektonikai jelenségek/események összesített képe egyértelműen arra utal, hogy neotektonikai aktivitás zajlott és zajlik ma is a területen. Ezen aktivitás egyik markáns megnyilvánulása a 3D földtani modell területét keresztüljelző, több külön vetőzóna „részvételével” kialakuló regionális jelentőségű balos nyírás öv. Ez a nyírás öv magába foglalja a közvetlenül a tervezett telephely alatt elhaladó Dunaszentgyörgy–Harta vetőzónát is.

3.4.2 Geodinamikai modell

Az FKP a paksi telephely környezetét lefedő 60x60x20 km kiterjedésű térmodell alkalmazása révén előírta a területen feltárt vetők stabilitásvizsgálatához egy numerikus geodinamikai modell felépítését. Az FKP 5.3.3 pontja megállapítja, hogy a tervezett új atomerőmű környezetének recens litoszférikus közetfeszültségek hatására történő

geomechanikai deformáció jellegeinek megismerése és ezek jövőbeli előrejelzése elengedhetetlen a terület tektonikai stabilitásvizsgálatához. Ilyen ismeretek megfelelő részletességgel csak numerikus geodinamikai modellezés útján nyerhetők. A numerikus modellezés során nagy teljesítményű számítógépek segítségével, egy rugalmassági paraméterekkel jellemzett térmodellre ható feszültségek, vagy határfelületi deformációk megadásával szimulálhatók a térmodellen belül létrejövő feszültségkoncentrációk és a vetők menti deformációk jellemzői.

Az FKP-vel összhangban a modell elsődleges célja a térség feszültségviszonyainak és deformációs jellegeinek meghatározása, valamint ezek révén a területen feltárt vetők stabilitásvizsgálata volt. A szerződéses műszaki tartalom a geodinamikai modellezés célját az alábbi pontokban határozta meg:

- a feszültségtér markáns torzulásainak és koncentrációjának 3D-s modellezése és meghatározása
- a tektonikai instabilitás legkritikusabb tartományainak lehatárolása
- a potenciálisan legveszélyesebb törésfelületek kategorizálása
- kapabilis vetők menti deformáció jellegeinek meghatározása

A geodinamikai modell előállításához elvégzett munkákat, a modell felépítésének lépéseit, valamint a modellből kinyert eredményeket és azok értelmezését a [192] jelentés tárgyalja részletesen. Az alábbiakban a [192] jelentés alapján ismertetjük röviden a geodinamikai modell felépítését, valamint az eredmények alapján tett fontosabb megállapításokat.

3.4.2.1 A geodinamikai modell felépítése és elemei

A numerikus modellezés folyamatát az FKP célkitűzéseinek megfelelő projektspecifikus megfontolások és szakirodalmi publikációk feldolgozása alapján állították össze. Első lépésben elő kellett állítani a modellterületen érvényes jelenkori feszültségteret. A recens feszültségtérben a vetők stabilitásának számszerűsítésére a nemzetközi szakirodalomban elterjedt módon az ún. csúszási tendencia (slip tendency) értékének meghatározását használták. A csúszási tendencia érték változásának iránya (növekedés vagy csökkenés) egy feltételezett deformációs folyamat során azt is megmutatja, hogy a vizsgált vetőfelület a tönkremenetel irányába, vagy a megcsúszással szembeni nagyobb biztonság felé tart. Ennek vizsgálatához előállítottak egy módosított feszültségteret azzal a feltételezéssel élve, hogy a fő tektonikai mozgások iránya a recens feszültségtér kialakulásához vezető irányokkal megegyező marad, mértéke pedig a vizsgálati időszakban állandó, a jelenleg ismert deformáció sebességgel azonos. A megfelelő értelmezhetőség érdekében a feszültségváltozást kellően nagy (100 000 éves) időintervallumon állították elő.

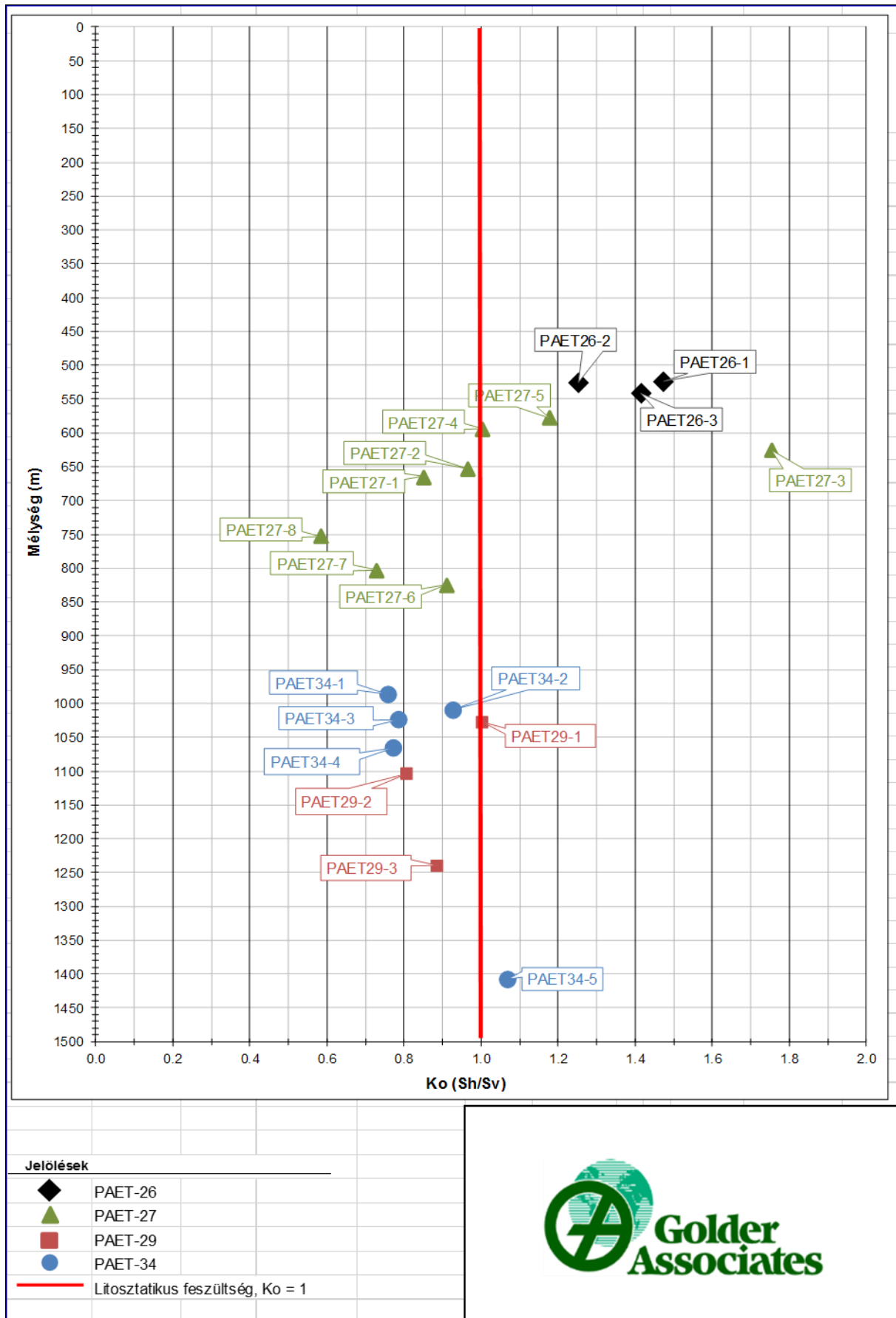
A modell alapvető elemeit az alábbi információk képezték:

- a szerkezetföldtani értelmezés
- a primer feszültségtér
- a terület jelenkori deformációs sebessége GPS mérések alapján
- a hőmérsékleti tér és a litoszféra-erősség vizsgálata
- a 3D földtani modellezésre épülő modellrétegek
- a 3D numerikus vetőfelületek
- a részben az FKP keretében megszerzett, a reális kőzettestek tulajdonságait reprezentáló kőzetmechanikai paraméterek
- a modellgeometria felépítése, hálózás

A számítás alapját az FKP keretében, annak kutatásait figyelembe véve kialakított 3D földtani-tektonikai modell [117] képezte. A terület földtani fejlődéstörténetének rekonstruálása során jellemzett tektonikai fázisok közül a projekt szempontjából kiemelkedő fontosságú az a neotektonikai fejlődési szakasz, amelyben a pliocéntól kezdve a Pannon-medence újabb tektonikai stílusváltáson megy keresztül, ahol egyre inkább a kompressziós feszültségtér válik dominánssá. Ez a recens kőzetfeszültség és a tektonikai stílus jellegében is megmutatkozik. A kutatás során végzett hidrorepesztéses mérések és lyukfaldeformációs vizsgálatok kiértékelése alapján a telephely közvetlen környezetében a recens maximális horizontális főfeszültség iránya (S_H) átlagosan kb. N27° helyzetű ([187]). A vonatkozó szakirodalom ajánlásainak megfelelően (pl. [41], [190], [228]) a modelltérrel oly módon kellett beforgatni, hogy oldalsíkjai a maximális illetve a minimális horizontális főfeszültségi irányokkal (S_H és S_h) párhuzamosak legyenek. A főfeszültségi értékek egymáshoz viszonyított nagyságainak vizsgálata alapján az uralkodó feszültségi rezsím a mérések környezetében általában oldaleltolódásos (S_S) tektonikai stílust határoz meg, azaz $S_h < S_v < S_H$. Az 429. ábra szerint ez alól a PAET-26 fúrásban végzett összes mérés, a PAET-27 fúrás 3. tesztje (520 és 620 m közötti mélységben végzett tesztek) valamint a PAET-34 fúrás 1400 m alatt végzett 5. tesztje is kivételt képez. Ezekben már az S_h is meghaladja az S_v értékét, ami a feltolódásos (kompressziós) tektonikai stílusra jellemző. A hidrorepesztéses mérések alapján tehát a modell felső, mintegy 1,5 km-es zónájában tektonikai stílusváltás megy végbe.

A területre eső deformáció-sebességet szintén az FKP keretében elvégzett kutatások eredményei [118] alapján adták meg. Az FKP-30-ra értelmezett uniform, egységes, diffúz deformáció és a Pannon-medencében értékelt reprezentatív vektor-hossz változások alapján a deformáció-sebesség nagyságát a modellben 0,2 mm/év értékkel vették fel a legnagyobb főfeszültségi irányban. Így mind a jelenlegi állapot, mind pedig a geológiai közeljövőben várható állapot meghatározásához a modellezés során konkrét mérési adatokat lehetett felhasználni.

A modellezés legfontosabb bizonytalanságait egyrészt a geometria figyelembe vehető komplexitása (illetve kényszerű elhanyagolásai) valamint az alkalmazott feszültségtér, a mechanikai paraméterek és az anyagmodell megfelelősége határozza meg. Ennek kapcsán meg kell jegyeznünk, hogy a modell 20 km vertikális kiterjedése ellenére a modellezés során felhasználható tényadatok csak korlátozott mélységtartományból, illetve – egyes rétegek esetében – meglehetősen korlátozott számban álltak rendelkezésre. A szeizmikus kutatás során legfeljebb 3 km-ig, a fúrásos kutatás maximum 2 km-ig keletkeztek információk; míg a mért in situ feszültségadatok az 1240 m feletti zónából származnak. Mindezek miatt mind a geometriai kép, mind pedig a mechanikai adatok tekintetében jelentős extrapolációra, illetve szakirodalmi adatok bevonására is szükség volt. Ennek ellenére az is kijelenthető, hogy mindez a modellépítés során figyelembe vett hasonló nemzetközi projektekben sem volt másképp. Így a modellezést ebből a szempontból nem terhelte többlet-bizonytalanság.



429. ábra A fúrólukokban mért K_0 (Sh/Sv) alakulása a mélység függvényében

A vertikális felépítés a modellezési feladatok szempontjából releváns, szeizmikusan térképezett földtani határfelületek beépítésével valamint ettől lefelé a litoszféra szerkezetét tükröző határfelületek definiálásával alakult ki. A fúrásos kutatás kapcsán meghatározott, tehát a helyi felszíntől hozzávetőlegesen 2 km mélységet reprezentáló információk a modell teljes terjedelmét tekintve relatív magas adatsűrűséget és -bonyolultságot eredményeztek a felső 2 km-ben. Az összehasonlíthatóság érdekében szükség volt ezek generalizálására, leegyszerűsítésére, tehát a genetikailag és/vagy kőzetmechanikailag azonos viselkedésű rétegek összevonására is. Ehhez a kutatás során pontosított és elfogadott földtani felépítést használták fel. A modell további tagolásához felhasználták a nagyobb mélységre vonatkozó korábbi kutatási eredményeket és a szakirodalmi utalásokat is. Mindezek eredményeként a modellben 5 réteget definiáltak:

- 1. Pannon és Quarter
- 2. Alsó és Felső Miocén
- 3. Mezozóos-paleozóos aljzat
- 4. Gránitos felső kéreg
- 5. Gabbrós alsó kéreg

Ahol ezt a fúrásos kutatás adatai lehetővé tették, ott az egyes modellrétegek mechanikai paraméterezése korszerű kőzetmechanikai elvek alapján, az empirikus kőzettest-minősítés és a laboratóriumi kőzetmechanikai vizsgálatok eredményeinek kombinált – a GSI minősítési módszere alapozott, tehát valós fizikai jellemzőkkel operáló – figyelembe vételével történt meg. A kutatás keretében mintegy 3000 m fúrómagon történt empirikus kőzetmechanikai minősítés, illetve paramétertípusonként 40-200 db kőzetmechanikai laboratóriumi tesztet végeztek el. Így az eredmények a fúrásokkal feltárt kőzettípusok általános statisztikai jellemzésére is alkalmasnak bizonyultak. Mindezek miatt a modellezés során felhasznált, sok vonatkozásban a szakirodalmi adatoknál jóval alacsonyabb (tehát konzervatívabb) adatok megbízhatósága magas szintű. Azokban a felszínközeli rétegekben, ahol az említett kőzetmechanikai mérések a feltárt rétegek tulajdonságai alapján nem valósulhattak meg, a szintén megfelelő megbízhatóságú lyukgeofizikai szelvényezés alapján kalkulált paramétereket alkalmazták [273]. A legnagyobb bizonytalanságot természetesen ebben a vonatkozásban is a 2000 m alatti modellrétegek felparaméterezése jelentette: ezekre vonatkozólag csak szakirodalmi adatokat lehetett alkalmazni, amelyek számos tekintetben ellentmondásosnak bizonyultak. A modell bemenő paramétereit az 174. táblázat tartalmazza.

174. táblázat A modellrétegek bemenő kőzetmechanikai paramétereit

Modellrétegek	Mélység [km]	Testsűrűség [kg/m ³]		Young-modulus [GPa]		Poisson-tényező [-]	
		Érték	Származtatás	Érték	Származtatás	Érték	Származtatás
Pannon-Quarter	~ 0-0,5 km	2210	Lyukgeofizika	5,50	Lyukgeofizika	0,39	Lyukgeofizika
Miocén homokkő és vulkanit	~ 0,5-2 km	2353	Kőzettest paraméterezés	14,60	Kőzettest paraméterezés	0,25	Kőzettest paraméterezés
Paleozóos és mezozóos aljzat_felső kéreg (Aljzat1)	~2-5 km	2628	Kőzettest paraméterezés	13,62	Kőzettest paraméterezés	0,30	Kőzettest paraméterezés
Gránitos_felső kéreg (Aljzat2)	5-15 km	2623	Kőzettest paraméterezés	12,31	Kőzettest paraméterezés	0,36	Kőzettest paraméterezés
Gabbrós_alsó kéreg (Aljzat3)	15-20 km	2900	Lankreijer (1999)	70,00	Lankreijer (1999)	0,25	Lankreijer (1999)

A modellezés kiinduló fázisában fontos feladatnak bizonyult a geodinamikai modell célkitűzéseire és jellegére legjobban illeszkedő vetők kiválasztása és térbeli kiterjesztése. A kutatási területen belül, a 2D és 3D szeizmikus adatrendszeren azonosított és térképezett vetők közül a szerkezeti és fejlődéstörténetileg legjelentősebb vetőkről, illetve vetőrendszerekről (41 db) 3D numerikus vetőmodellek készültek [117]. E vetőmodelleket eredetileg a hidrogeológiai modellezések céljaihoz illeszkedően, 3,5 km mélységtartományig definiálták, noha azok a mérési adatokból csak kb. 2–2,5 km-es, vagy még ennél is sekélyebb mélységig voltak követhetők. A vetőmodellek 3,5 km-ig történő kiterjesztése a vető felső szakaszán észlelt dőlésszög folytatásával történt. Hangsúlyozni kell, hogy már e viszonylag sekély mélységre történő kiterjesztés során is számos, koncepcionális jellegű szerkezeti állásfoglalást kellett meghozni, hiszen a nagyobb mélységekben a vetők, illetve kölcsönös geometriai viszonyuk a rendelkezésre álló szeizmikus adatrendszerben közvetlenül már nem voltak észlelhetők.

Ennek a kiterjedt vetőmodell-rendszernek a változatlan átvétele a geodinamikai modellezés esetében azonban technikailag kezelhetetlen és értelmezhetetlen, túlságosan bonyolult deformációs képet eredményezett volna. Emellett a 3,5 km-ig történő kiterjesztés a geodinamikai modell követelményei szempontjából nem is volt elégséges.

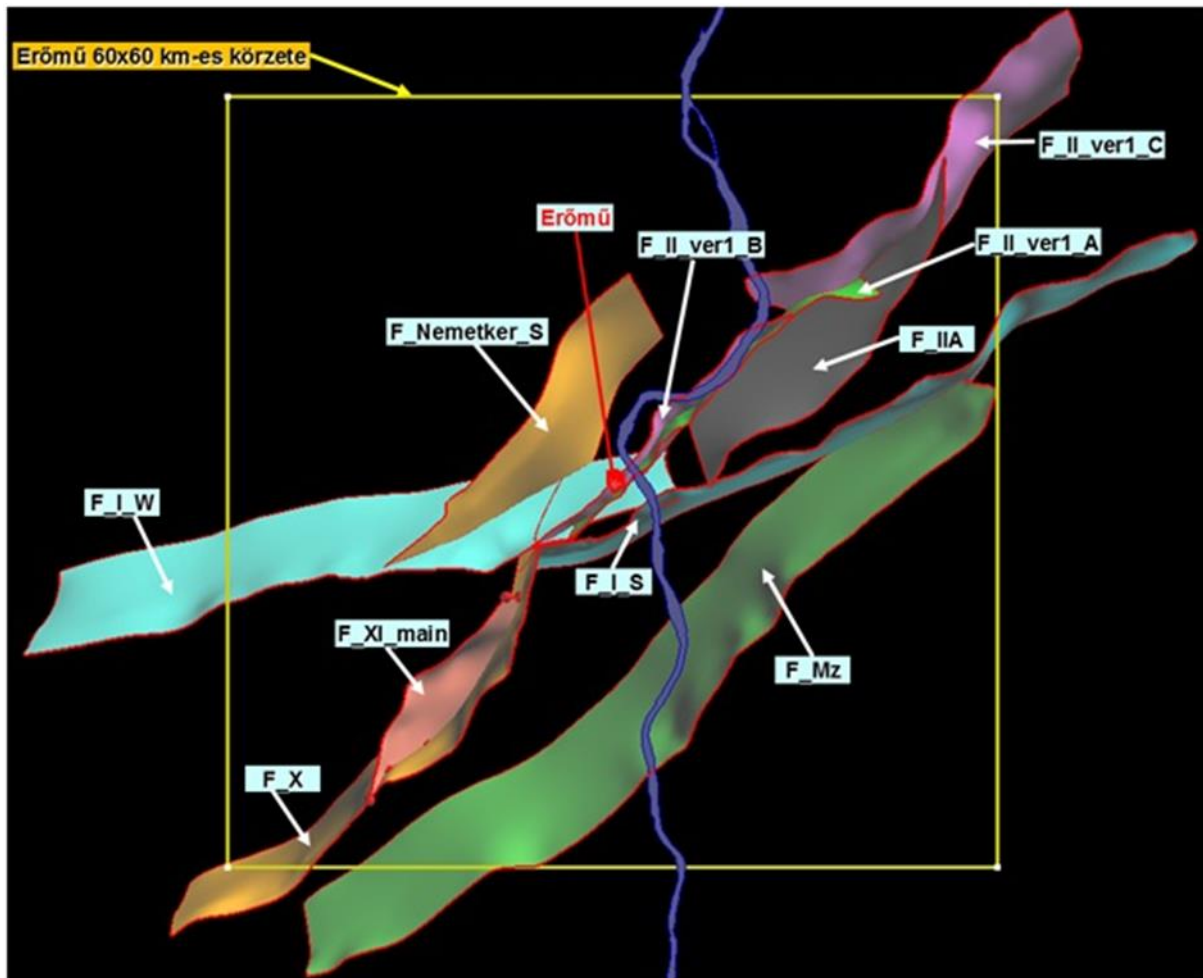
Részletes szerkezeti elemzés alapján a [117] jelentés szerzői a geodinamikai modellezés számára a kutatási területen azonosított és 3D numerikus vetőfelülettel rendelkezők közül azt a nyolc vetőt/vetőrendszert választották ki, amelyek a kutatási terület szerkezeti képében meghatározó szerepet játszanak és neotektonikai aktivitásuk is kimutatható (ld. 430. ábra). E vetők, illetve vetőrendszerek közös jellemzője, hogy a rendelkezésre álló 2D és 3D szeizmikus adatrendszerekben csapás mentén jelentős hosszban (min. 10–15 km) megbízhatóan követhetőnek és korrelálhatónak bizonyultak. A modellezés során figyelembe vett vetők/vetőrendszerek a következők voltak (zárójelben az egyes vetők/vetőrendszereknek a térképezés és az alábbi értelmezés során is alkalmazott jelölése található):

- „Kapos-vonal” nyugati ága (**F_I_W**)
- „Kapos-vonal” keleti ága (**F_I_S**)
- Bonyhádi-törés (**F_X**)
- Dunaszentgyörgy–Harta-vetőzóna (**F_II**, aminek több lehetséges realizációja közül a modellben a legbonyolultabb, **F_II_ver1** változatot vették figyelembe)
- Mecsekalja-öv (**F_Mz**)
- Németkéri-magaslat déli peremén húzódó vető (**F_Németkér_S**)
- Kapos-vonalat és a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzónát „átkötő” vető (**F_IIA**)
- Bonyhádi-törés legjelentősebb kiegészítő törése (**F_XI_main**)

További alapvető fontosságú elméleti és gyakorlati kérdést jelentett, hogy e vetők egyáltalán meddig folytatódhatnak a földkéreg mélyebb részében, illetve ott milyen geometriájúak. A [117] és [192] jelentésekben is részletesen leírt elvi megfontolások szerint a vetők „gyökere” kb. 10 km-nél mélyebbre jellemzően már nem nyúlik le a kutatási területen. Így a geodinamikai modellezéshez kiválasztott nyolc vető/vetőrendszer 3D numerikus vetőfelületét – a [117] és [192] jelentésekben leírt megfontolások alapján – 10 km-es mélységig terjesztették ki.

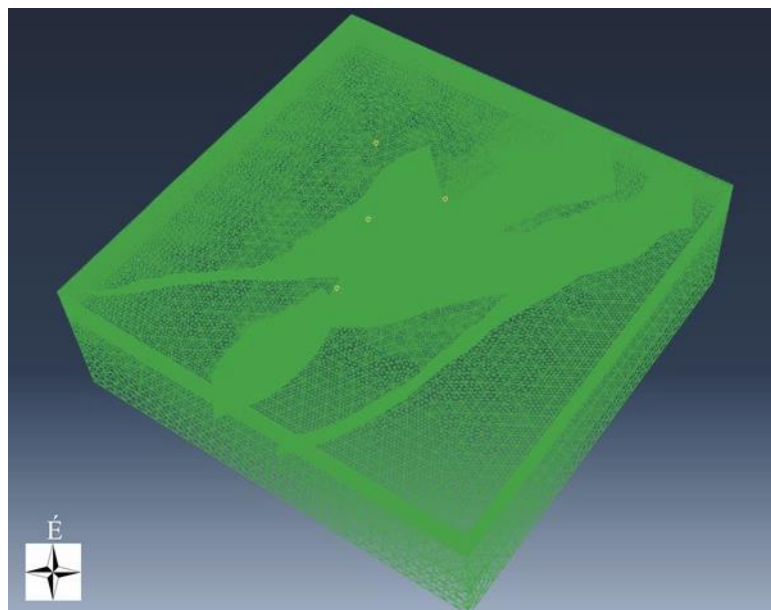
A modellezési számítások a Dassault Systemes SIMULIA termékportfóliójába tartozó Abaqus végeselemes szoftverben történtek. A tényleges, geofizikai mérések alapján meghatározott horizontokat és vetőfelszíneket tartalmazó geometriai modell felépítéséhez, valamint az eredmények feldolgozásához az Altair HyperWorks szoftvercsalád HyperMesh nevű termékét használták. Kijelenthető, hogy a modellezés megvalósítási környezete és a

modellezés során alkalmazott felbontás nem maradt el a publikált hasonló kutatások színvonalától.



430. ábra A geodinamikai modellezéshez kialakított 3D vetőmodell felülnézeti képe a térképezés során használt vető nevezéktannal ([117], [192])

A megfelelő célszoftverek alkalmazása révén a földtani-tektonikai modellből átadott vetőket, illetve vetőrendszereket minden esetben a geológiai valóságot legjobban tükröző verziójukkal sikerült beépíteni a 3D-s geodinamikai modellgeometriába, így a vetők további szűrésére, a geometriát leegyszerűsítő 2D-s modellek felépítésére és futtatására – az eredeti tervekkel ellentétben – nem is volt szükség. A 431. ábra a vetőfelületekkel kiegészített 3D modellgeometriát mutatja be, immár az alkalmazott szoftverek segítségével felépített hálózással. Ez a geometria közel 3 millió elemet tartalmazott, ami a numerikus számítások idő- és hardverigényét jelentősen megnövelte.



431. ábra A vetőkkel felépített 3D geometria hálója

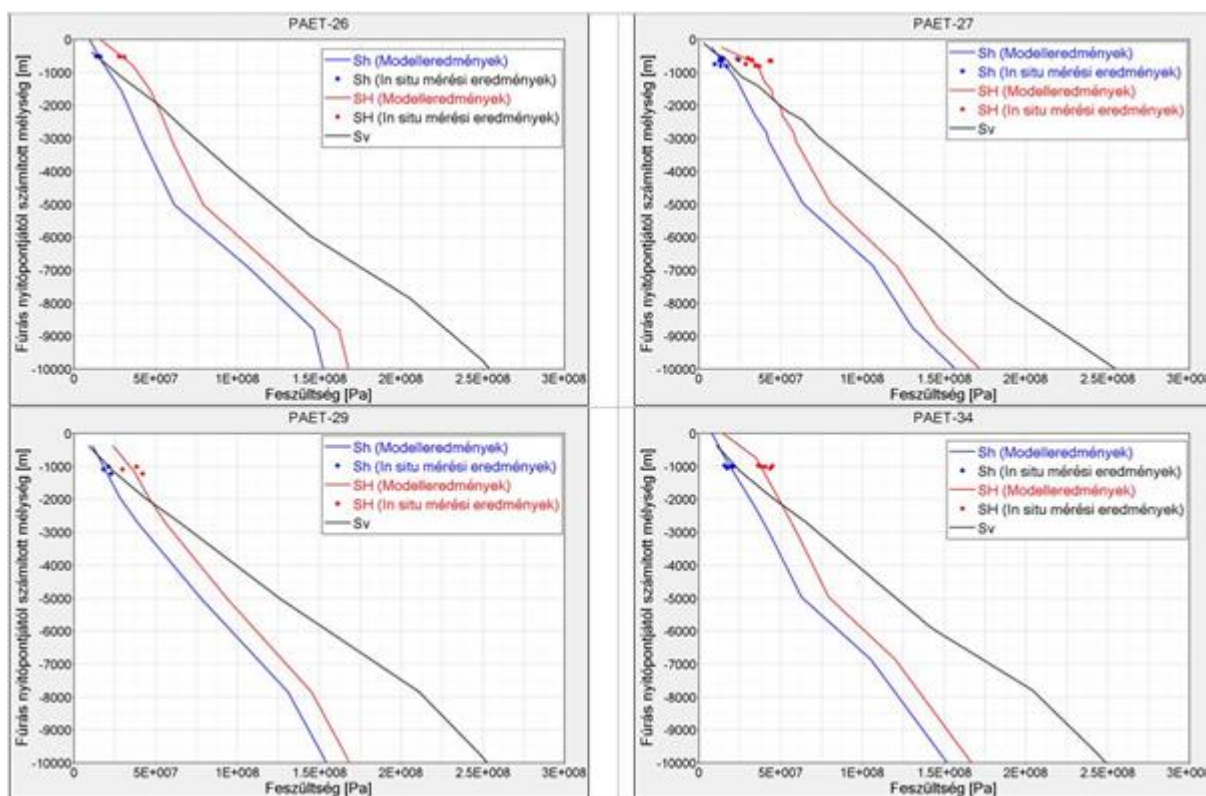
A modellezés előkészítése során több rész tanulmány is készült. A modellterületre meghatározott hőmérsékleti tér ([192] jelentés függeléke) felhasználásával kiszámították a terület litoszféra-erősség profilját. A 10 - 15 s-1 deformációsebesség mellett a töréses-képlékeny átmenet 7 – 9 km között adódott (7,9 km). A 10-16 s-1 deformációsebesség mellett a töréses-képlékeny átmenet 6 – 9 km között van (~7 km). Meg kell jegyezni azonban, hogy a területileg és mélységben is diffúz jellegű szeizmicitási kép [121] azt is jelzi, hogy a töréses-képlékeny átmenet becslése a területen korlátozott érvényű. A Pannon-medence központi részére — melynek részét alkotja a Paks környéki kutatási terület is — vonatkozó adatok alapján a földrengések túlnyomó többsége a kb. 5 – 12 km-es mélységtartományban pattan ki, és 13 – 14 km-nél mélyebb fészkeű rengések már csak nagyon kis gyakorisággal fordulnak elő [121]. Más szóval: a földrengések lényegében a törésesen deformálódó felső kéregre korlátozódnak. Éppen ezért a numerikus modellezés során a viszkózus deformációk hatását elhanyagoló lineárisan rugalmas anyagmodellt (konstitutív modellt) használtak. Ez a konstitutív modell a rideg töréses zónára maradéktalanul, az átmeneti zónára korlátokkal tekinthető érvényesnek. Mivel a vetők csak az átmeneti zóna alsó határáig kerültek kiterjesztésre, így a komplexebb anyagmodellek figyelmen kívül hagyása megengedhető egyszerűsítésnek tekinthető.

Mivel a termikus hatásokat és a pórusvíznyomás hatásait a modellezés során más módon vették figyelembe, a modellfuttatások nem kapcsolt számítással történtek.

A felépített modellel való számításokat – a nemzetközi szakirodalomban javasoltaknak megfelelően – több lépcsőben végezték el. A modell felparaméterezése valamint a terhek és peremfeltételek beállítása után az önsúlyterhelés hatására fellépő feszültségtér számítása történt meg. Ennek hatására a modellben – a kiinduló, feszültségmentes állapothoz viszonyítva – kb. 170 m látszólagos felszínsüllyedés jelentkezett (ez tulajdonképpen a konszolidáció folyamatának felgyorsított szimulációja). Ezt követően a következő munkamodellek kiinduló állapotaként már ez a feszültségtér került definiálásra, aminek hatására a gravitációs teher alkalmazását követően a felszínsüllyedés zérusnak adódott.

A tektonikai eredetű többletfeszültségeket ezt követően újabb terhelési lépéssel definiálták. Ennek során a modellben olyan kinematikus peremfeltételeket alkalmaztak,

amelyek eredményeként az FKP keretében mélyített egyes fúrásokban mért, illetve számított S_h és S_H paraméterek átlagos értékét [187] a modell visszaadta az adott mérési pont modellben értelmezett helyén. A S_h , S_H így kiszámított mélységbeli alakulását az egyes fúrások tengelyvonalában a 432. ábra mutatja be, a rétegterhelésből meghatározott S_v (vertikális normálfeszültség) alakulásával együtt. A mérési adatok bevonása egyúttal a modellben előállított jelenkori feszültségtér kalibrációját is jelenti. Ismét hangsúlyozni kell, hogy – ahogy azt a 432. ábra is jól érzékelteti – az adott mérési pontokon értelmezett S_h és S_H értékek csak igen szűk, a teljes modell vertikális kiterjedéséhez viszonyítva peremi helyzetű térrészeket jellemeznek. Így ezek felhasználásával többféle feszültségtér-realizáció is elképzelhető lehetne. A modellezés során alkalmazott kalibrációs megoldás azonban a mérési pontok konkrét adatai mellett még egy kiegészítő kritériumnak is megfelel. A 0 - 10 000 m mélységtartományban az ily módon számított feszültségtér minden pontja eleget tesz a horizontális és vertikális normálfeszültségek arányára vonatkozó, a világszerte elvégzett primerfeszültség-mérések alapján az [40] publikációban megadott mélységbeli trendeknek. Ez konkrétan azt jelenti, hogy a $0,5 \times (S_h + S_H) / S_v$ képlettel értelmezett átlagos k -tényező a felszínközeli zónában, mintegy 1000 – 1500 m mélységig (a mérési adatoknak is megfelelően) meghaladja az 1 értéket, majd fokozatosan csökkenve, 3000 m mélység alatt már konstansként (0,6) vehető figyelembe. Hasonló, a mélység függvényében változó k -értékekkel elvégzett számításokat dokumentálnak pl. a [41], [240] publikációk is. Így ez a megoldás mindenképpen realiztikusnak tekinthető.



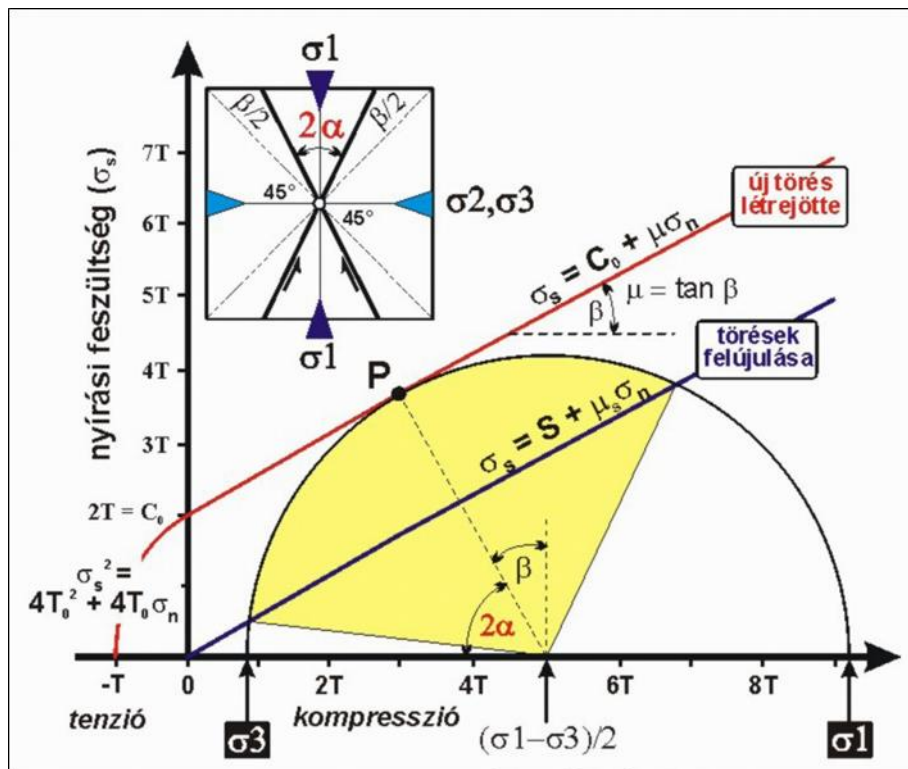
432. ábra A horizontális főfeszültségek eloszlása a PAET-26,-27,-29,-34 fúrásokban

A modellben előállított horizontális főfeszültségek eloszlása a PAET-26,-27,-29,-34 fúrások tengelyvonalában, valamint az egyes fúrások in situ hidropesztéses vizsgálataiból származó horizontális főfeszültségek ábrázolása (S_H : maximális horizontális, S_h : minimális horizontális, S_v : vertikális főfeszültség).

A jelenkori feszültségtérben a vetők felülete mentén ható, a fentiek szerint számítható nyíró- és nyomófeszültségek alakulása alapvető, de nem elégséges információ a vetőfelületek

megcsúszással szembeni ellenállási tartálékának meghatározásához. Ahogy azt a [187] jelentés részletesen bemutatja, a kőzetek tönkremeneteli folyamatainak elemzésére, illetve előrejelzésére számos tönkremeneteli elmélet van használatban. A 433. ábra a Mohr-Coulomb tönkremeneteli elmélet szerint szemlélteti az intakt mátrix-anyagban először kialakuló törések létrejöttének, illetve azok felújulásának (reaktivációjának) folyamatát. A laboratóriumi vizsgálatok azt mutatják, hogy a már végbement törések síkjában a kőzet kohéziója radikálisan lecsökken, szélső esetben akár $C_0 = 0$ értéket is felvehet. (Meg kell jegyezni, hogy a gyakorlatban a már tönkrement kőzetek esetében is értelmezhető zérustól eltérő értékű kohézió, amit viszont az ilyen modellezési munkák során általában – konzervatív jelleggel – figyelmen kívül hagynak). Így, bármilyen tönkremeneteli elméletet veszünk is alapul, az intakt kőzet tönkremeneteli határgörbéje a legtöbb esetben az első tönkremenetelt követően kialakuló ún. reziduális határgörbe felett helyezkedik el (bár szemcsés, gyenge kötőanyagú üledékes kőzetek esetében nem feltétlenül ez a helyzet). Más szóval: amennyiben az adott kőzetben már bekövetkezett valamilyen dezintegráció, úgy a módosuló feszültségterek következtében a már meglévő repedés mentén jóval nagyobb valószínűséggel történik elmozdulás (tehát a repedés felújulása), mint bármely más sík mentén.

A fentiekben bemutatott képnek megfelelően a modellben a vetőfelületeket önálló csúszófelületekként kezelték, azokat kontakt párokként definiálva. A kohézió értékét – összhangban a szakirodalmi ajánlásokkal – nullának feltételezték. A felületi párok közötti mechanikai viselkedést tehát kizárólagosan a globális, a teljes vetőfelület mentén egységesen értelmezett μ súrlódási tényezővel jellemezték. Ez a 433. ábra szerint az ún. belső súrlódási szög (az ábrán β) tangensével egyenlő. Így egyértelmű, hogy a μ magasabb értéke a tönkremenetel (felújulás) valószínűségének csökkenéséhez, míg alacsonyabb értéke a felújulási valószínűség növekedéséhez vezet. A fentiek szerint az is természetes tehát, hogy a kapott eredmények a μ megválasztására igen érzékenyek.



433. ábra A kompressziós tartományban a Mohr-Coulomb, míg a tenziós tartományban a Griffith elméletnek megfelelő tönkremeneteli határgörbe, a törések reaktivációjának értelmezésével

Ahogy azt a [192] jelentés részletesen ismerteti, a modellezés során az egyik legmagasabb szintű bizonytalansági faktort az alkalmazandó globális súrlódási tényező helyes megválasztása jelentette. Részben szakirodalmi adatok, részben pedig az elvégzett laboratóriumi mérések alapján úgy látszott célszerűnek, ha a felépített numerikus modellt kétféle verzióban is megvizsgálják, illetve futtatják. A konzervatív módon felvett $\mu = 0,3$ súrlódási tényező implicit módon magában foglalja a pórusnyomás hatását is, míg a $\mu = 0,6$ súrlódási tényezővel végzett futtatások eredményeiből a pórusnyomás-adatok hatását utólagosan kellett visszaszámítani. A vizsgált vetőfelületek esetében a $\mu = 0,3$ -nál alacsonyabb globális súrlódási tényező alkalmazása semmiképpen nem indokolt, még szélsőséges állapotok elemzésére sem.

Hangsúlyozni kell, hogy a pórusnyomás nélküli esetre a szakirodalomban (pl. [45]) javasolt 0,6 – 1,0 intervallumból itt is a vetőstabilitás szempontjából legkedvezőtlenebbet választották a részletes számítások elvégzéséhez. A $\mu=1,0$ értékkel elvégzett egyes kiegészítő vizsgálatok eredményeit már csak a modellezési eredmények pontosabb értelmezéséhez használták.

A vetőfelületek megcsúszással szembeni ellenállási tartalékának jellemzésére szolgáló legfontosabb mérőszám a normalizált csúszási tendencia (slip tendency) értéke, amit a vonatkozó szakirodalom alapján a következőképp kell definiálni:

$$ST = \frac{\tau}{\mu \cdot \sigma_n}$$

A csúszási tendencia értelmezése a pórusnyomás figyelmen kívül hagyásával

ahol:

- τ : a felület adott pontjában fellépő nyírófeszültség
- σ_n : a felület adott pontjában fellépő normálfeszültség
- μ : a felület súrlódási tényezője

Az ST 0 és 1 közötti értékeket vehet fel. A magasabb ST érték azt jelzi, hogy a vizsgált felszín közelebb van a tönkremenetelhez, tehát nagyobb a valószínűsége a csúszásnak. A vonatkozó szakirodalom egységes abban a tekintetben, hogy az ST értékek alakulását valószínűségi szemlélettel és a tágabb környezet adatainak alakulásával együtt kell értelmezni. Más szóval ez azt jelenti, hogy a vető mentén az ST változásainak vizsgálata a releváns, nem pedig az ST abszolút értékei. Ezen elv szerint nem kizárólag akkor fordulhat elő megcsúszás, ha az ST értéke eléri az 1-et. Ezzel együtt azonban egy-egy adott pontban számított ST = 1 érték sem jelenti tehát feltétlenül a vetőfelület megcsúszását, ha a teljes vetőfelület generális állapota egyébként messze van a kritikus állapottól. Mindezek miatt egy egyértelmű, kritikus vágási határ megállapítása nem lehetséges.

Számos publikációban az olvasható, hogy már 0,7-nél magasabb ST értékek esetén is megnőhet a csúszás valószínűsége (pl. [41], [190], [228], [240]). Egyes értelmezések szerint mindez az idézett szerzők által elvégzett, illetve elemzett numerikus modellszámítások bizonytalanságaival függ össze (elsősorban azzal, hogy explicit módon ezek a munkák nem vették figyelembe a pórusnyomást). Ezért – természetesen fenntartva a valószínűségi értelmezés kapcsán a fentiekben írottakat – a $\mu = 0,6$ súrlódási tényezővel, a pórusnyomás nélkül végzett számítások eredményeinek értékelésénél a geodinamikai modellezést végzők az ST > 0,7 értékeket tekintették kritikusnak. Ott azonban, ahol a $\mu = 0,3$ súrlódási tényező

feltételezésével a pórusnyomás hatását már impliciten figyelembe vették, csak az 1-hez közeli vagy az azt elérő adatokat tekintették problémásnak.

Azáltal, hogy a normálfeszültségek hatását csökkenti, a vetőfelületen ható pórusnyomás kedvezőtlen irányú befolyással van a csúszási tendencia értékére. A pórusnyomás (P_f) hatását bevezetve a következő összefüggés adódik:

$$ST = \frac{\tau}{\mu \cdot (\sigma_n - P_f)}$$

A csúszási tendencia értelmezése a pórusnyomás bevezetésével

Ahogy az már említésre került, ezt a hatást a modellezők a $\mu = 0,3$ súrlódási tényezővel implicit módon figyelembe vették. A $\mu = 0,6$ súrlódási tényező alkalmazásával végzett modellszámítások során közvetlen módon viszont csak a pórusnyomás figyelembe vétele nélkül számított csúszási tendencia explicit meghatározására volt lehetőség. A modell ugyanis – nem kapcsolt feladatként értelmezve – a mechanikai feszültségek mellett egyidejűleg nem tudja kezelni a mélységgel változó pórusnyomás értékeket. Ezért a pórusnyomás hatását a $\mu = 0,6$ súrlódási tényező esetében közvetett úton kellett megvizsgálni. A fenti képlet átrendezésével, $ST = 1$ feltételezéssel élve az exportált modell-adatok felhasználásával azt számították ki, hogy az adott elemi vetőfelület a hidrosztatikus állapothoz képest mekkora mértékű többlet-pórusnyomást képes még felvenni a megcsúszásig. Ennél is fontosabb információ azonban az, hogy az adott mélységben feltételezett hidrosztatikus állapothoz képest mekkora (anomális) többlet- (vagy tartalék-) nyomás engedhető még meg a vetőfelületeken. Mivel a fenti képletben az $ST = 1$ állapot eléréséhez ható pórusnyomás (P_f) felírható a hidrosztatikus nyomás (P_{hs}) és a többlet-pórusnyomás (P_t) összegeként is, $ST = 1$ érték feltételezésével és az egyenlet átrendezésével a következő összefüggés adódik:

$$P_t = \frac{\mu(\sigma_n - P_{hs}) - \tau}{\mu}$$

A megcsúszási állapot ($ST=1$) eléréséhez a hidrosztatikus nyomáson túlmenően szükséges többlet-(tartalék-) pórusnyomás értékének számítása

A modellből az egyes elemi vetőfelületeken értelmezett σ_n és τ értékeket – a hozzájuk tartozó mélység-értékekkel együtt – exportálták, és a fenti képlet alapján minden pontra kiszámították a P_t értékeket. Ezek alapján az összes elemzett vetőre, illetve összevont vetőrendszerre is megkapható volt a P_t – mélység összefüggés.

A jelenlegi feszültségtérre jellemző ST érték mellett egy-egy terület geodinamikai jellemzése során fontos a ΔST értékek számítása és azok alakulásának elemzése is. A ΔST érték azt mutatja meg, hogy a feszültségtér módosítása, illetve a jelenlegi feszültségtér hatásainak hosszabb időskálán való kiterjesztése hogyan befolyásolja az adott vetőfelület csúszási tendenciáját. A ΔST érték a következő módon definiálható:

$$\Delta ST = ST_2 - ST_1$$

A csúszási tendencia megváltozásának definíciója

ahol:

- ST_2 : a módosított feszültségtérben számolt csúszási tendencia a vetőfelület adott pontján

- ST1: a kiinduló feszültségtérben számolt csúszási tendencia a vetőfelület adott pontján

Értelemszerűen, ha ΔST pozitív, az kedvezőtlen irányban befolyásolja, azaz növeli a megcsúszás valószínűségét az elemzési időskálán belül.

A csúszási tendencia időbeli változásának (ΔST) vizsgálata érdekében a vetőket is tartalmazó modellt – a jelenkori feszültségtér előállítását és az ST értékek számítását követően – a modellezés kivitelezői egy további számítási lépéssel is kiegészítették. Ezen lépés során azzal a feltételezéssel éltek, hogy a fő tektonikai mozgások iránya a recens feszültségtér kialakulásához vezető irányokkal megegyező marad, mértéke pedig a vizsgálati időszakban állandó, a jelenleg ismert deformációsebességgel azonos. Annak érdekében, hogy a feszültségváltozás elérje a megfelelő elemzéshez szükséges nagyságot, és hogy a csúszási tendencia érték változása megfelelően értékelhető legyen, a vizsgálathoz a 100 000 éves időintervallumot választották ki. E munka során azzal a feltételezéssel éltek, hogy a kompresszió iránya ezen az időszakon belül megegyezik a jelenkori főfeszültségek előállításához felhasznált iránnyal, mértéke pedig a jelenlegi deformáció sebességével azonos és állandó lesz.

A fentiek mellett szerkezetföldtani szempontból az is igen fontos információt hordoz, hogy az egyes vetők, illetve azok elemi felületei a modellszámítások szerint milyen tektonikai jelleget, stílust mutatnak. Az elemzés alapjaként meg kell vizsgálni minden egyes nyírófeszültség-vektornak az adott elemi vetőfelületek dőlés- és csapásirányával bezárt szögértékét. A dőlésiránnyal bezárt szög (α) az általános tektonikai stílusról ad információt, míg a csapásiránnyal bezárt szög (β) alapján a tektonikus jelenség jellegét, eltolódási irányát (balos vagy jobbos) lehet megadni.

Hangsúlyozni kell, hogy amíg a szerkezetföldtani megfigyelések során valódi, már bekövetkezett deformációs folyamatokból vonhatók le a tektonikai stílusra vonatkozó következtetések, addig a modellszámítások eredményeképpen nyerhető adatok fizikai tartalma más. Itt – legalábbis a vető menti elmozdulás tényleges bekövetkeztéig – a számítható nyírási deformációk szintje igen alacsony. Így itt csak a számított nyírófeszültségek orientációjának alakulásából ítéltethető meg, hogy az adott vető adott zónájában milyen jellegű elmozdulásokra van meg a potenciális lehetőség. Ezt tehát inkább „potenciális tektonikai stílusnak” célszerű nevezni. Ettől függetlenül ezeket az adatokat a [192] jelentésben leírt módszerrel meghatározták és összevetették a szerkezetföldtani megfigyelésekből kapott értelmezésekkel.

A 3D modellezés – a következő megfontolások révén – alkalmasnak bizonyult a feszültségtér vetők menti torzulásainak meghatározására és szemléltetésére is. A feszültségtenzor (S) lokális koordinátarendszerének tengelyei a regionális főfeszültségi irányokkal párhuzamosan kerültek felvételre. Ezért a modell homogén, a vetőzónák által nem befolyásolt, homogén feszültségi terének minden pontjában a térbeli főirányokban uralkodó normálfeszültségek egyben főfeszültségek is lennének, így – a lokális koordinátarendszerben értelmezett – térbeli főirányok által meghatározott síkokban csúsztatófeszültségek nem ébrednének. A vetőfelületekkel kiegészítve felépített modellterületen belül azonban a főfeszültségi irányok a vetők közvetlen környezetében eltérhetnek e térbeli főirányoktól, így ebben az esetben a feszültségtenzor regionális fősíkokban értelmezett nyírófeszültségeinek ($S_{XY} = -S_{YX}$, $S_{XZ} = -S_{ZX}$ és $S_{YZ} = -S_{ZY}$) számértékei közül egy vagy több markánsan eltérhet a zérustól. E vizsgálattal tehát a feszültségtér lokális torzulásai térképezhetővé váltak.

3.4.2.2 A geodinamikai modell legfontosabb eredményei

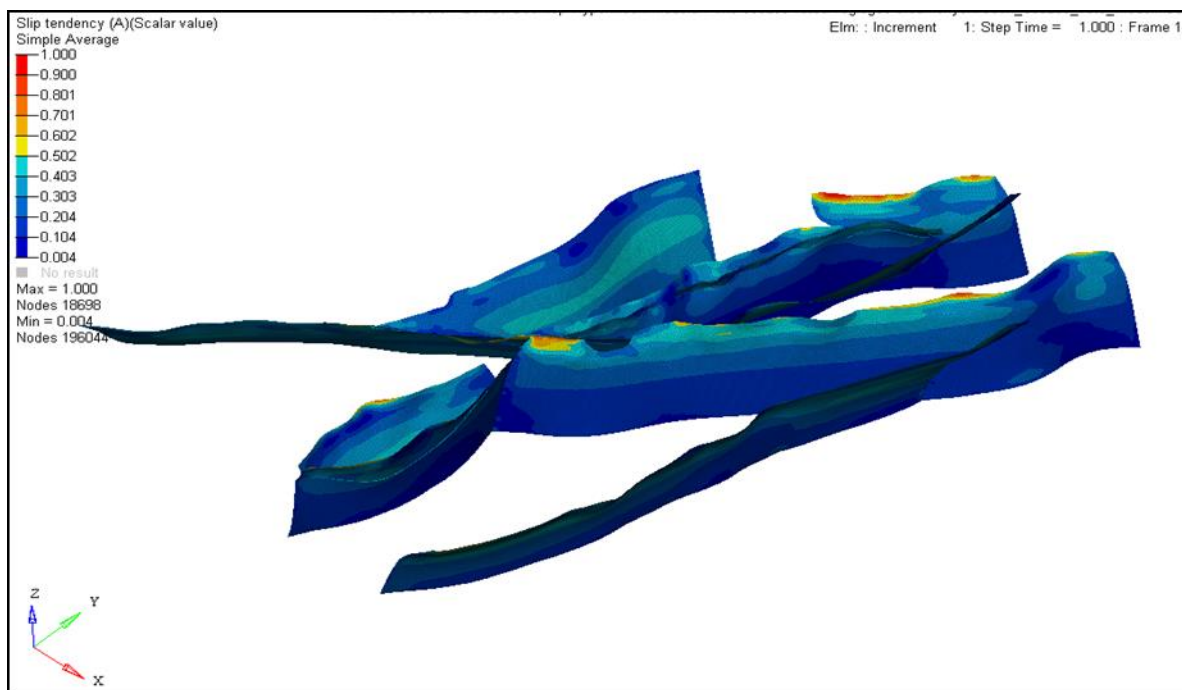
A [192] jelentés részletesen dokumentálja a fentiekben ismertetett elvek alapján és munkamenettel elvégzett 3D numerikus geodinamikai modellezés eredményeit. Az egyes értékelési szempontok alapján a dokumentum mellékletei az egyes vizsgált vetőkre/vetőrendszerekre vonatkozólag külön-külön is megadják a kapott eredményeket. Ezeket terjedelmi okokból jelen anyaghoz nem mellékeljük. Az alábbiakban a jelentés legfontosabb megállapításai olvashatók, egy-egy példa-ábrával vagy az összes vető adatait egyszerre bemutató ábrával szemlélítve.

A felépített és paraméterezett modell egyik legfontosabb eredménye a vetőfelületek megcsúszással szembeni ellenállási tartalékról információt adó csúszási tendencia (slip tendency – ST) értékek meghatározása a vizsgált vetőfelületek mentén. Ismét hangsúlyozni kell, hogy – mint ahogyan a szeizmológiai gyakorlatban is – az ST-adatok elemzésével csak tendenciákat és valószínűségeket lehet megállapítani; egyértelmű megállapítások ezen az úton sem tehetők.

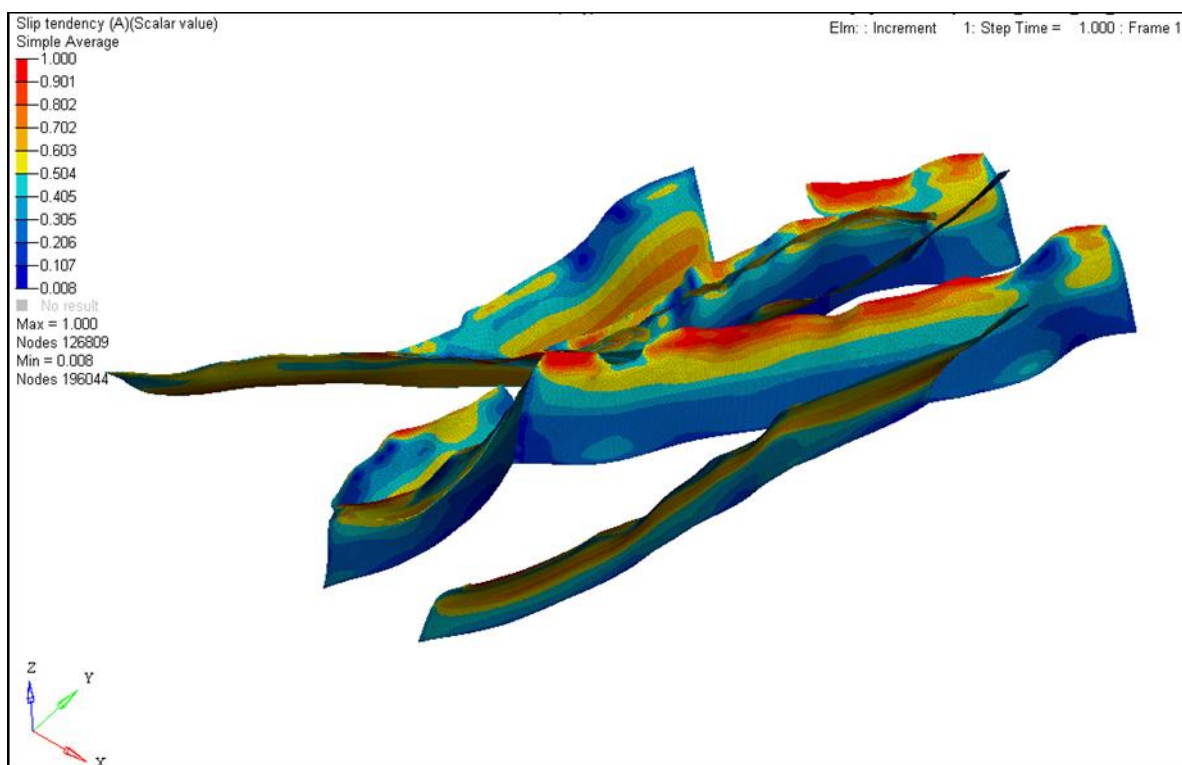
A magasabb, a realiztikus tartomány konzervatív szélsőértékét jelentő súrlódási tényező ($\mu = 0,6$) alkalmazásával elvégzett számítások szerint a legmagasabb ST értékeket, tehát a legkevesebb tartalékot a Dunaszentgyörgy-Harta (F_II_ver1) vetőzóna legfelső részein és a „Kapos-vonal” keleti ágának (F_I_S) legfelső részein lehet tapasztalni (434. ábra). Itt az ST több ponton is meghaladja a 0,8 értéket. (Ahogy az már említésre került, a vonatkozó szakirodalomban a pórusnyomás nélküli esetben már az $ST > 0,7$ értékeket is kritikusnak tekintik.) Bár itt is érvényes az a megállapítás, hogy nem csak az egyedi értékeket, hanem a tendenciákat kell vizsgálni, ez egybevág a 3D földtani modell neotektonikus szerkezeti aktivitásról tett megállapításaival [117].

A konzervatív szélsőértékként figyelembe vett $\mu = 0,3$ csúszási tényezővel számított csúszási tendencia (ST) értékek értelemszerűen megnöttek a $\mu = 0,6$ esethez viszonyítva, bár jellegük és mélységbeli lefutásuk hasonló maradt. Ebben a változatban a modellbe beépített összes vető esetén lehetett $ST = 0,7$ -nél magasabb ST-értékeket tapasztalni a felszínhez közeli részeken. Az $ST = 1$ értékek is megfigyelhetők a Dunaszentgyörgy-Harta (F_II_ver1) vetőzónán, a „Kapos-vonal” keleti ágán (F_I_S), valamint a „Kapos-vonal” nyugati ágának a Bonyhádi-töréshez és a Dunaszentgyörgy-Harta vetőzónához csatlakozó részén is. A magasabb ST-értékek ezen esetekben is a felszínközeli zónákban tapasztalhatók (435. ábra). Ezen eredmények tehát csak részben hasonlítanak a 3D földtani modell megállapításaihoz [117]. Az eredmények értelmezéséhez azonban további részletező vizsgálatokra volt szükség.

Az 434. ábra és 435. ábra bal alsó sarkában feltüntetett lokális koordinátarendszer megfelelő értelmezéséhez rögzíteni kell, hogy a lokális „y” tengely a földrajzi É-i irányhoz képest az óramutató járásával megegyezően 27° -kal elfordított helyzetben található. Ugyanez érvényes valamennyi alábbi, az eredményeket perspektivikus nézetben bemutató összefoglaló ábrára is.



434. ábra Számított csúszási tendencia értékek a recens feszültségtérben ($\mu=0,6$) (perspektivikus nézet) [192]

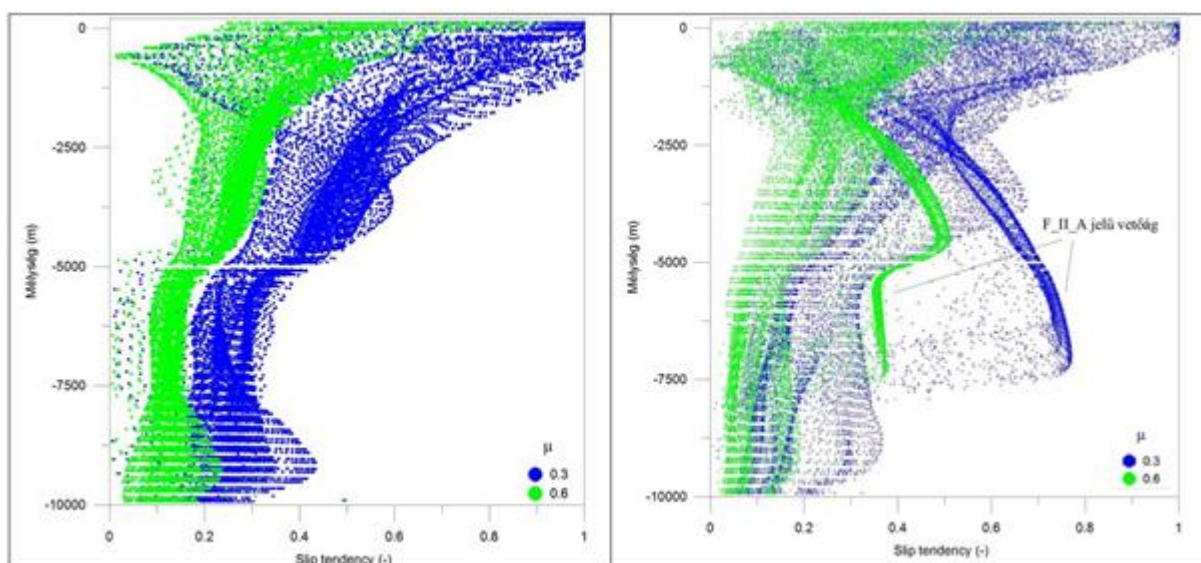


435. ábra Számított csúszási tendencia értékek a recens feszültségtérben ($\mu=0,3$) (perspektivikus nézet) [192]

A vetők potenciális elmozdulása kapcsán értelemszerűen nem az egyedi pontok csúszási tendenciája a lényeges, hanem az is, hogy az adott vetőn belül az egyes zónák csúszási tendenciája mennyire tekinthető homogénnek. Így a reaktiváció valószínűségének értékeléséhez nem csak (és nem is elsősorban) – az általában a felszín közelében adódó – maximális értékeket kell figyelembe venni. A gyakorlati tapasztalatok szerint ugyanis azok a vetők, illetve vetőágak hajlamosak valóban a reaktivációra, amelyek csúszási tendencia-értéke

nem csak a felszín közelében, hanem nagyobb, több kilométeres mélységben is meghaladja a kritikus határt. Éppen ezért megvizsgálták és értékelték az ST mélységbeli és laterális alakulásának tendenciáit is.

A csúszási tendencia értékek vetőnkénti, illetve vetőrendszerenkénti alakulását a mélység függvényében vizsgálva azt tapasztalták, hogy az ST adatok felszínközeli és mélységbeli lefutása az egyes vetők esetében eltérően alakul. A két fő típust a 436. ábra két képe mutatja be, amelyek összevontan ábrázolják a $\mu = 0,6$ és $\mu = 0,3$ súrlódási tényezővel kapott adatokat. Az ábrák helyes értelmezéséhez meg kell említeni, hogy a modellben egyes, peremi helyzetű hálóelemek adatai sokszor a fő trendbe nem tartozó, ritkább, diszperz pontokként jelentkeznek. Ezeknek gyakorlati jelentőségük korlátozott.



436. ábra Csúszási tendencia értékek alakulása a mélység függvényében

Csúszási tendencia értékek alakulása a a Kapos-vonal keleti ágának (F_I_S jelű vető – bal oldali kép), illetve a Dunaszentgyörgy-Harta vetőrendszer (F_II_ver1 és F_II_A jelű vetők összevontan – jobb oldali kép) felületé mentén, a mélység függvényében.

A fő trendbe tartozó adatok lefutásának elemzése során megállapítható volt, hogy az egyik fő típusba azok a vetők tartoznak, ahol a legfelső néhány kilométer viselkedésében van a legnagyobb potenciál az instabilitásra, míg a mélység felé haladva ezek az értékek monoton csökkennek. Jó példa erre a típusra a 436. ábra bal oldali képén bemutatott F_I_S jelű vető, ahol $\mu = 0,6$ súrlódási tényező mellett már 1-1,5 km alatt bekövetkezik az ST-értékek drasztikus csökkenése. E mélység alatt az ST értéke a legtöbb esetben 0,5 alá kerül, ami megfelelő szintű biztonságra utal. Kritikusnak tekinthető, $ST > 0,7$ eset szinte csak a legfelső néhány 100 méterben fordulhat elő. $\mu = 0,3$ esetben ez a kép értelemszerűen jóval kedvezőtlenebbül alakul: természetesen mindenütt magasabbak a meghatározott ST értékek, mint a $\mu = 0,6$ esetben, és azok jelentős csökkenése is általában csak a 2 500 – 3 500 m alatti zónában következik be.

A 436. ábra jobb oldali képe, a Dunaszentgyörgy-Harta (F_II_ver1) vető F_II_A jelű ágának példáján azt szemlélteti, hogy nem minden vizsgált vető esetében ugyanilyen kedvező a kép. Egyes vetőknél a mélység felé haladva pozitív értelmű ST-tendencia is kirajzolódik, mégpedig akár 7 – 9 km mélységig is. Az F_II_A vetőág mentén a csúszási tendencia érték a felszíntől lefelé egészen a közös gyökérszóna mélységéig növekszik. A már említett vető

mellett hasonló kép mutatkozik a Kapos-vonal nyugati ága (F_I_W), a Németkér (F_Nemetker_S), a Mecsekalja-zóna (F_Mz) és a Bonyhádi törésrendszer kiegészítő törése (F_XI_main) esetében is. Ezzel együtt még az említett, kedvezőtlenebb adottságú vetőkről is elmondható, hogy 2-3 km-t meghaladó mélységben $\mu = 0,6$ csúszási tényező mellett a fő trendbe tartozó elemek maximális értéke általában nem haladja meg az $ST = 0,5$, míg $\mu = 0,3$ csúszási tényező esetében az $ST = 0,8$ értéket. Ebből a szempontból ez az elemzés viszonylag elfogadható szintű stabilitásra utal.

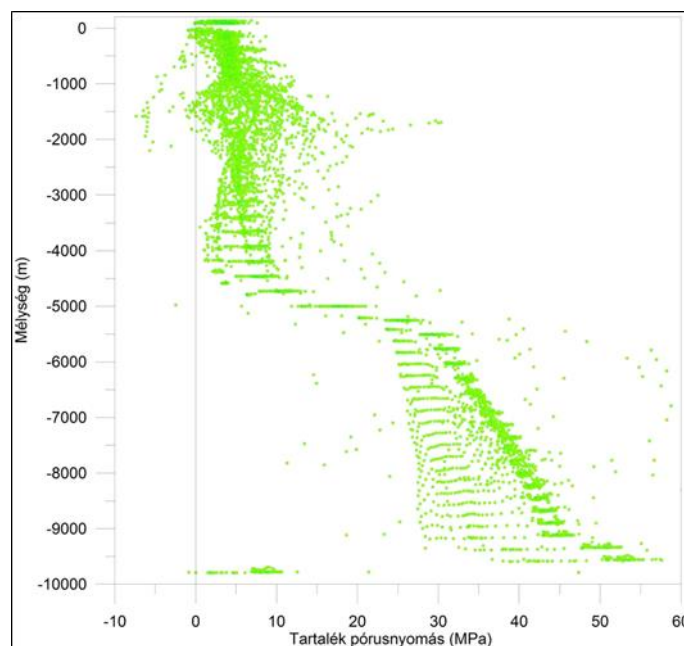
Itt kell visszatérni azokra a vetőkre, amelyeknél a $\mu = 0,3$ csúszási tényezővel végzett számítások a felszín közelében látszólag kritikusan magas ST értékeket eredményeztek. Tekintettel arra, hogy a vető tényleges reaktivációjához egyidejűleg kell teljesülnie több követelménynek is (elsősorban a megfelelően magas csúszási tendencia értékek és a nyírófeszültségi irányok viszonylagos homogenitásának), ezek a magas ST értékek nem jelentik automatikusan az említett vetőzónák elmozdulását. Márpedig az említett vetőzónák esetén éppen ezek a homogenitási követelmények nem teljesülnek, hiszen mindegyik esetében a mélység felé csökkenő tendenciájú ST-eloszlás adódott.

A [192] jelentésben részletezett okokból a vetők 10 km-es mélységi kiterjesztésének tartományán belül három mélységintervallumot különítettek el (0-2 km, 2-7 km, illetve 7-10 km), és ezekre külön-külön végezték el az elemi vetőfelületek exportált adatainak statisztikai elemzését. Az eredmények a következőkben összegezhetők:

- a 0-2 km mélységtartományból származó adatok iránystatisztikai vizsgálatai, 0,6 súrlódási tényező esetén azt mutatták, hogy a 300° és 120° dőlésirányú, tehát 30° csapásirányú vetők esetében jelentkeznek a legalacsonyabb, 0-0,2 közötti ST-értékek. Ez a maximális horizontális feszültségirány ismeretében némileg meglepő adat. A D-DK-i dőlésirányú rendszerek csúszási tendencia értékei bizonyultak a legmagasabbaknak
- a felső kéreg 2 és 7 km közötti, még tisztán törésesen deformálódó mélységében az É-ÉK-i dőlésű vetők ST-értékei lettek a legmagasabbak, míg a délies irányok alacsonyabb értékekkel voltak jellemezhetők. Fontos kiemelni, hogy a vizsgálat szempontjából kritikusan tekinthető mélységtartományban a 0,3 súrlódási tényezővel kapott gyakorisági hisztogramon 0,8-nál magasabb csúszási tendencia értékek nincsenek, 0,6 súrlódási tényező esetén 0,5 feletti értéket alig találni. Az összes vetőfelületet tekintve a felszínközeli 2 km-t sokkal kedvezőtlenebb csúszási tendencia-eloszlás jellemzi, mint a 2-7 km-es intervallumot. Ez a generális stabilitás szempontjából kedvező körülmény
- a 7 és 10 km közötti, már a töréses-képlékeny átmenethez tartozó mélység adataiból, mindkét futtatás esetén az északias dőlésű vetők értékei bizonyultak a legmagasabbaknak, míg a délies irányok alacsonyabb értékekkel jellemezhetők. A gyakorisági hisztogramokon 0,8-nál magasabb ST-értékek még a 0,3 súrlódási tényező mellett sincsenek, 0,6-os súrlódási tényező esetén pedig 0,4 feletti értéket alig találunk. Az iránystatisztika szerint az egyik gyakorisági maximum döntően az É-ÉNY-i dőlésirányú, míg a másik a DNY-i dőlésirányú vetőfelületekhez tartozik. A szerkezeti képet tekintve a 0,6 feletti csúszási tendencia értékekkel jellemezhető csoport a Kapos vonalat jelenti

A $\mu = 0,6$ súrlódási tényezővel kapott adatok alapján azt is megvizsgálták, hogy a hidrosztatikus állapothoz képest a rendszer milyen mértékű anomális (többlet-) pórúsnymást képes még elviselni a csúszás bekövetkezéséig. E számítások szerint a vizsgált vetőket/vetőrendszereket szintén két fő csoportba lehetett besorolni:

- az első csoportba tartozó vetők (F_I_S, F_I_W, F_X és F_II_ver1) esetében a fő trendbe tartozó adatok lefutása szerint legfeljebb a felső 2000 méteres intervallumon belül csökkenhet le, vagy – egyes elszigetelt pontokon – válhat zérussá a pórusnyomás-tartalék. (Ismét hangsúlyozni kell, hogy a teljes vető viselkedése szempontjából az átlagos, nem pedig a szélsőértékek a meghatározók.) Ennél lejjebb haladva az elemi vetőfelületek fokozatosan kikerülnek a kritikus zónából (437. ábra)
- a másik csoportba tartozó vetők (F_XI_main, F_IIA, F_Mz és F_Nemetker_S) esetében azt lehetett megállapítani, hogy ezeknél – az F_II_ver1 jelű törés kapcsán bemutatottakkal ellentétben – a felső 2000 m-en az elemi vetőfelületek a pórusnyomás bekapcsolása után sem kerülnek határhelyzetbe. Ezzel ellentétben azonban a 3000 – 5000 m közötti intervallumban a tartalék pórusnyomás egyértelműen a negatív tartományba megy át, tehát itt a csúszási tendencia (ST) értéke eléri az 1-et (438. ábra bal oldali képe)



437. ábra A megcsúszás (ST=1) eléréséhez szükséges tartalék-pórusnyomás a mélység függvényében

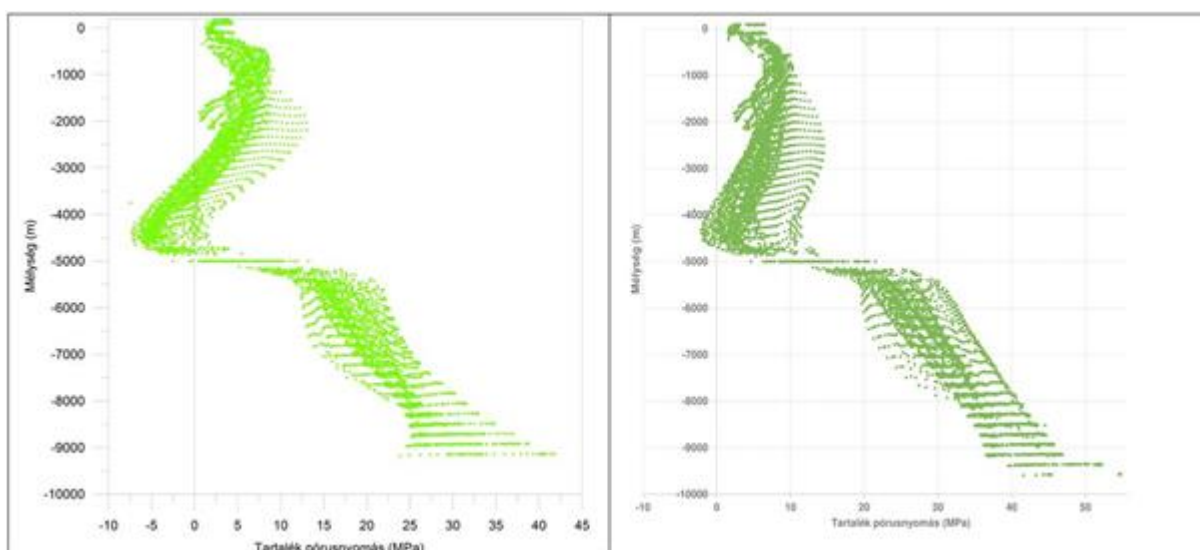
A Dunaszentgyörgy-Harta vetőrendszer (F_II_ver1) esetében.

Az első csoportba besorolt vetőkre kapott kép nem áll ellentétben a pórusnyomás nélküli állapotban, a hasonló mélység-intervallumra, $\mu = 0,6$ súrlódási tényezővel elvégzett számítások eredményeivel. Ezáltal ebben az esetben az a megállapítás is igazolást nyert, hogy a pórusnyomás nélküli, illetve pórusnyomásos esetre meghatározható ST-értékek között néhány tizednyi különbség lehet.

A második csoportba tartozó vetők esetében ez a nem várt lefutás annak ellenére jelentkezett, hogy a kérdéses vetőkre pórusnyomás nélkül, $\mu = 0,6$ súrlódási tényezővel számított ST-értékek maximuma a kérdéses mélységtartományban alig haladta meg a 0,5-et. Ugyancsak nem ez a következtetés adódott a $\mu = 0,3$ súrlódási tényezővel, tehát a pórusvíznyomás implicit figyelembe vételével végzett futtatási eredményekből sem. Itt tehát nem érvényesül a pórusnyomás nélküli és a pórusnyomásos esetek közti kapcsolatra vonatkozó, ismertett elv. Az is megfontolásra érdemes, hogy a szerkezetföldtani megfigyelések szerint elsősorban neotektonikus aktivitást mutató vetők az első csoportba kerültek.

A jelenség értelmezésére, illetve az ebben rejlő ellentmondás feloldására jelenleg két lehetőség kínálkozik (amelyek akár egymással kombinálva is igazak lehetnek).

- felvetődött, hogy a pórusnyomás nélküli esetre a szakirodalom által realiztikus tartományként figyelembe vett 0,6 – 1,0 csúszási tényező-intervallumból a magasabb érték alkalmazásával helyreállna az egyensúly a kétféle megoldás között. Ennek ellenőrzésére megtörtént a modell lefuttatása $\mu = 1,0$ súrlódási tényezővel is. A kapott eredmények szerint a felsorolt négyből három esetben a fő trend a pozitív tartományba került (438. ábra jobb oldali ábra). Az egyedüli kivételt az F_Nemetker_S jelű vető jelentette
- azt sem lehet kizárni, hogy a felszínközeli geotechnikai gyakorlatban általánosan alkalmazott, az említett számítások kiindulópontját jelentő képlet a nagyobb mélységtartományban, alacsonyabb porozitások esetében közvetlenül már nem alkalmazható. A már nem összefüggő pórusrendszerben ugyanis a pórusnyomás kedvezőtlen mechanikai hatásai csak korlátozottan juthatnak érvényre



438. ábra A megcsúszás (ST=1) eléréséhez szükséges tartalék-pórusnyomás a mélység függvényében

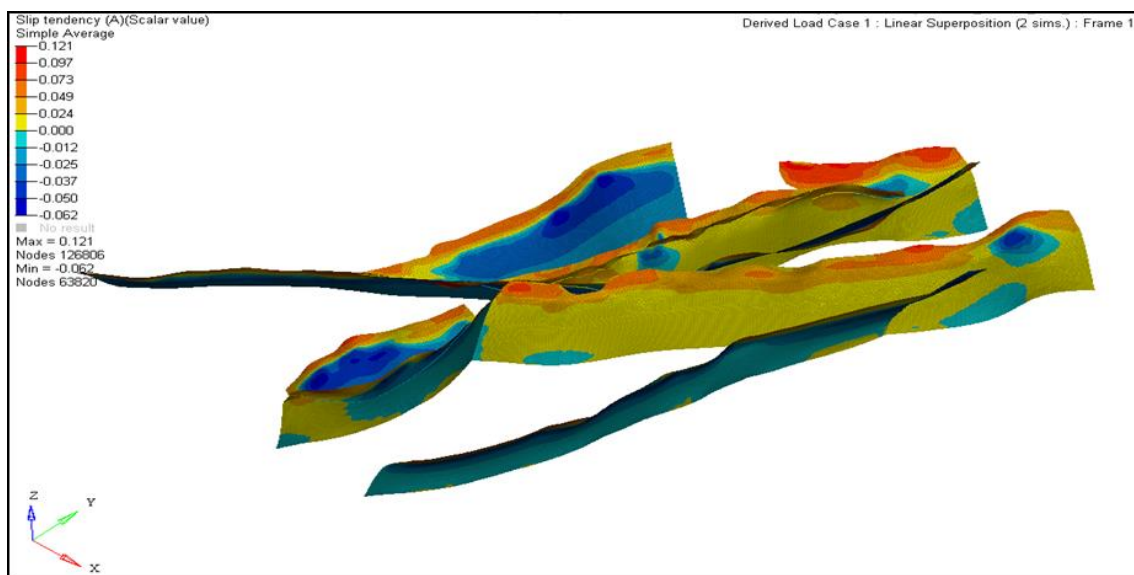
A Mecsek-alja-zóna (F_MZ) esetében $\mu = 0,6$ súrlódási tényező (bal oldali ábra) és $\mu = 1,0$ súrlódási tényező (jobb oldali ábra) feltételezése esetén.

A fentiek miatt a pórusnyomás hatására vonatkozó számítások eredményeit a modelljelentés szerzői magasabb bizonytalanságúnak ítélték, és így a további elemzések során kisebb súllyal vették figyelembe.

A csúszási tendencia lehetséges változási irányainak tisztázására, a jelenlegi feszültségtér-orientáció és deformációsebesség állandóságának feltételezésével, 100.000 éves időskálán elvégzett vizsgálatok eredményei szerint az összes vető esetében 2-3 km-es mélység felett pozitív értelmű változás (tehát a csúszási tendencia értékek növekedése) volt megfigyelhető. E mélységtartomány alatt viszont a vetők többségén negatív irányú változások jelentkeztek. (Ahogy azt a 439. ábra és a 440. ábra mutatja, a maximális változás $\mu=0,6$ súrlódási tényezőnél $\Delta ST = 0,12$, míg a $\mu = 0,3$ esetben $\Delta ST = 0,21$ volt.) A kivételt az ismertetett jelleg alól a Dunaszentgyörgy-Harta vetőzóna (F_II_ver1), a „Kapos-vonal” keleti ága (F_I_S) és a Bonyhádi-törés (F_X) déli része jelentette. E vetőkön, illetve vetőrendszereken a számítások szerint – többnyire azok teljes mélysége mentén – pozitív

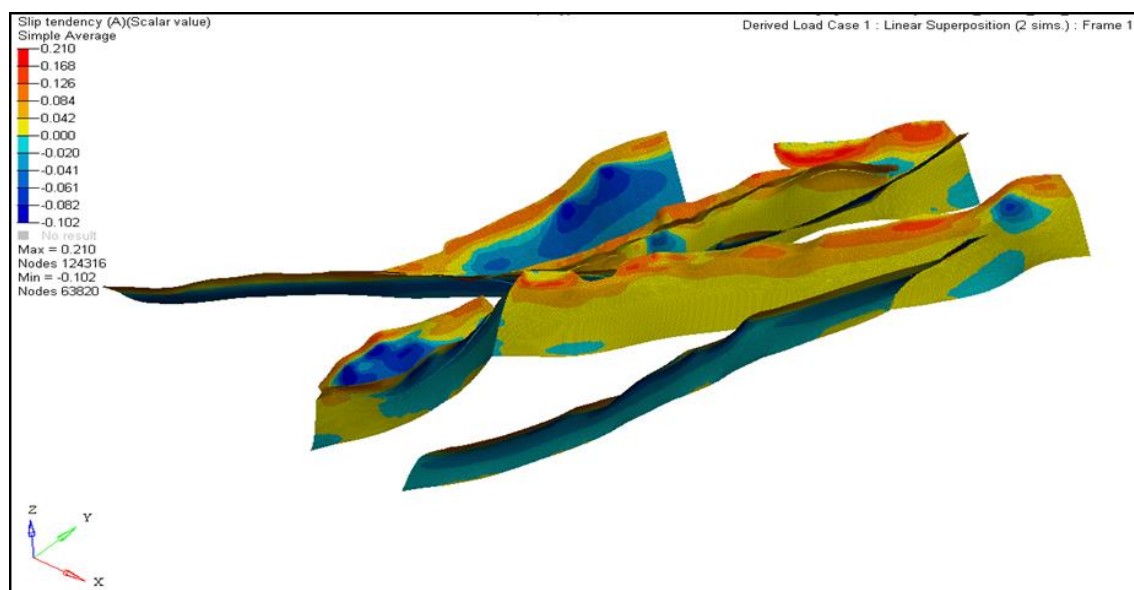
értelmű változások mennek végbe, azaz a megcsúszással szembeni ellenállási tartalékuk az idővel csökken.

Hangsúlyozni kell, hogy a felsorolt eredmények csak a csúszási tendencia változásának irányáról, azaz a vetőreaktiváció valószínűségének növekedéséről vagy csökkenéséről adnak tájékoztatást, abszolút értelemben nem alkalmasak a vetőreaktiváció bekövetkezési idejének meghatározására. Ezzel együtt azonban a modelljelentés szerzői szerint ezeket az eredményeket – különösen az említett vetők teljes mélysége mentén adódó homogén jelleg miatt – kiemelten kell kezelni.



439. ábra A csúszási tendencia értékek időbeli változása 100 .000 év alatt a feszültségtér módosításának hatására

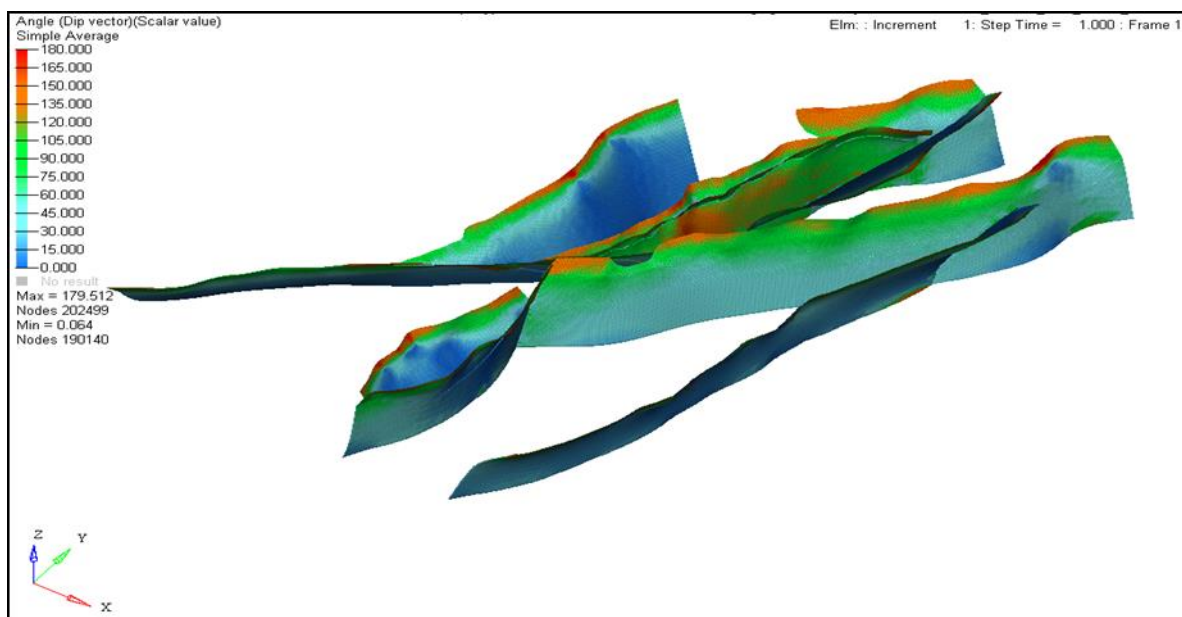
$\mu=0,6$ – perspektivikus nézet [192]



440. ábra A csúszási tendencia értékek időbeli változása 100 000 év alatt a feszültségtér módosításának hatására

$\mu=0,3$ – perspektivikus nézet [192]

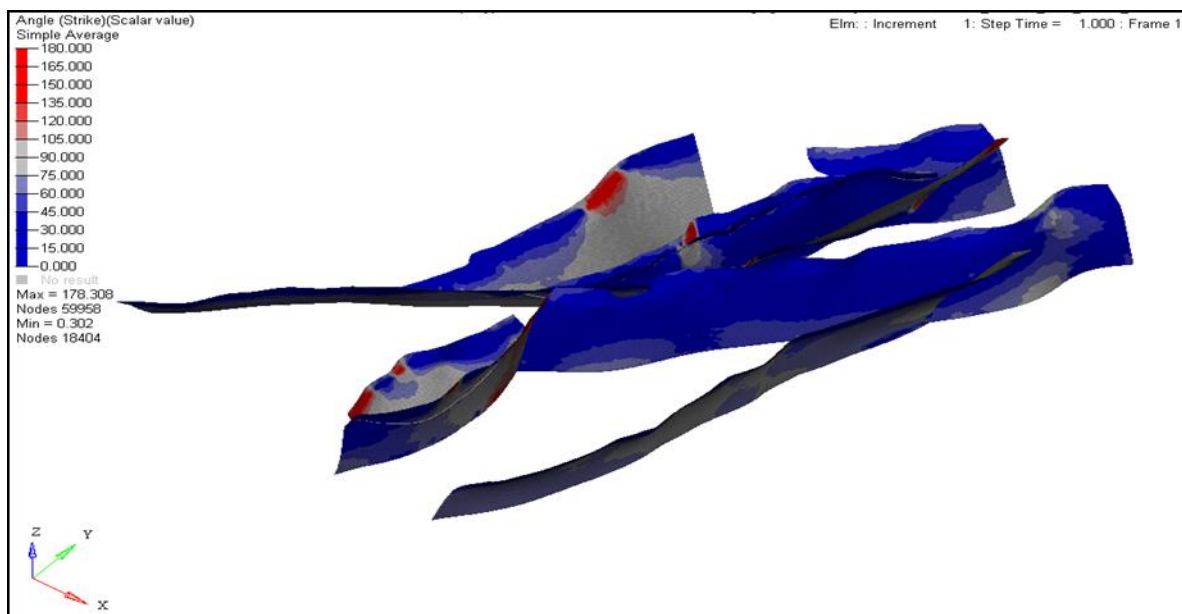
Az egyes vetőfelületen ható nyírófeszültségek iránya alapján meghatározott, a vetőfelületekre jellemző „potenciális” tektonikai stílusok elemzése kapcsán előállt összefoglaló eredményeket a 441. ábra és a 442. ábra mutatja be. Az eredmények alapján elmondható, hogy a vetők felszínhez közelebb eső, illetve mélyebb zónáiban általában eltérő kép bontakozik ki, vagyis – a felvett feszültségtér jellegével összhangban – a mélységgel változó potenciális mozgási irányok jelennek meg az ábrákon. Nagy általánosságban az látszik, hogy a feltolódásos-olaleltolódásos átmeneti jellegű zónából a viszonylag szűk mélységtartományban értelmezhető tiszta olaleltolódáson keresztül a mélység felé mindinkább normál vetős potenciális tektonikai stílus válik uralkodóvá. Ez alól elsősorban a Harta-Dunaszentgyörgy (F_II_ver1) vető kivételt képez. Itt a normálvetős jelleg kizárólag a komplex vetőrendszer legkeletibb zónájára korlátozódik, míg a további zónákban az olaleltolódásos jelleg – néhol feltolódásos beütésekkel – szinte a teljes vizsgált mélységtartományban fennmarad.



441. ábra A tektonikai stílusra jellemző α szögértékek alakulása a vetők mentén, perspektivikus nézetben

180°: Tiszta feltolódásos; 90°: Tiszta olaleltolódásos; 0°: Tiszta normál vetős.

Az elemi vetőfelületek csapásának és a felületi nyírófeszültség-vektorok egymáshoz viszonyított helyzetét tekintve a recens feszültségi térben a vetőfelületek döntő része balos irányú elmozdulásra mutat potenciált. Ez szintén összhangban van a 3D földtani modell megállapításaival [117]. A vető csapása, illetve a teljes mélység mentén leginkább homogénnek az F_I_S és az F_II_ver1 vetők mutatkoznak. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy ebből az elemzési szempontból e vetők esetében a legmagasabb a reaktivációs potenciál. A csapásirányban szintén homogén F_I_W vető esetében a mélységgel erősen változnak az irányok. Az F_Nemetker_S, az F_I_XI_main, az F_IIA vetők – a nagyobb mélységben érvényesülő tiszta normálvetős jelleg miatt csak a felszínközeli zónákban mutatnak egyáltalán horizontális nyírési komponenseket; többnyire azonban ezek is balos jellegűek. Hasonló a helyzet az F_Mz vető esetében is, ahol azonban a horizontális komponensek – a centrális és ÉK-i zóna kivételével – nagyobb mélységben is fennmaradnak. Az egyedüli, a fentiekől minden szempontból elütő vető az F_X, ahol csapásirányban is igen jelentős változékonyság látható: míg a vető DNy-i zónájában szintén a balos jelleg figyelhető meg, úgy ÉK felé haladva fokozatosan a jobbos jelleg válik uralkodóvá, még relatíve nagyobb mélységekben is.

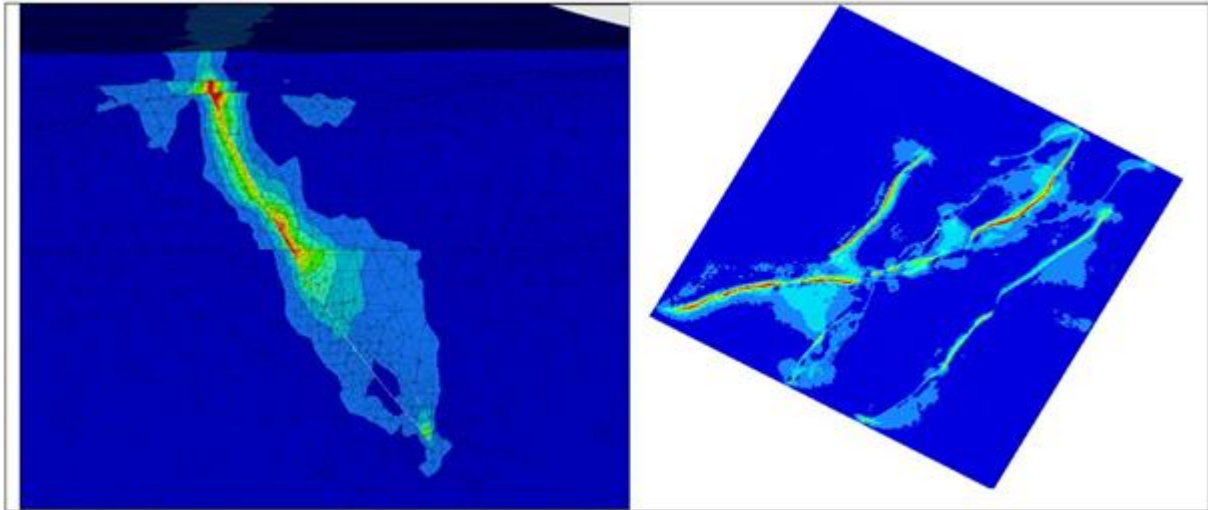


442. ábra Az eltolódás jellegére utaló β szögértékek alakulása a vetők mentén, perspektivikus nézetben

kék „balos”, piros: „jobbos” jelleg

A fentiek kapcsán szintén hangsúlyozni kell, hogy a bemutatott eredményekből közvetlenül és önmagukban nem lehetséges a terület földrengés-veszélyeztetettségére következtetni. Ezek a modellszámítások elsősorban a szerkezetföldtani és primer-feszültségmérési eredmények mélyebb megértéséhez nyújtanak segítséget. Ezzel együtt azonban a kapott eredmények – különösen a további értékelési szempontokkal való kombinált értelmezés során – magas súllyal veendő figyelembe.

A vetőfelületek feszültségtorzító hatását a 443. ábra szemlélteti, ahol a három fősíkbeli normálfeszültség-komponens összegzett változásai láthatók. (A középkék alapszínnek a homogén feszültségteret, a további színek pedig a torzított feszültségű zónákat jelölik.) Hangsúlyozni kell, hogy a bemutatott megoldás kvalitatív, éppen ezért az alábbi ábrán nem is szerepel színskála, a hozzá rendelt fizikai mennyiségekkel. Ezzel együtt a modellezés eredményeképpen kapott képek mégis egyértelművé teszik a vetők markáns feszültségmódosító hatásait.



443. ábra A vetőfelületek feszültségtorzító hatásának kvalitatív ellenőrzése

Bal oldali kép: F_I_W jelű vető metszete; jobb oldali kép: Miocén tető, felülnézet.

Az elemzések során – a fentiekben bemutatottak szerint – számos olyan számítási eredmény és értékelési szempont adódott, amelyek alapján egyedileg (a további adatoktól függetlenül) is lehetne értékelni egy-egy adott vető reaktivációs potenciálját. Ezek mellett a modelljelentés szerzői törekedtek arra is, hogy az elemzett faktorok együttes figyelembe vételével, szakértői becslés útján, komplexebb módon is értékeljék az egyes vetőket. Értelemszerűen ennek során sem juthattak el azonban az egyértelmű, objektív minősítésig, csak egy valószínűségi jellegű, kvalitatív kategorizálást és rangsorolást hajtottak végre. A vetőreaktiváció elvi valószínűségére nézve előzetesen öt kategóriát állapítottak meg (minimális, alacsony, közepes, magas, igen magas), és az elvégzett elemzések végeredményeként a vizsgált vetőkre ezek valamelyikét alkalmazták. Az elemzés során alkalmazott faktorokat és az elemzés eredményeit a 175. táblázat foglalja össze (forrás: [192]).

A 175. táblázat szerint a „magas” és „igen magas” kategóriákat egyetlen vető esetén sem kellett alkalmazni. A legmagasabb alkalmazott, „közepes” kategóriába került a Kaposvonal K-i ága (F_I_S), a Bonyhádi-medence vetőrendszerének F_XI_main jelű eleme, a Dunaszentgyörgy-Harta vetőzóna (F_II_ver1) és a Mecsekalja-zóna (F_MZ). A további vetők az „alacsony” vagy a „minimális” valószínűségi kategóriába kerültek besorolásra.

175. táblázat A vetőreaktiváció elvi valószínűségének kvalitatív értékelése az egyes vetőknl az elvégzett elemzési eredmények alapján

Vető jele	F_I_S	F_I_W	F_X	F_XI_mai n	F_II_ver1	F_IIA	F_Mz	F_Nemetker _S
ST _{max} μ=0,6-nál 3000 m felett	0,9	0,7	0,8	0,8	0,9	0,5	0,6	0,5
ST _{max} μ=0,6-nál 3000 m alatt	0,5	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,5	0,5
ST értékek tendenciája 3000 m alatt μ=0,6-nál	csökkenő	növekvő	csökkenő	növekvő	csökkenő	növekvő	növekvő	növekvő
ΔST tendenciája μ=0,6-nál 3000 m alatt	növekvő	csökkenő	kevert	csökkenő	növekvő	csökkenő	csökkenő	csökkenő
A stabilitás általános minősítése ST _{max} értéke és ΔST tendenciája szerint (μ=0,6)	kérdéses	stabil	kérdéses	kérdéses	kérdéses	stabil	stabil	stabil
A stabilitás általános minősítése a tartalék pórusnyomás szempontjából (μ=0,6)	stabil	stabil	stabil	instabil	stabil	instabil	instabil	instabil
ST _{max} μ=0,3-nál 3000 m felett	1	1	1	1	1	0,8	1	0,6
ST _{max} μ=0,3-nál 3000 m alatt	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7
ST értékek tendenciája 3000 m alatt μ=0,3-nál	csökkenő	növekvő	növekvő	növekvő	csökkenő	növekvő	növekvő	növekvő
ΔST tendenciája μ=0,3-nál 3000 m alatt	növekvő	csökkenő	kevert	csökkenő	növekvő	csökkenő	csökkenő	csökkenő
A stabilitás általános minősítése ST _{max} értéke és ΔST tendenciája szerint (μ=0,3)	instabil	kérdéses	kérdéses	kérdéses	instabil	stabil	kérdéses	stabil
Potenciális tektonikai stílus 2000 méter felett	RF+SS	RF+SS	RF+SS	RF+SS	RF+SS	RF+SS	RF+SS	RF+SS
Potenciális tektonikai stílus 2000 méter alatt	SS+NF	SS+NF/NF	SS+NF	SS+NF/ NF	RF+SS+N F	NF	SS+NF	NF
Csapás menti potenciális elmozdulás iránya és homogenitása 2000 méter felett	balos (homogén)	balos (in- homogén)	kevert (in- homogén)	kevert (in- homogén)	balos (homogén)	kevert (in- homogén)	balos/ kevert	kevert (in- homogén)
Csapás menti elmozdulás iránya és és homogenitása 2000 méter alatt	balos (homogén)	balos/- (in- homogén)	kevert (in- homogén)	balos/- (in- homogén)	balos (homogén)	- (in- homogén)	balos/- (in- homogén)	- (inhomogén)
Vetőreaktiváció elvi valószínűsége	közepes	minimális	alacsony	közepes	közepes	alacsony	közepes	alacsony

3.4.3 Földrengés forrásmodellek

A valószínűségi földrengésveszély számításához a terület környezetében forrászónákat (forrásterületek) és szeizmikus vetőzónákat kell kijelölni. E forrásterületek határainak megállapításánál az elsődleges információ a múltbeli szeizmicitás, de nyilván figyelembe kell venni tektonikai, geomorfológiai megfontolásokat is. Lényegében e szeizmotektonikai, vagy szeizmikus forrásmodellek szintetizálják az összes geológiai és geofizikai ismeretet a jövőbeli földrengések helyéről és gyakoriságáról alkotott prognózisban. A geológiai komplexitás miatt e felosztás nem egyértelmű, ezért lehetővé kell tenni a különböző alternatívák súlyozott alkalmazását a számítás során. A forrásmodellek a Magyarország területén jellemző diffúz szeizmicitás mellett elsősorban forrásterületeket tartalmaznak.

A területi jellegű szeizmikus forrásokban általában azt tételezzük fel, hogy a magnitúdó-gyakoriság az alábbi összefüggést követi:

$$\log N(m) = a - bm$$

ahol $N(m)$ adott idő alatt bekövetkező azon földrengések száma, melyek magnitúdója nagyobb vagy egyenlő, mint m . Az a és b paraméterek forrásról forrásra változnak. Az a értéke a szeizmikus aktivitás mértékével arányos, nagyobb aktivitáshoz nagyobb érték tartozik. A b értéke a tapasztalatok szerint $0,8 - 1,2$ tartományba esik, azt mutatja meg, hogyan oszlik meg az adott idő alatt keletkező földrengések száma a kisebb és nagyobb magnitúdójú földrengések között.

Az a és b paraméterek becslése a historikus, illetve műszeres földrengésadatok feldolgozásával történik. Minden földrengéses zónára meghatározunk egy rész katalógust, mely tartalmazza a katalógus zónához kapcsolódó földrengéseit. A fenti magnitúdó-gyakorisági összefüggés csak teljesnek tekinthető adatsorokra érvényes.

Az $N(m)$ adatok birtokában többféle módszer segítségével is meghatározható a a és b érték. Ezek közül a két legfontosabb a legkisebb négyzetes és a maximum likelihood illesztési eljárás.

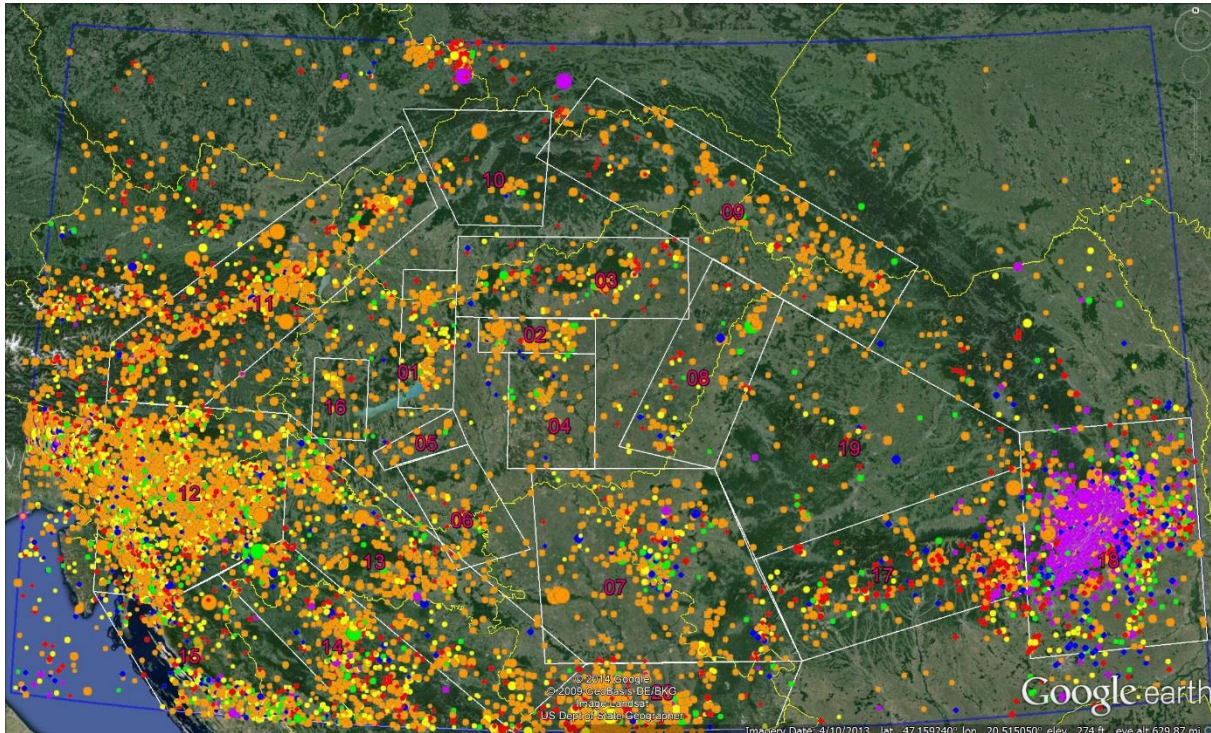
3.4.3.1 M1 modell

A valószínűségi földrengésveszély meghatározása Magyarországon az 1990-es évek második felében kezdődött. Az első forrásmodell (M1) kvantitatív kidolgozása a földrengés katalógus adatainak eloszlása alapján történt. 20 forrászónát definiáltak a Kárpát-medencében és a környező orogén területeken. A kor mérnökszeizmológiai gyakorlatának megfelelően a zónák nem fedték le a teljes területet, a zónákhoz nem tartozó rengések alkották az ún. háttér szeizmicitást, mely a teljes területre van elosztva.

E modell és néhány kicsit módosított változata volt az alapja a földrengésveszély meghatározásoknak közel másfél évtizeden át. Az Eurocode-8 hazai bevezetése után a Nemzeti Mellékletben szereplő veszélyességi zónatérkép meghatározásához is ezt a modellt használták. A modell jól illeszkedik az ismert historikus és recens földrengések epicentrum eloszlásához, gyengéje viszont, hogy szinte kizárólag csak a szeizmicitáson alapul, nem vesz figyelembe egyéb szeizmotektonikai ismereteket (444. ábra).

Az M1 modell szerepeltetése a földrengésveszély meghatározásnál a logikai fában szakmailag továbbra is indokolt és megalapozott, már csak a folytonosság fenntartása miatt is.

Az 445. ábra összefoglalóan mutatja az M1 modell forrászónáiban a földrengés gyakoriságokat és gyakoriság sűrűségeket.

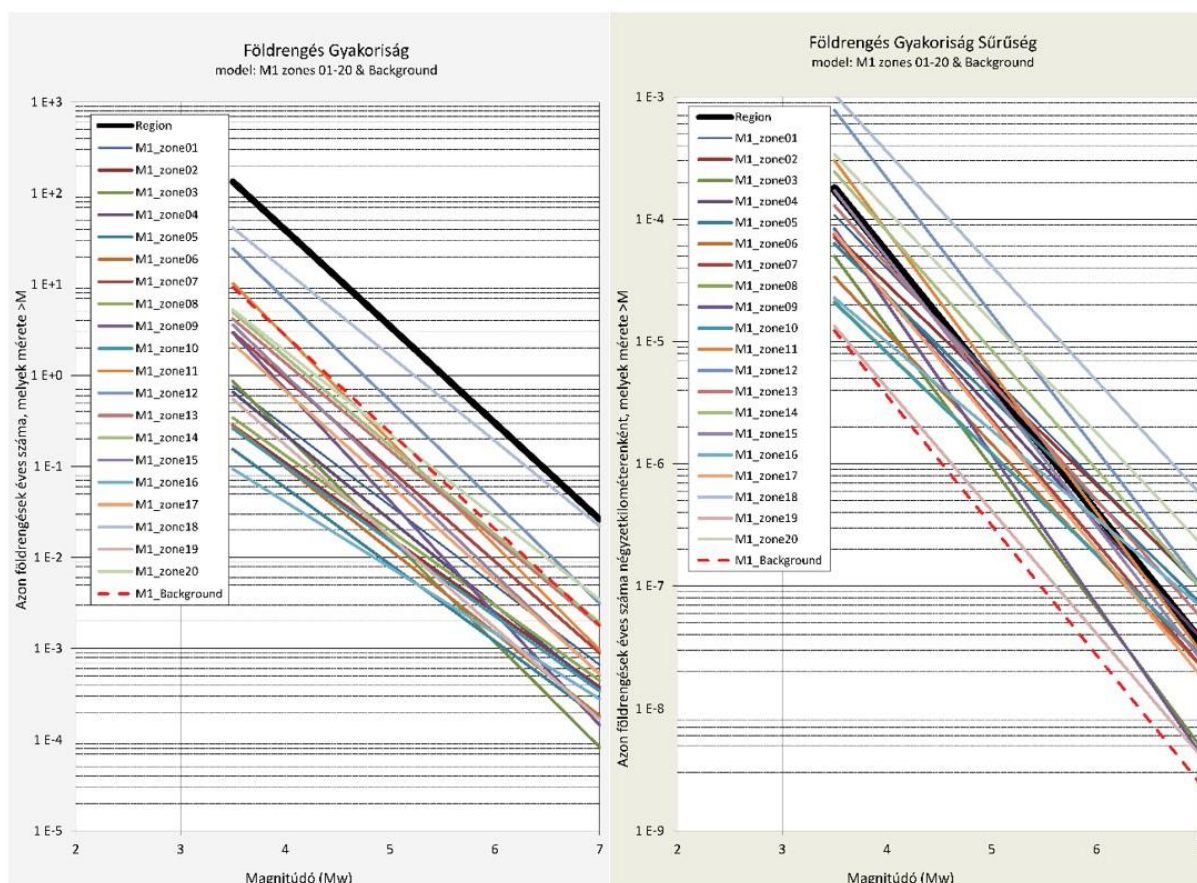


444. ábra Az M1 forrásmodell 20 forrászónája és a Pannon-medence földrengései

A 445. ábra bal oldala az egyes zónákban észlelt abszolút gyakoriságot mutatja, mely természetesen nagymértékben függ az egyes zónák területétől is. Ebben az esetben a teljes régióra vonatkozó gyakoriság (vastag fekete vonal) a legnagyobb, hiszen ez az összes zónára vonatkozó összeg.

A 445. ábra jobb oldala a zónák földrengés gyakorisága normálva van a területtel, lényegében az 1 km^2 -re vonatkozó földrengés gyakoriság sűrűségét mutatja. Jól látható, hogy néhány zóna szeizmicitása jóval a regionális átlag fölött van, a háttér szeizmicitás pedig – ahogy az várható – a legalacsonyabb földrengés gyakoriság sűrűséget mutat.

A PSHA során gyakran alkalmazott technika az is, hogy egy régió belül azonos, rögzített b érték mellett történik az egyes zónák földrengés gyakoriságának meghatározása. Elsősorban az adathiányos területeken kényszerülnek erre, ahol alacsony a földrengés gyakoriság és emiatt kevés adat áll rendelkezésre, s nem tudják elfogadható megbízhatósággal becsülni az a és b paramétert egyidejűleg minden forrászónára. Ezt a megközelítést alkalmazta az Ove Arup a Paks telephely vizsgálata során. Vannak olyan szakmai nézetek is, mely szerint egy adott régióban nem változik nagyon a gyakoriságot leíró b paraméter, s ezért a regionális adatokból becsült fix b alkalmazása indokolt. Mivel egyértelműen nem dönthető el, hogy melyik megközelítés a megalapozottabb, ezért az episztemikus bizonytalanságok közé sorolható a kérdés, s mindkét esetet alkalmazzák a logikai fában a földrengésveszély számításakor.



445. ábra Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség az M1 modell forrászónáiban

A szaggatott vonal a háttér, a vastag fekete vonal a teljes régió földrengés gyakoriságát és gyakoriság sűrűségét mutatja.

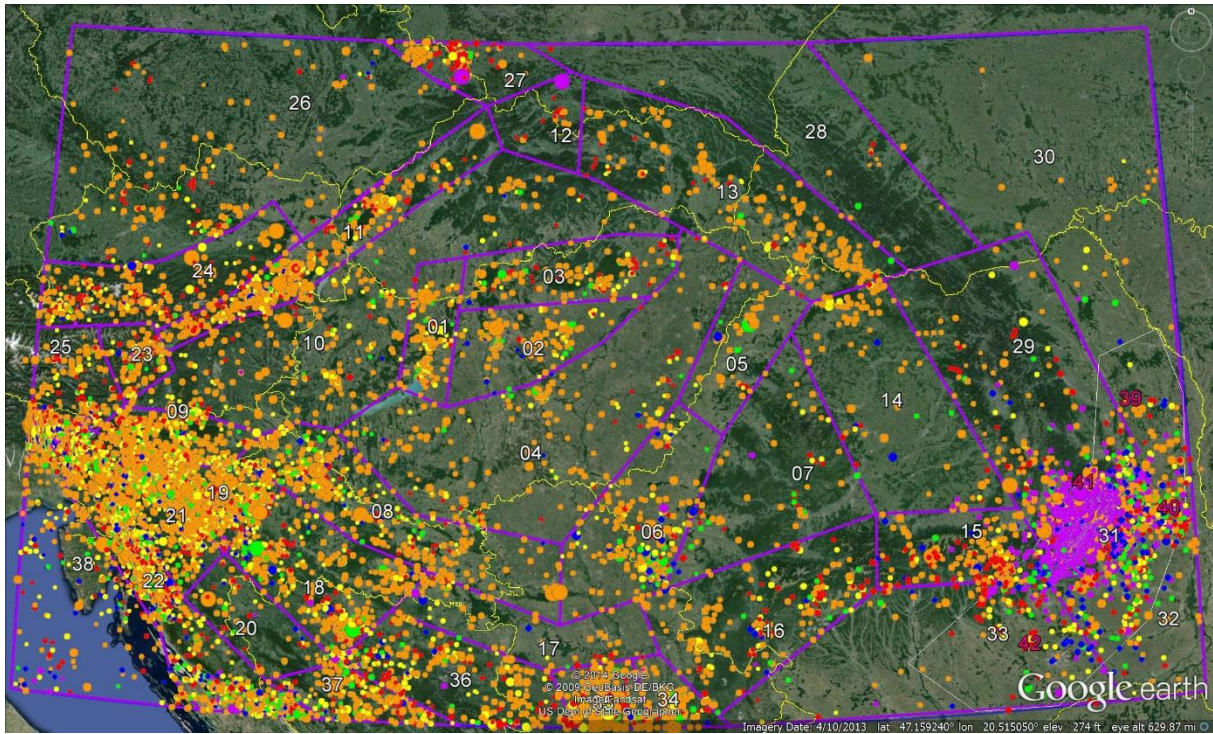
3.4.3.2 SHARE modell

Az Európai Unió 7. Keretprogramja támogatásával 2009 - 2012 között folyó SHARE (Seismic Hazard Harmonization in Europe) projekt keretében egy egységes szempontok szerint kidolgozott szeizmikus forrásmodellt hoztak létre. Bár a projekt elsődleges célja egy olyan veszélyeztetettségi zónatérkép szerkesztése volt, mely az EUROCODE-8 földrengés szabványhoz országhatárokon átnyúlóan használható, a rész-termékként létrejövő egységes forrásmodell jól használható más földrengés-veszélyeztetettség meghatározását célzó munkák során is.

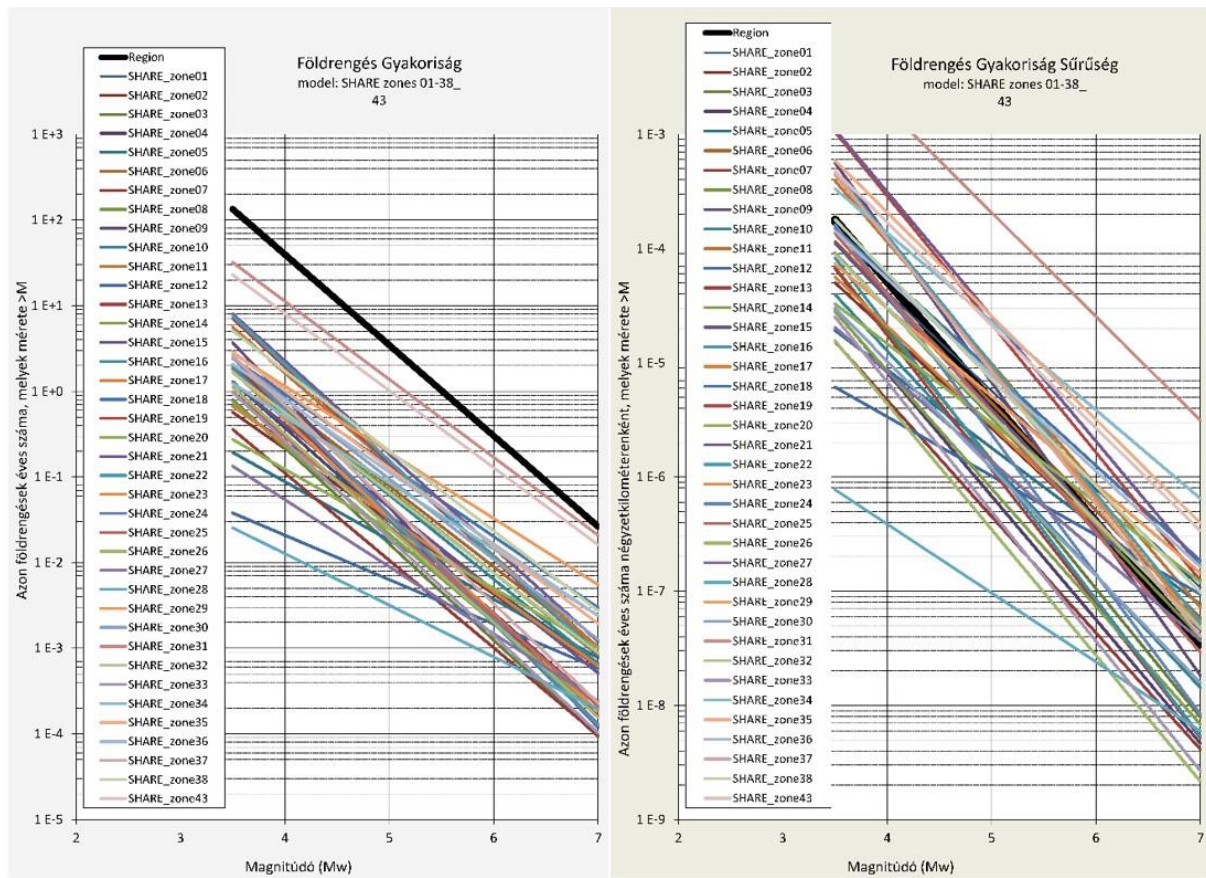
A SHARE forrásmodell 42 forrászónával (446. ábra) teljesen lefedi a Kárpát-medencét és a környező területeket. A zónák kialakítása során szempont volt, hogy lehetőleg megfelelő számú földrengés adat legyen minden zónában a gyakoriságok statisztikai becsléséhez, de emellett a regionális szeizmotektonikai ismeretek is befolyásolták a zónahatárok kijelölését.

A modell kizárólag területi forrásokat tartalmaz, mivel olyan aktív tektonikai szerkezet nem ismert ezen a területen, melyhez megfelelő számú földrengés adatot lehetne asszociálni.

A SHARE modellre az 447. ábra összefoglalóan mutatja a forrászónákban a földrengés gyakoriságokat és gyakoriság sűrűségeket.



446. ábra A SHARE forrásmodell forrászónái és a Pannon-medence földrendései



447. ábra Földrész gyakoriság és gyakoriság sűrűség a SHARE modell forrászónáiban

A vastag fekete vonal a teljes régió földrész gyakoriságát és gyakoriság sűrűségét mutatja.

3.4.3.3 Módosított SHARE modell

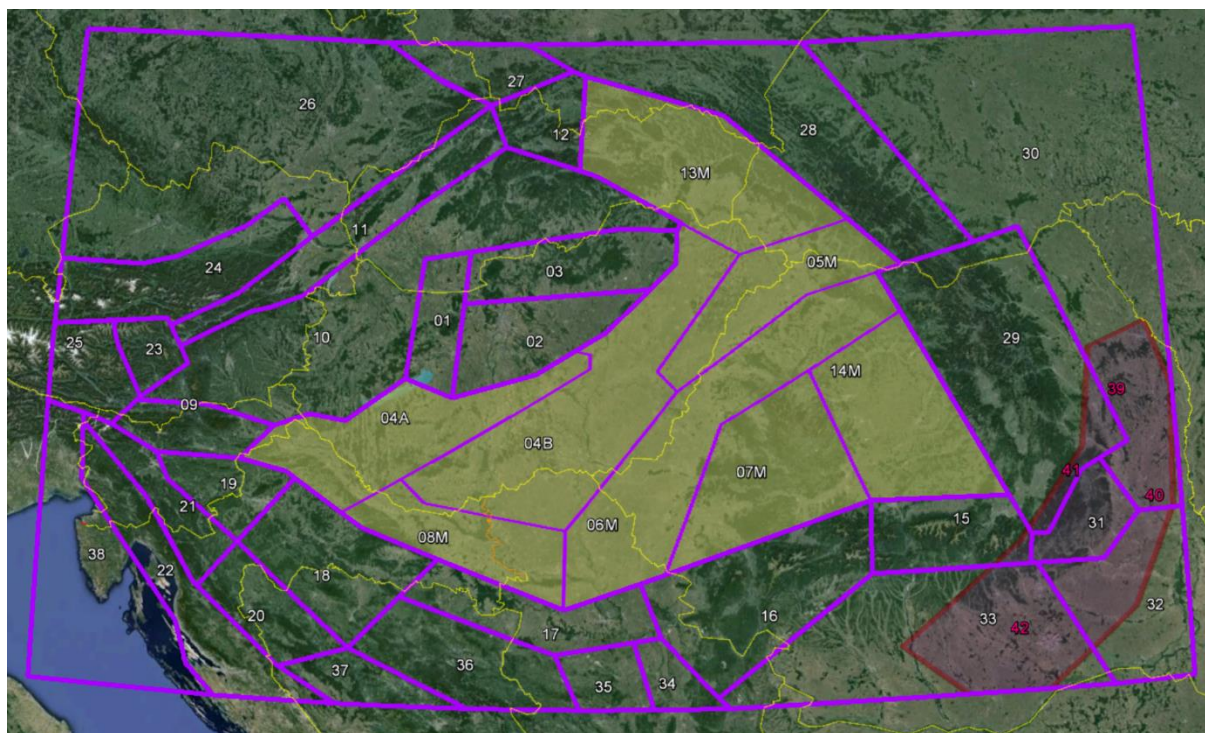
A módosított SHARE forrásmodell (SHARE-MOD) a SHARE modell néhány zónájának módosításával jött létre (448. ábra). Lényegében a medence területét lefedő eredeti zone04 két részre lett osztva, ily módon a zónák geometriája jobban illeszkedik az ún. közép-magyarországi vonalhoz. Ezen túlmenően a zone05 és zone06 is ÉK-DNy irányba meg lett nagyobbítva. Az eredeti modellhez képest a változás nyolc zónát érint, a modell többi zónája megegyezik a SHARE modell zónáival.

A SHARE-MOD modell is kizárólag területi forrásokat tartalmaz, mivel olyan aktív tektonikai szerkezet nem ismert ezen a területen, melyhez megfelelő számú földrengés adatot lehetne asszociálni.

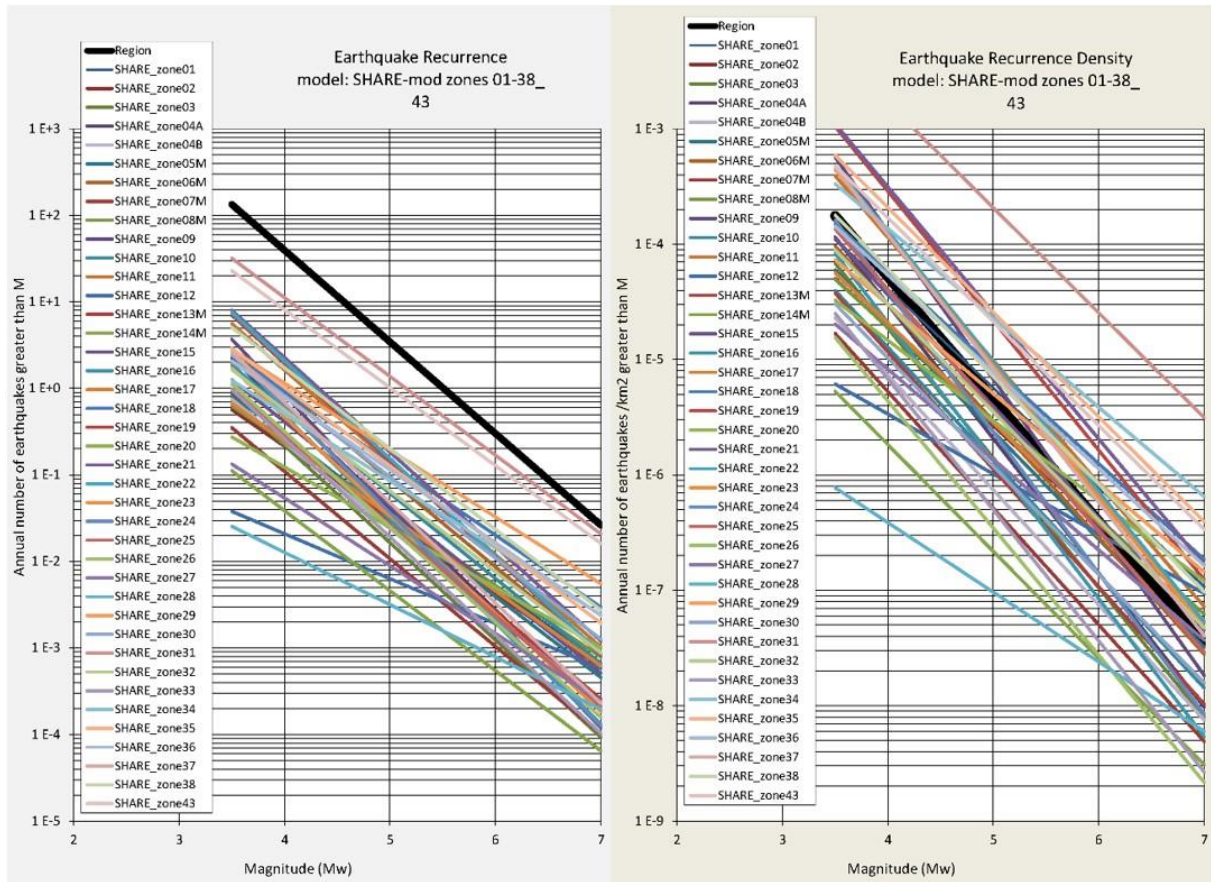
A SHARE modellre a 449. ábra összefoglalóan mutatja a forrászónákban a földrengés gyakoriságokat és gyakoriság sűrűségeket.

A 449. ábra bal oldala az egyes zónákban észlelt abszolút gyakoriságot mutatja, mely természetesen nagymértékben függ az egyes zónák területétől is. Ebben az esetben a teljes régióra vonatkozó gyakoriság (vastag fekete vonal) a legnagyobb, hiszen ez az összes zónára vonatkozó összeg.

A 449. ábra jobb oldala a zónák földrengés gyakorisága normálva van a területtel, lényegében az 1 km²-re vonatkozó földrengés gyakoriság sűrűségét mutatja. Jól látható, hogy néhány zóna szeizmicitása jóval a regionális átlag fölött van, a háttér szeizmicitás pedig – ahogy az várható – a legalacsonyabb földrengés gyakoriság sűrűséget mutat.



448. ábra A módosított SHARE forrásmodell forrászónái



449. ábra Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség a módosított SHARE modell forrászónáiban

A vastag fekete vonal a teljes régió földrengés gyakoriságát és gyakoriság sűrűségét mutatja

3.4.3.4 Maximális magnitúdó és annak bizonytalansága

Az egyes forrászónákban meg kell adni a maximális magnitúdót és annak bizonytalanságát. Az M_u maximum magnitúdó is egy valószínűségi változó, melynek eloszlását csonkított Gauss-eloszlással írjuk le az alábbi valószínűségi sűrűség függvény szerint:

$$p(M_u) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{M_u - EM}{\sigma}\right)^2\right]}{\Phi\left[\frac{M_2 - EM}{\sigma}\right] - \Phi\left[\frac{M_1 - EM}{\sigma}\right]}, \quad M_1 \leq M_u \leq M_2$$

Gauss-eloszlással leírt sűrűség függvény

ahol M_1 a maximális magnitúdó legkisebb elképzelhető értéke. Szokás az eddig előfordult legnagyobb rengés magnitúdójának tekinteni;

M_2 a maximális magnitúdó legnagyobb elképzelhető értéke; tektonikai megfontolások alapján adható meg.

EM az M_u várható értéke csonkítatlan eloszlás esetén.

σ az M_u maximum magnitúdó szórása csonkítatlan eloszlás esetén.

Amennyiben $EM = M_1 = M_2$ vagy $\sigma = 0$, akkor az M_u maximális magnitúdó determinisztikusan meghatározott, értéke pedig EM .

Az FKP keretében végzett szeizmikus veszélyeztettség elemzés során az egyes zónákhoz a maximális magnitúdó megadása az alábbiak szerint történt:

- $M_1 = EM$ az eddig észlelt legnagyobb magnitúdó
- $M_2 =$
 $M_1 + 0,2$ ha $M_1 \geq 7,0$
 $M_1 + 0,3$ ha $M_1 \geq 6,0$
 $M_1 + 0,5$ ha $M_1 \geq 5,0$
 $M_1 + 1,0$ ha $M_1 < 5,0$
- $\sigma = 0,3$

3.4.4 Valószínűségi földrengés-veszély elemzés

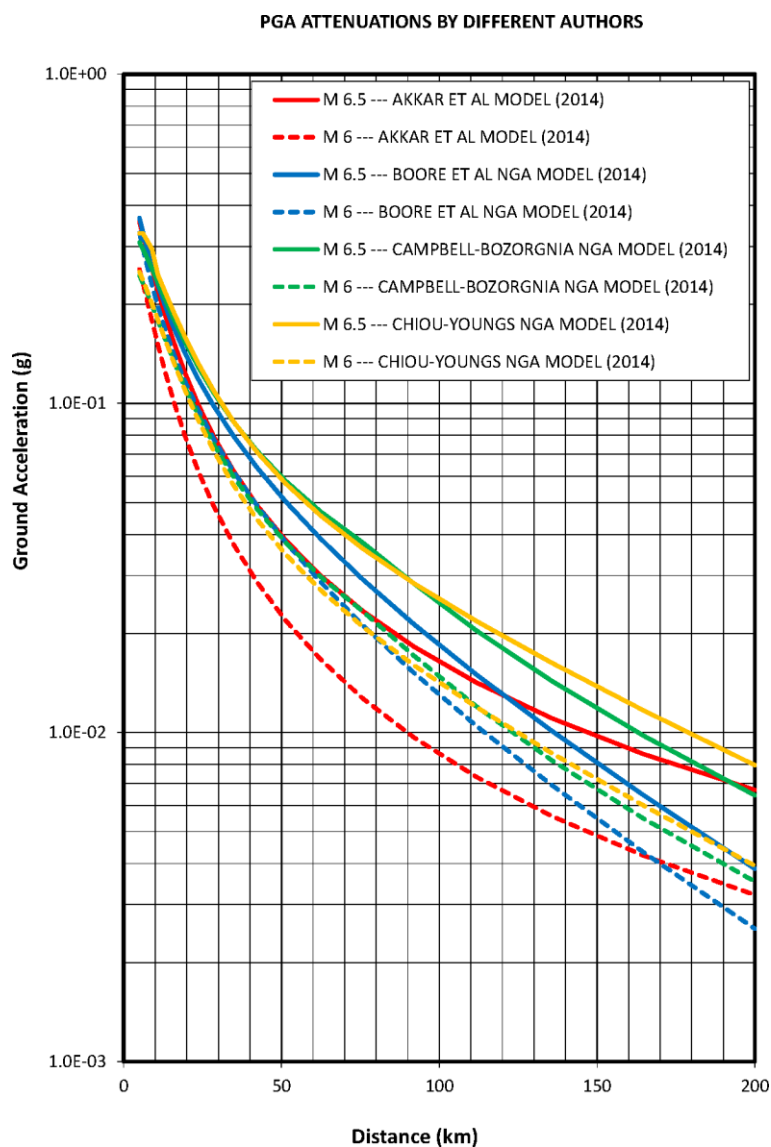
A paksi telephelyre vonatkozó valószínűségi földrengésveszély számítás teljes megújítására került sor az FKP keretében.

A terület földrengés-veszélyeztettségének meghatározásához összegyűjtötték és értékelték a szeizmológiai, geológiai és geofizikai, geotechnikai jellemzőket. Összeállították a vizsgálati terület történelmi és műszeresen regisztrált földrengéseinek legteljesebb földrengés katalógusát. A rendelkezésre álló történelmi és műszeres adatok összegyűjtése, felhasználása mellett, célzott geológiai, geofizikai és geotechnikai vizsgálatok is történtek a földrengésveszély megállapításának megalapozásához.

A gyengülési összefüggések azon egyenleteket jelentik, melyek leírják a földrengés során fellépő talajmozgás (általában a spektrális gyorsulás) változását az epicentrumtól való távolság, a magnitúdó, a fészekmélység és az adott hely szeizmo-geológiai paramétereinek függvényében. Minthogy Magyarországon az eddig regisztrált gyorsulásgrammok száma rendkívül kicsi, nincs mód arra, hogy egy helyi sajátosságokat mindenben tükröző gyorsulás-gyengülési összefüggést felállítsunk. A földrengés-intenzitás gyengülési vizsgálata azt mutatja, hogy a hatos magnitúdójú földrengés Pannon medencére számított gyengülési görbéi (az $ML > 4$ és az $ML > 5$ adatrendszerre számított egyaránt) leginkább a Márvány-tenger környezetére meghatározott csillapodási egyenletre hasonlítanak. A Pannon-medencében a gyengülés gyorsabb, mint pl. ÉK-Amerikában. Ez valószínűleg azért van, mert a vékony, töredezett kéreg nagyobb akadályt képez a földrengéshullámok előtt, mint a stabil, vastagabb kristályos kontinentális táblák.

Az FKP keretében a földrengésveszély számításához az alábbi négy szerzőcsoport összefüggései lettek kiválasztva (450. ábra):

- Akkar et al. (2014b)
- Boore et al. (2014)
- Campbell & Bozorgnia (2014)
- Chiou & Youngs (2014)



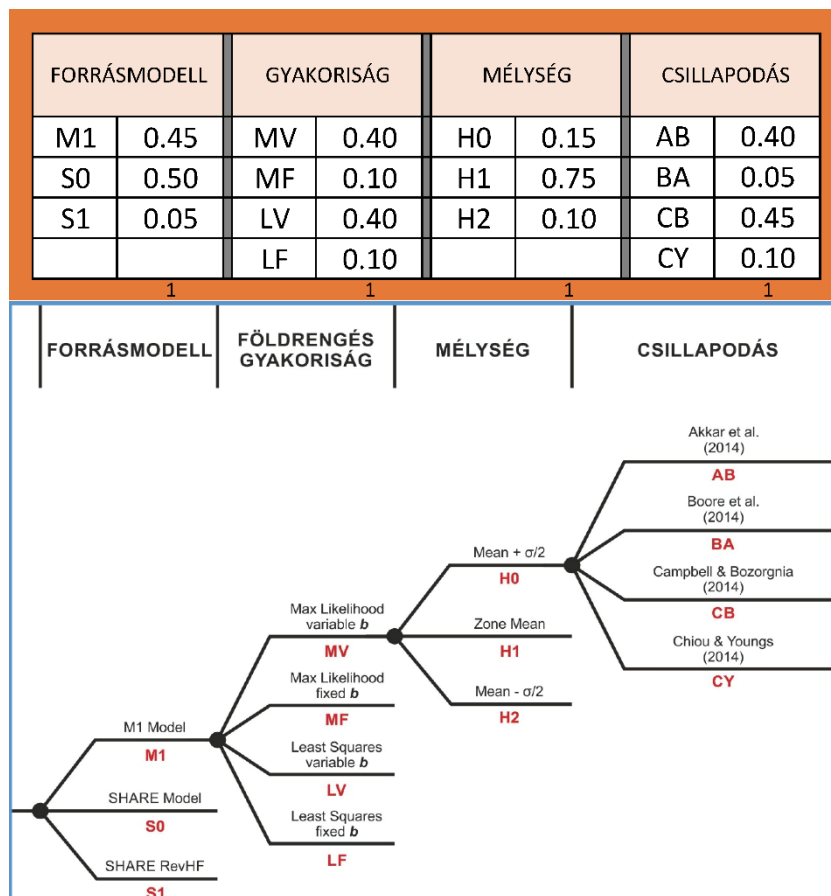
450. ábra A földrengésveszély számításához kiválasztott négy csillapodási egyenlet által prognosztizált PGA gyorsulások

6 és 6,5 magnitúdójú rengésekre a távolság függvényében.

A földrengésveszély meghatározás kardinális része a bizonytalanságok kezelése. Az eljárás során különbséget kell tenni a folyamatok véletlenszerűségeiből fakadó bizonytalanságok (aleatory variability) és a tudáshiányból eredő bizonytalanságok (epistemic uncertainty) között. A fizikai folyamatok belső véletlenszerűségei az integrálás során egy veszélyeztetettségi görbében összegződnek. A tudáshiányból fakadó bizonytalanságot az input modellek, feltételek és lehetséges értékek egész sora jelenti. Ennek eredménye pedig a veszélyeztetettségi görbék egész serege, melyet statisztikailag írunk le (mean, medián, fraktálok). A tudáshiányból eredő episztemikus bizonytalanság a szeizmikus veszélyeztetettség meghatározás minden input csoportjára jellemző.

A 451. ábra mutatja a veszélyeztetettség számításához az FKP során alkalmazott logikai fát, mely négy csomópontot tartalmaz.

Három lehetséges forrásmodell, négy alternatív földrengés gyakoriság, három lehetséges mélység eloszlás és négy csillapodási egyenlet alapján adódik az összesen 144 ágat eredményező logikai fa.



451. ábra Logikai fa az episztemikus bizonytalanságok kezelésére

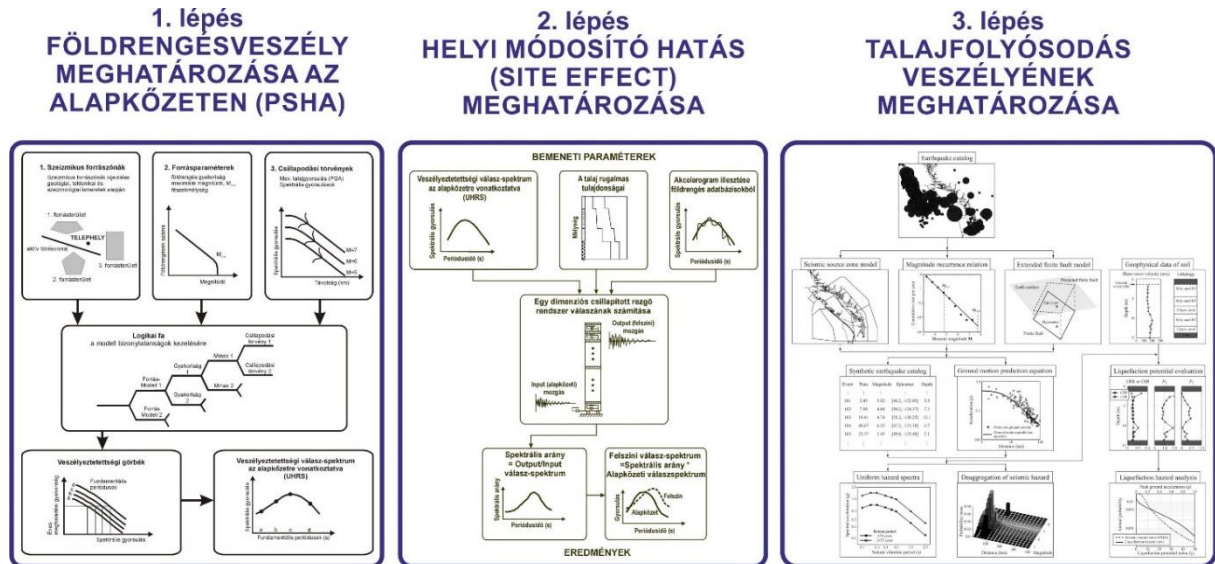
A veszélyeztetettség számítása a nemzetközi mérnökszeizmológiai gyakorlatban egyik legelterjedtebb szoftverrel, a CRISIS2007-tel történt.

A rendelkezésre álló geológiai, geofizikai, szeizmológiai és geotechnikai ismeretek alapján a telephelyi földrengés-veszély elemzése a 10^{-7} /év meghaladási gyakoriságig történt. A földrengésveszély elemzés az alábbi három lépésből áll (452. ábra)

- a földrengésveszély meghatározása az alapkőzeten (PSHA)
- helyi módosító hatás meghatározása; a földrengésveszély meghatározása a felszínen
- a földrengések következtében kialakuló másodlagos hatások, esetünkben a talajfolyósodás veszélyének meghatározása

A földrengésveszély meghatározásának legfontosabb eredménye a veszélyeztetettségi görbe, mely a különböző mértékű talajmozgás éves meghaladási gyakoriságát adja meg. A veszélyeztetettségi görbe különböző frekvenciájú talajmozgásokra (PGA, 0,05s, 0,075s, 0,1s, 0,15s, 0,2s, 0,3s, 0,4s, 0,5s, 0,75s, 1s és 2s periódusokon) lett meghatározva, a frekvenciatartományt logaritmikusan közelítően egyenközűen mintavételezve.

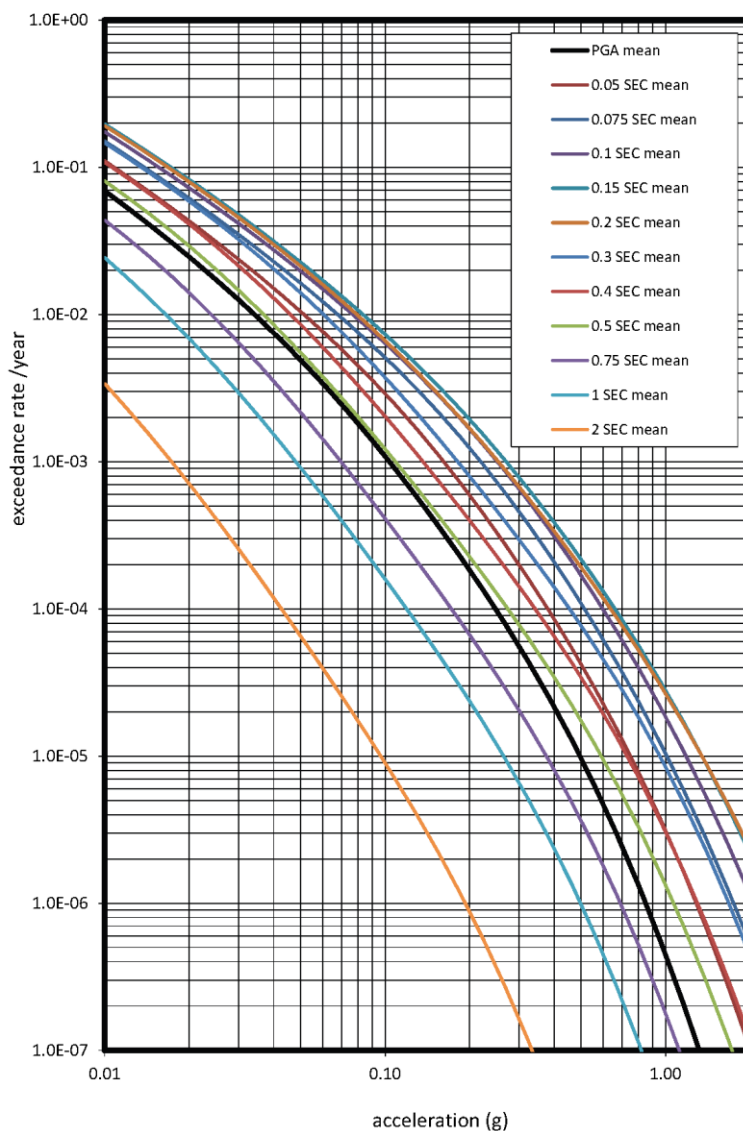
A veszélyeztetettségi görbét a 0,01 – 2 g gyorsulás tartományban 30 gyorsulás értékre lett számítva, mely közelítőleg megfelel a 10^{-1} - 10^{-7} /év gyakoriság tartománynak a periódustól függően.



452. ábra A földrengésveszély meghatározásának szakaszai atomerőmű telephely esetében

A számítási módszer inherenten tartalmazza a bizonytalanságok meghatározását is. Az eredmények a „mean” értéke mellett az 5 %, 16 %, 50 % (medián), 84 %, és 95 % konfidencia szinten is meg lettek jelenítve.

A logikai fa összes ágán, illetve a véletlenszerűségből fakadó bizonytalanságok integrálásával kapott PGA és különböző periódusra vonatkozó veszélyeztetettségi görbék várható értékét (Mean Hazard Curves) a 453. ábra mutatja. E görbesereg megadja a talajgyorsulás várható értékét az alapközveten a 10^{-1} - 10^{-7} /év gyakoriság tartományban.



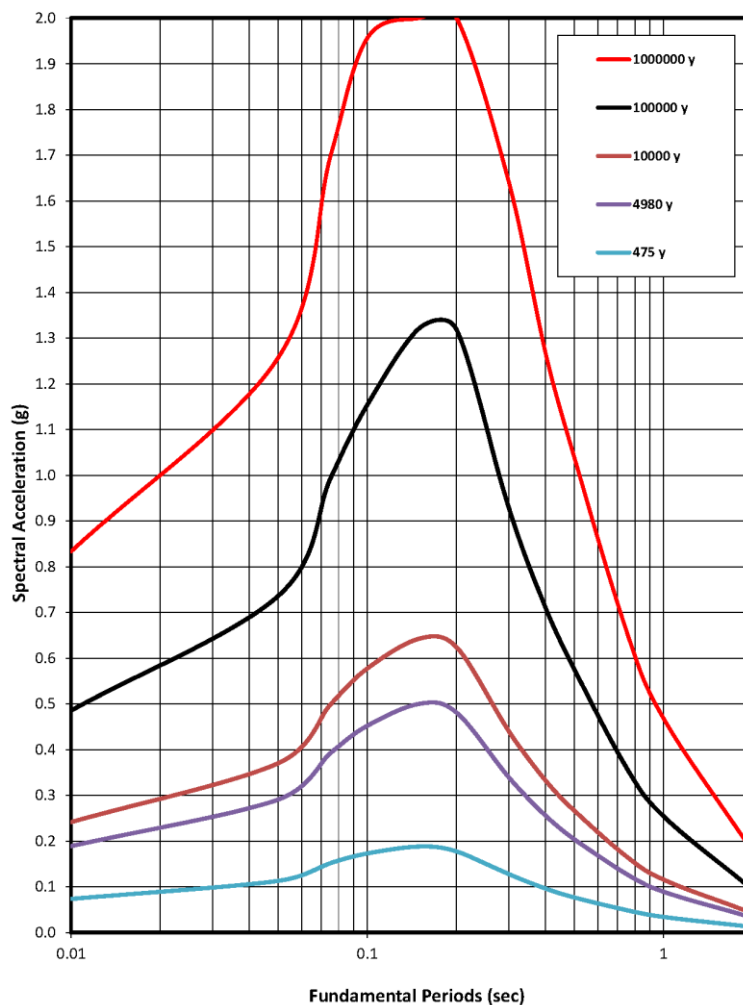
453. ábra A PGA és különböző periódusra vonatkozó veszélyeztetettségi görbék várható értéke (MHC) az MVM_Paks2 területen

Az azonos éves gyakoriság mellett számított különböző periódusú gyorsulások adják az alapközzeti UHRS-t (Uniform Hazard Response Spectrum), mely 1/475, 1/4980, 10^{-4} , 10^{-5} és 10^{-6} éves gyakoriságokra lett meghatározva. Ezek „mean” értékeit mutatja az 176. táblázat 454. ábra. **10^{-4} és 10^{-5} éves gyakoriságok mellett a PGA várható értéke az alapközveten 0,24 g illetve 0,49 g.**

176. táblázat A 10^{-6} /év, 10^{-5} /év, 10^{-4} /év, 1/4980/év és 1/475/év gyakoriságú spektrális gyorsulások várható értéke (UHRS mean) az MVM_Paks2 területen

Fundamental Periods (sec)	Spectral Acceleration (g) @ Fixed Return Periods (year)				
	1 000 000 y	100 000 y	10 000 y	4 980 y	475 y
PGA	0,83	0,49	0,24	0,19	0,07
0,05	1,26	0,74	0,37	0,29	0,11
0,075	1,70	0,99	0,50	0,39	0,15
0,1	1,96	1,15	0,58	0,45	0,17
0,15	2,00	1,32	0,64	0,50	0,19
0,2	2,00	1,32	0,62	0,48	0,18

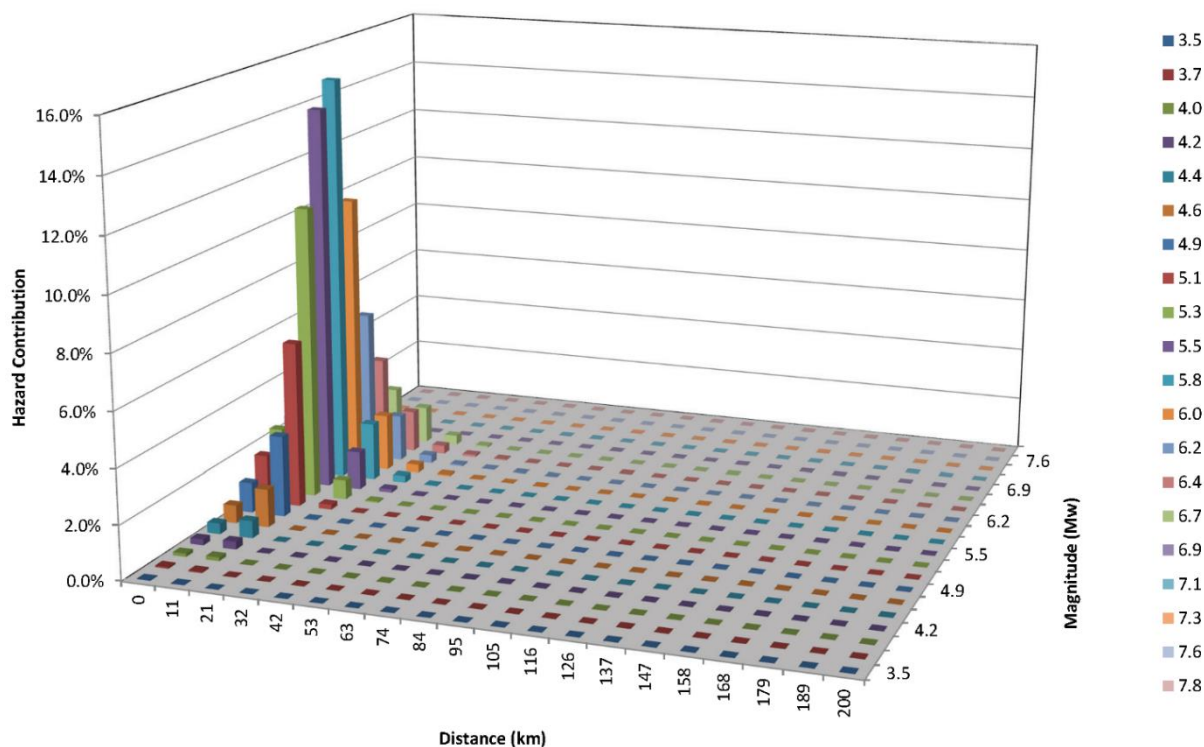
Fundamental Periods (sec)	Spectral Acceleration (g) @ Fixed Return Periods (year)				
	1 000 000 y	100 000 y	10 000 y	4 980 y	475 y
0,3	1,64	0,93	0,44	0,34	0,13
0,4	1,27	0,71	0,33	0,26	0,10
0,5	1,04	0,58	0,27	0,20	0,08
0,75	0,66	0,36	0,17	0,13	0,05
1	0,47	0,25	0,12	0,09	0,03
2	0,18	0,09	0,04	0,03	0,01



454. ábra A 10^{-6} /év, 10^{-5} /év, 10^{-4} /év, $1/4980$ /év és $1/475$ /év gyakoriságú spektrális gyorsulások várható értéke (UHRS mean) az MVM_Paks2 területen

A vizsgálat keretében az M – R deaggregációt 20 magnitúdó és 20 távolság intervallumra számították a hazard görbe 30 gyorsulás értékére, mind a 12 periódus esetében. A deaggregáció eredményét minden periódusra egy 20 x 20 x 30 elemű háromdimenziós mátrix jeleníti meg.

Példaként a 455. ábra a 10^{-5} /év gyakoriságú PGA hazard M-R (magnitúdó és távolság), M (magnitúdó) és R (távolság) szerinti deaggregációját mutatja. Látható, hogy a veszélyeztetettség kialakításában legjelentősebb szerepet a közeli (5-20 km) és 5,5 – 6,0 magnitúdójú rengések játsszák.



455. ábra Az MVM_Paks2 telephelyen 10^{-5} /év gyakoriságú veszélyeztetettség távolság és magnitúdó szerinti deaggregációja

3.4.5 Tervezési alapba tartozó földrengés jellemzői, maximális talajgyorsulás, válaszspektrum, időtartam, felszíni veszélyeztetettségi görbe

A laza üledék vizsgálata a kutatási terület felső 45 m-ének módosító hatására irányultak. A 45 m-es határfelület választását az indokolta, hogy az S-hullám sebesség ebben a mélységben éri el a PSHA számítások során alkalmazott 550 m/s -os értéket.

A számítások vertikálisan felfelé haladó nyíróhullámok feltételezésével, nemlineáris, időtartománybeli teljes és effektív feszültség módszerrel történtek.

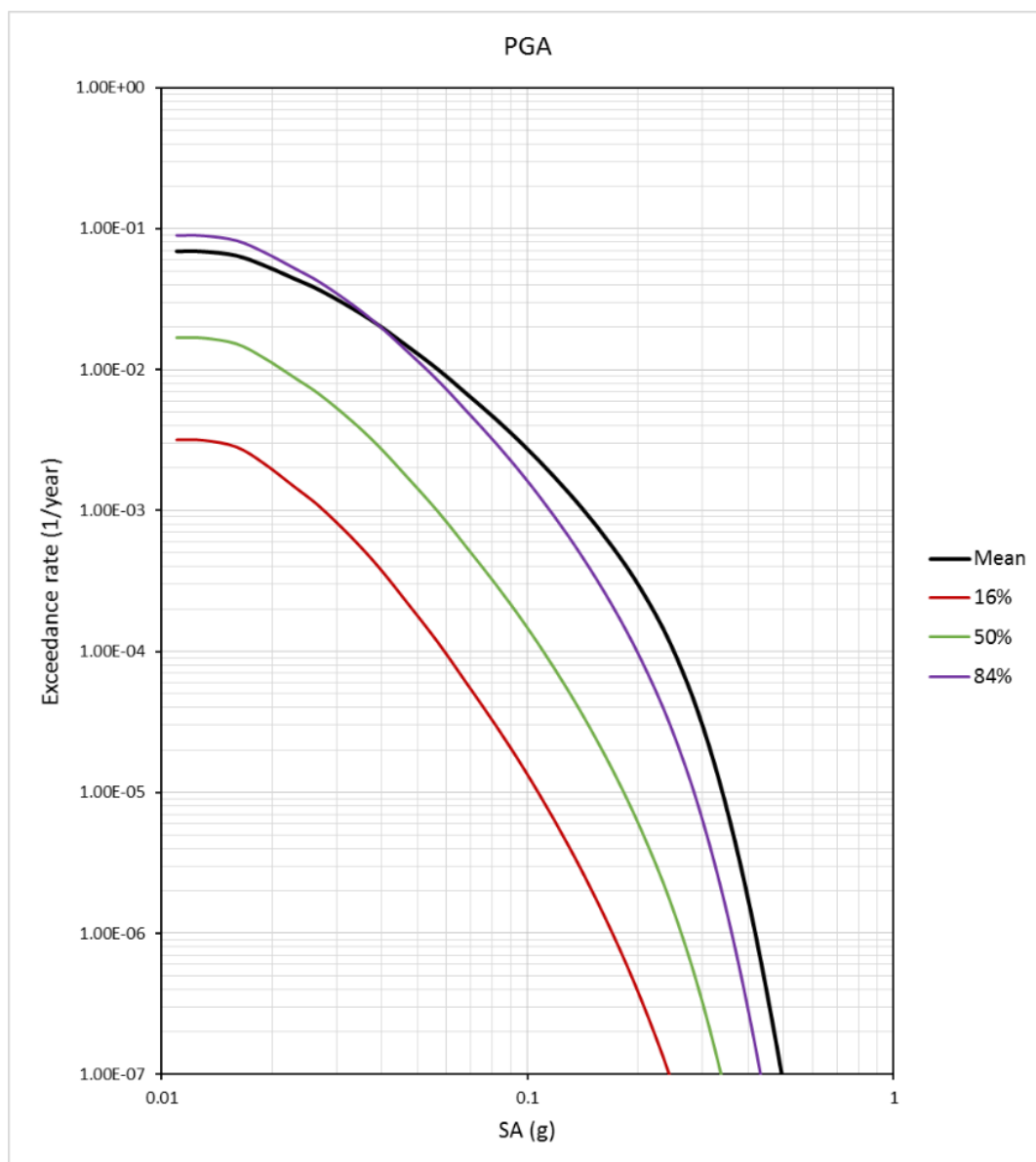
A szabadfelszíni gyorsulások veszélyeztetettségi görbéi a $10^{-2} - 10^{-7}$ /év gyakorisági tartományban kerültek meghatározásra, különböző konfidencia szinteken (16%, 50%, 84%, súlyozott átlag) (456. ábra). A veszélyeztetettségi görbéket a PGA mellett 0,05 s és 2 s között még további 11 periódusidőre is megadták.

Az $1/475$, $1/4980$, 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , és 10^{-7} /év meghaladási valószínűségekre a PGA átlagos (mean) értékére a 177. táblázatban felsorolt gyorsulás értékek adódtak. **A 10^{-5} /év gyakorisági szintnek megfelelő biztonsági földrengés átlagos PGA értéke a felszínen 0,34g.**

177. táblázat Az MVM Paks2 kutatási területen különböző éves meghaladási gyakoriságra számított PGA átlagos (mean) értéke a felszínen

Éves meghaladási gyakoriság	1/475	1/4980	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
PGA (mean)	0,11g	0,22g	0,25g	0,34g	0,42g	0,49g

A felszíni PGA-ra számított veszélyeztetettségi görbe a 456. ábraán látható.



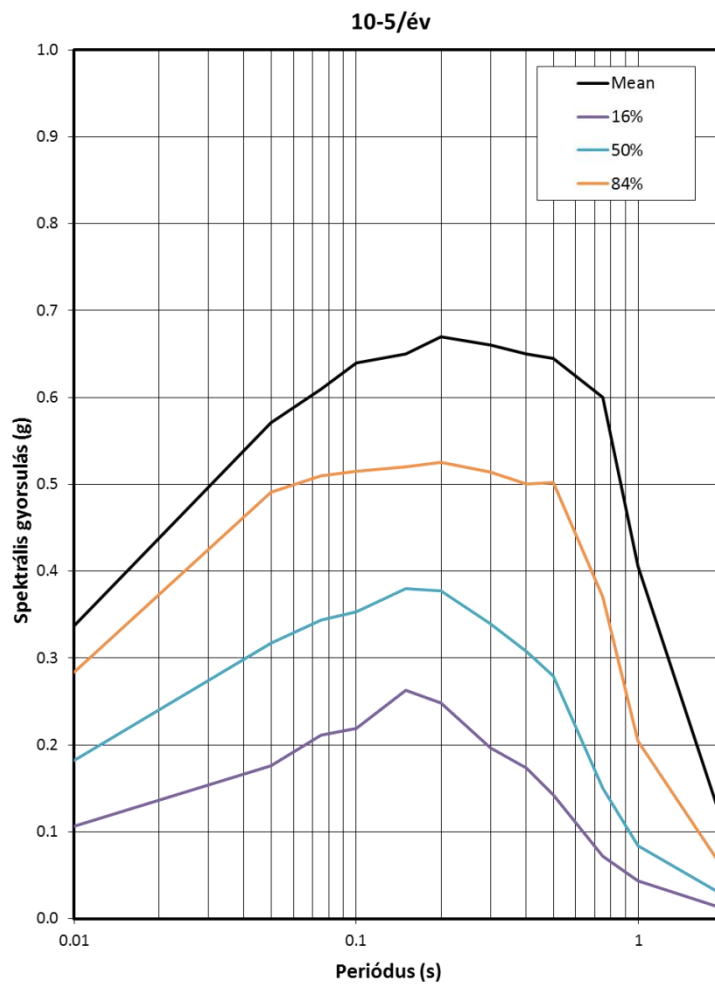
456. ábra A felszíni PGA-ra számított veszélyeztetettségi görbe

A felszíni UHRS numerikus értékeit a 178. táblázat és 457. ábra foglalja össze, az átlagos, 16%, 50%, 84% percentilisek esetén. A felszíni UHRS görbe közelítőleg 0,43 s-ig az alapközetű UHRS görbe alatt, nagyobb periódusoknál felette halad, vagyis a magasabb frekvenciákat a rétegsor már csillapítja, nagyítás csak az ennél hosszabb periódusoknál figyelhető meg (458. ábra).

178. táblázat A 10^{-5} /év meghaladási valószínűségi szintre számított felszíni UHRS (mean, 16%, 50%, 84% percentilisek)

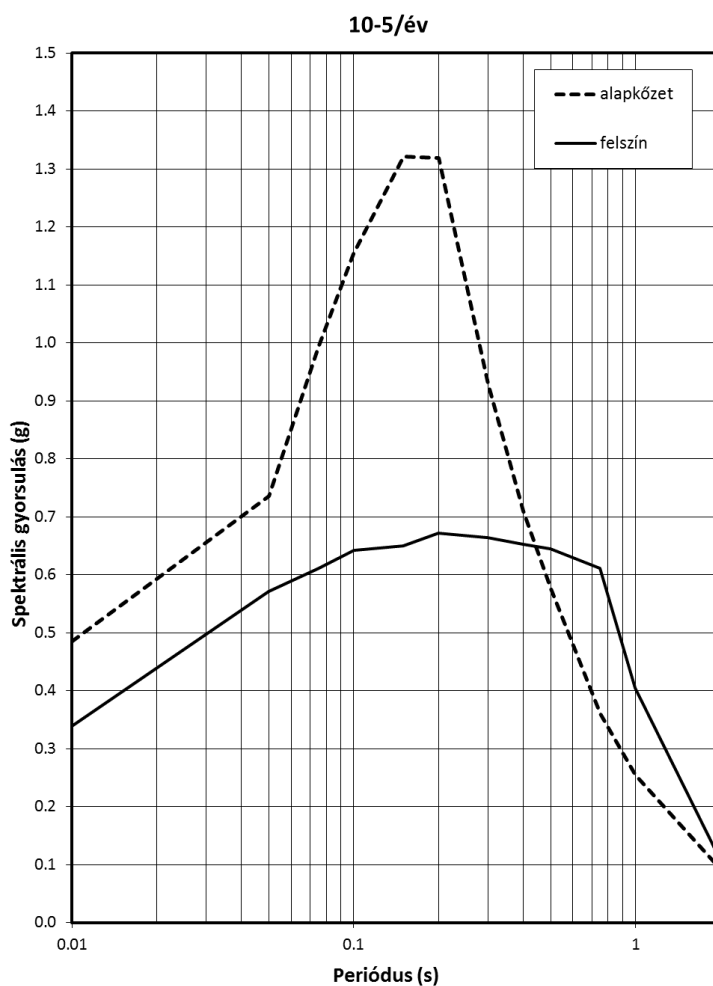
Periódus (s)	UHRS (g)			
	Mean	16%	50%	84%
0,01 PGA	0,34	0,11	0,18	0,28
0,05	0,57	0,18	0,32	0,49
0,075	0,61	0,21	0,34	0,51
0,1	0,64	0,22	0,35	0,52

Periódus (s)	UHRS (g)			
	Mean	16%	50%	84%
0,15	0,65	0,26	0,38	0,52
0,2	0,67	0,25	0,38	0,53
0,3	0,66	0,20	0,34	0,51
0,4	0,65	0,17	0,31	0,50
0,5	0,65	0,14	0,28	0,50
0,75	0,61	0,07	0,15	0,37
1	0,41	0,04	0,08	0,21
2	0,11	0,01	0,03	0,06



457. ábra 10⁻⁵/év meghaladási valószínűsége számított felszíni UHRS

Mean, 16%, 50%, 84% percentilisek.



458. ábra A 10^{-5} /év meghaladási valószínűsége számított alapkőzeti és felszíni UHRS átlag görbéi

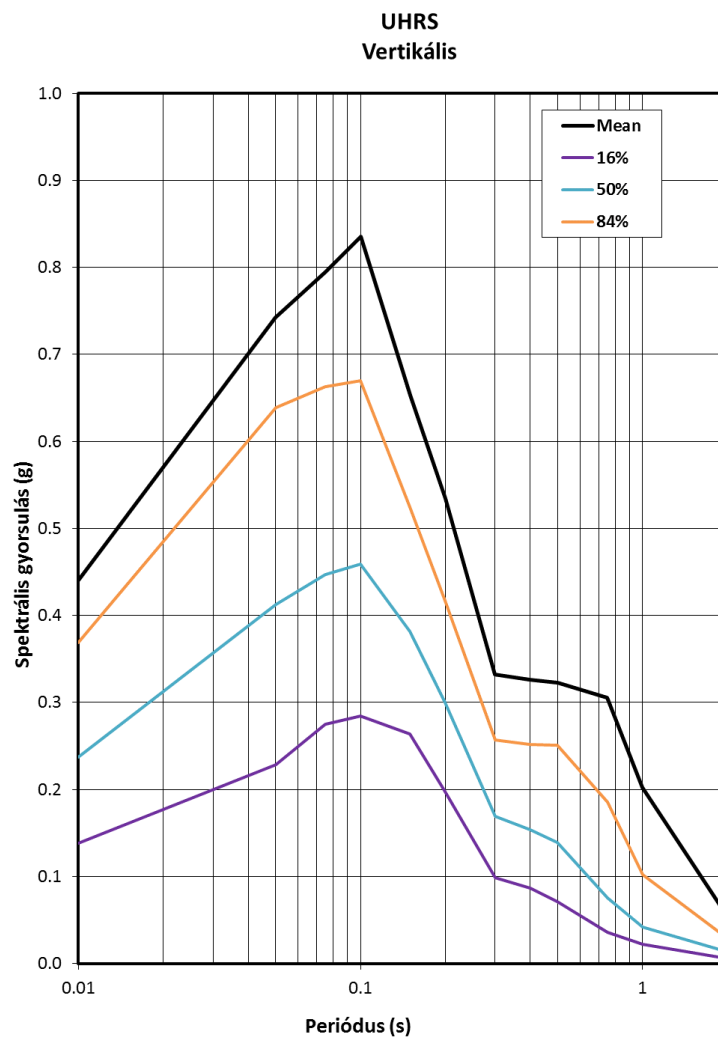
A biztonsági földrengésnek megfelelő, (10^{-5} /év) meghaladási valószínűségnél a vertikális UHRS meghatározása egyszerűsített V/H arány összefüggés alapján történt (179. táblázat). Eszerint a vizsgált bővítési telephelyre jellemző általajnál, és a deaggregációs mátrixból következő, 10 km távolságban kipattanó földrengések feltételezése esetén a 0,1 s-nál kisebb periódusoknál a függőleges gyorsulás 30%-kal nagyobb a vízszintesnél, majd 0,3 s-ig csökken, és afelett fele a vízszintes gyorsulásoknak. Így a vertikális csúcsgyorsulás átlagos értéke 0,44g, tehát 30%-kal nagyobb, mint a vízszintes PGA érték. Az ilyen módon számított vertikális UHRS a 459. ábraán látható.

179. táblázat A 10^{-5} /év meghaladási valószínűségi szintre számított felszíni vertikális UHRS

Mean, 16%, 50%, 84% percentilisek.

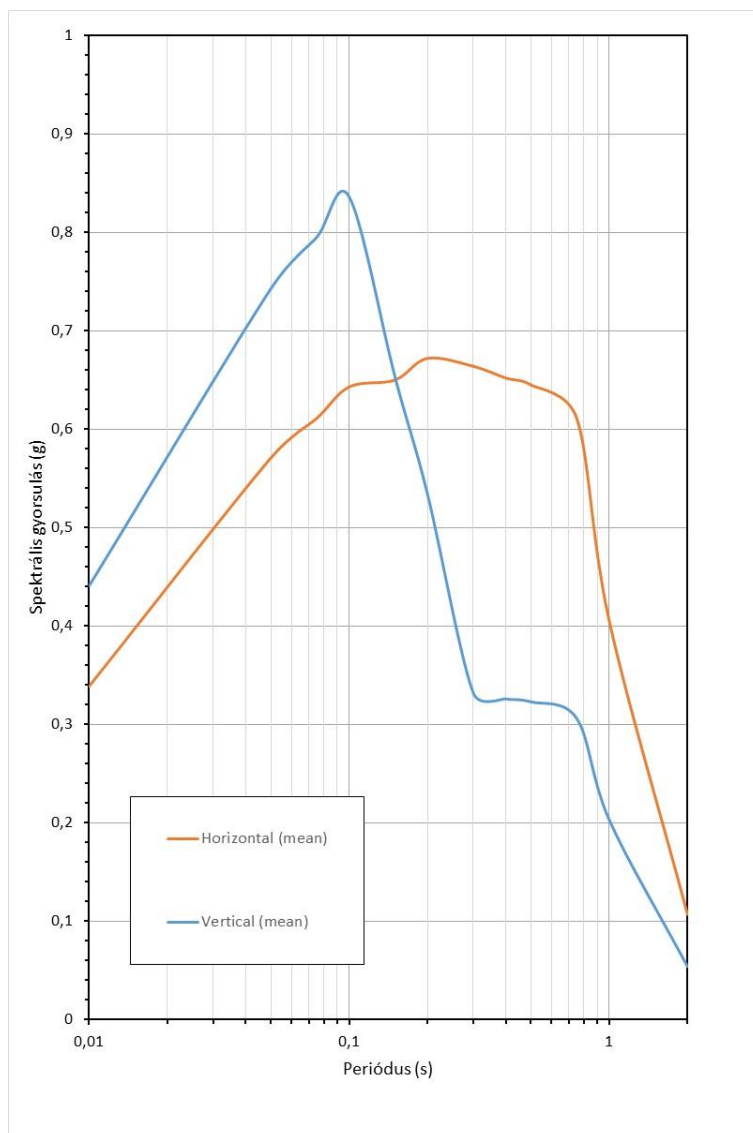
Periódus (s)	UHRS (g)			
	Mean	16%	50%	84%
0,01 PGA	0,44	0,14	0,24	0,37
0,05	0,74	0,23	0,41	0,64
0,075	0,80	0,28	0,45	0,66

Periódus (s)	UHRS (g)			
	Mean	16%	50%	84%
0,1	0,84	0,28	0,46	0,67
0,15	0,65	0,26	0,38	0,53
0,2	0,53	0,20	0,30	0,42
0,3	0,33	0,10	0,17	0,26
0,4	0,33	0,09	0,15	0,25
0,5	0,32	0,07	0,14	0,25
0,75	0,31	0,04	0,08	0,19
1	0,20	0,02	0,04	0,10
2	0,05	0,01	0,01	0,03



459. ábra A 10^{-5} /év meghaladási valószínűségre számított felszíni vertikális UHRS

Mean, 16%, 50%, 84% percentilisek.



460. ábra A 10^{-5} /év meghaladási valószínűsége számított felszíni horizontális és vertikális UHRS (mean)

Az erős rengések időtartama a biztonsági földrengés alapközei UHRS-éhez válogatott hét akcelerogramnak a felszínközeli rétegeken való áthaladás miatti, módosított alakjából lett becsülve (460. ábra). Ilyen módon a hét időfüggvény időtartamának átlagát kiszámítva, **az átlagos szignifikáns időtartamra 12 s adódott**. Ugyanezeknél az akcelerogramoknál a szignifikáns időtartamok átlaga az alapközeten 8.7 s volt, tehát bár a PGA a felszínen a hiszterézises csillapítás és pórusnyomás növekedés miatt lecsökkent, a nagyobb periódusok erősítése miatt az időtartam közel 40 %-kal nőtt.

3.4.6 A talajfolyósodás globális és lokális előfordulásának vizsgálata

A talajfolyósodás veszélyének értékelése az alapközei veszélyeztetettségi eredmények és a terület geotechnikai modelljén alapul. Mivel a geotechnikai adottságok és paraméterek változékonyak, a talajfolyósodás lehetőségére vonatkozó következtetések szigorúan csak a vizsgálati területre érvényesek.

A vizsgálati terület az 1 – 4 blokkoktól északra, a Duna pleisztocén folyóvízi teraszán helyezkedik el. Anyaga nagyrészt folyóvízi homok és kavics, amelynek felszínét

futóhomok lepel borítja. Jelenlegi felszíne közelítőleg sík, ami a felső néhány méteren található feltöltésnek köszönhető. A negyedkori, nyugodt településű pleisztocén rétegek eróziós diszkordanciával települnek a pannóniai rétegekre, amelynek felszíne a terepszint alatt 21 – 28 m mélységben található. A telephelyen korábban elvégzett vizsgálatok szerint az alluviális terasz anyagában földrengés hatására megfolyósodásra hajlamos, homokos üledékek találhatóak.

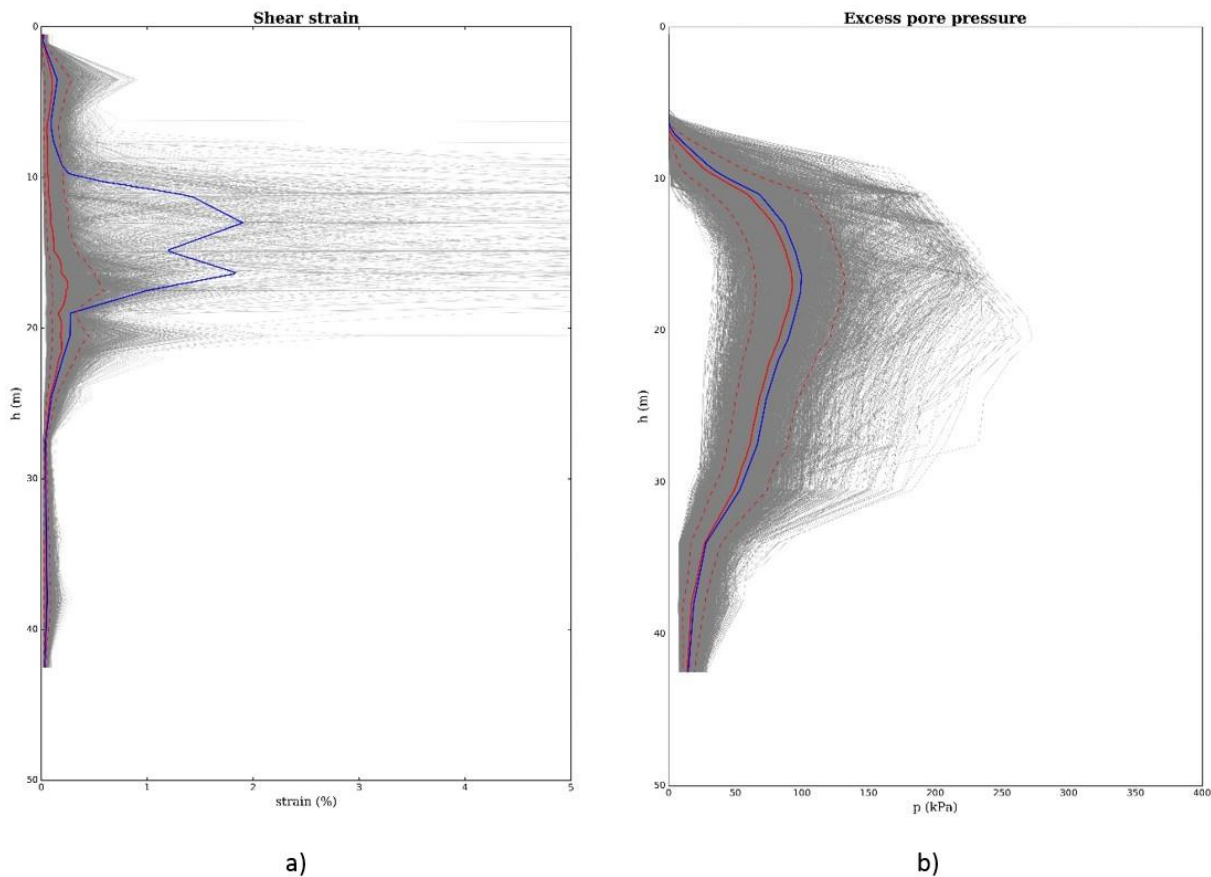
Az FKP keretében történt elemzések megállapították, hogy a biztonsági földrengéshez tartozó 0,34 g felszíni gyorsulásnál a közeli, közelítőleg 11 km-es epicentrális távolságban kipattanó, 5,8 – 6 momentum magnitúdójú földrengések járulnak hozzá legnagyobb arányban a talajfolyósodás kialakulásához. Ennek alapján a biztonsági földrengésnek megfelelő valószínűségi szinten a talajfolyósodás elemzés a konzervatívabb, 6-os magnitúdójú földrengés feltételezésével történt.

A talajfolyósodás elemzését effektív feszültség módszerrel is elvégezték. A számításokat a $10^{-5}/\text{év}$ meghaladási valószínűségű alapközei gyorsulás átlagértékének, 0,49 g-nek a feltételezésével végezték. A rétegsor laterális változékonyságát, a talajvízszint változásait Monte Carlo modellezéssel vették számításba, amelynek során figyelembe vették az egyes paraméterek egymással való korrelációját. A számítások a rétegparaméterek 500 realizációjára, hét akcelerogrammal történtek, így eredményként is minden paraméterre egy 3500 értékből álló eloszlásfüggvényt adódott.

Számítások alapján a 10-20 m közötti mélység tartományban néhány esetben igen jelentős nyírási deformációk figyelhetők meg. Ezeknek a mélysége egybeesik azzal a tartománnyal, ahol nagy pórusvíz túlnyomások alakulnak ki, és elérik az effektív vertikális nyomás értékét (461. ábra) vagyis a talaj megfolyósodik.

Talajfolyósodás csak néhány kedvezőtlen realizációnál következik be, a realizációk többségénél nem jellemző. Ugyanakkor a medián illetve átlag görbékről is jelentős, 100 kPa pórusvíz túlnyomás olvasható le, ami a szilárdság csökkenését eredményezi. Amely realizációknál bekövetkezik a folyósodás, ott ez főként a 10–16 m-es mélységben jelentkezik, de időnként előfordul kisebb és nagyobb mélységekben is.

A talajfolyósodás lokális értékelése a biztonsági földrengésnek megfelelő ($10^{-5}/\text{év}$) valószínűségi szinten, 0,34 g felszíni gyorsulás feltételezése mellett, átlagos talajvízszintre, CPT szondázáson alapuló módszerrel történt. A vizsgálatához összesen 47 darab CPT szondázás eredményét használták fel, a magnitúdóra a 6-os érték, a földrengéskor várható talajvízszintre az átlagos 8,5 m feltételezésével. A ciklikus feszültség arányt az átvitel számítás során határozták meg, és a medián CSR mélység függvényt alkalmazták. A vizsgálat 25 m mélységig, a pleisztocén réteg aljáig történt, mivel a pannóniai rétegek nagy mélységüknek, összetételüknek, nagy tömörségüknek és némely esetben cementáltságuknak köszönhetően kizárhatók a megfolyósodás veszélyes rétegek sorából.



461. ábra A nyírási deformáció (a) és a pórusvíz túlnyomás (b) realizációi a mélység függvényében

Az átlag (kék), medián, 16% és 84% percentilisekkel (piros vonalak).

A számítások alapján a biztonsági tényező nagyobb vastagságban szinte az összes CPT esetén lecsökken 1,4 alá. 8,5 és 11 m-es mélység között valamelyest nagyobb ellenállás mutatkozik a megfolyósodással szemben, itt több CPT esetén is nagyobb biztonsági tényező 1,4-nél. Az ezt követő 5-6 m-es zónát, ahol az öntéshomok az uralkodó réteg, főleg alacsony FS értékek jellemzik, amelyek sok esetben több m vastagságban 1,1 alá csökkennek. A kavicssterasznak megfelelő mélységben igen változatos a kép. Egyes CPT-k esetén a biztonsági tényező jóval 1,4 felett van, míg más CPT-kenél nagyobb vastagságú szakaszon is 1,1 alá csökken.

Az alacsonyabb, illetve magasabb biztonsági tényezőkkel rendelkező talajzónák között nem figyelhető meg egyértelmű térbeli összefüggés, nagyobb összefüggő zónák nem határolhatók le egyértelműen. Az ugyanakkor megállapítható, hogy északról dél felé haladva valamelyest csökkennek a biztonsági tényezők a finomhomok és a kavicsrétegben, azonban ilyen összefüggés az öntéshomokban nem figyelhető meg.

Összességében megállapítható, hogy CPT szondázás eredményei alapján nem zárható ki a talajfolyósodás lokális bekövetkezése. A jelentős pórusvíznyomás növekedésén túl több helyen is számolni kell nagyobb vastagságban történő megfolyósodással, amelyek elsősorban az öntéshomokban jelentkezhetnek. Bár a kavicssteraszban is több helyen mutatták ki a számítások a folyósodás veszélyét, az itt kapott eredményeket a szonda alkalmazhatóságának határai miatt fenntartásokkal kell kezelni.

3.5 Az értelmezést támogató informatikai rendszer

A Földtani Kutatási Program elsődleges célja a tervezett atomerőmű környezetében működő természeti folyamatok megismerése. Ezen folyamatok – legyenek akár földtani-, vagy éghajlattani jellegűek – kivétel nélkül a földrajzi térben zajlanak le. A jelenségek megismerése és értékelése során a „Hol történik?” ugyan olyan fontos kérdés, mint a „Mi ez a folyamat?”.

A Program teljesítése közben igen nagy mennyiségben keletkezett adat. Ezen adatokat hosszútávra kell tárolni, úgy hogy közben nem mondunk le az adat valós, földtani környezetben elfoglalt térbeliségéről. Ezen feladatokra legalkalmasabb megoldás az objektumrelációs téradatbázisok használata.

A tér- (vagy más néven geo-) adatbázisok annyival jelentenek többet a hagyományos, relációs-, vagy objektumrelációs adatbázisokhoz képest, hogy ezekben a térrel összefüggő kérdések sokkal hatékonyabban megválaszolhatók (pl.: „Milyen kőzetek találhatóak ezen a területen?”); valamint támogatják a térbeli-, logikai- és topológiai összefüggések kezelését (pl.: „Egy adott fúrásban ész-lelt tektonikai elem hol/hogy jelenik meg a földtani modellkörnyezetben?”).

A kutatási adatok befogadására felépített téradatbázis elsődleges célja, hogy a keletkezett adatokat hosszútávra, maradéktalanul megőrizze. Ezt a feladatot komplex szemlélettel, a földtani, tudományos megközelítést és a térinformatikai elvárásokat összeegyeztetve teljesítettük.

Ahhoz, hogy az adatbázis hatékonyan működjön, az alábbi tervezési elveknek kellett megfelelni:

1. A téradatbázis teljes és önálló egységet alkot; nem tartalmaz külső adatra való hivatkozást, minden hivatkozott adatot önmagában tárol; ezzel megakadályoztuk, hogy a külső- (függetlenül kezelt) adatok módosulása, vagy elérhetetlenné válása esetén az adatbázis egyes részei értelmüket veszítsék. Ha a téradatbázist lemásoljuk, garantáltan, teljes egészében azonos, hiteles másolatot kapunk, véletlenül sem lehet töredékes-, vagy hiányos másolatot készíteni.

2. Az adatbázis absztrakciós réteggént működik. A Földtani Kutatási Program során keletkező adatok sokféle formátumban érkeztek. Ezek közül sok formátum volt általános (pl.: ASCII), sok elterjedt (pl.: Microsoft® Office® fájlok) és sok tér-, vagy tudományspecifikus (pl.: GeoTIFF©; Log ASCII Standard). Az adatbázis későbbi felhasználóitól, valamint a döntéshozóktól azonban nem várható el, hogy az összes formátumot ismerjék és olyan szoftverkörnyezet is rendelkezzenek, amelyben az összes formátumot olvasni tudják, ezért az adatbázisba minden beérkezett adat az adatbázis saját, egynemű formátumának megfelelően lett betöltve. Így a felhasználó szabadon böngészheti az adatokat, anélkül, hogy ezen formátumheterogenitásból bármit is érzékelne. Minden adat az eredeti formátumától elvonatkoztatottan, azonos vizualizációs elvek mentén jelenik meg.

3. A téradatbázis megőrzi az eredeti adatokat (is). Az eredeti adatok, változatlan formátumban történő megőrzése azért lényeges, hogy az adatsor szakterület-specifikus szoftverekkel utólag is, (estlegesen veszteséges) konverzió nélkül elemezhető legyen; valamint később, ha esetleg egy hatékonyabb elemzési eljárást fedeznek fel egy szakterületen, ak-kor

az eredeti- (nem értelmezett/át-, vagy feldolgozott) adatokat lehessen újra vizsgálni. Az eredeti adatok meglétével az absztrakció minősége is ellenőrizhető.

4. Az adatbázis nem vár el a felhasználójától adatbázis-, illetve adatszótár ismereteket. Így például a geofizikában gyakran rögzített természetes gamma-sugárzás értéke a szokásos „termgamma” felirat helyett itt „Természetes γ -sugárzás [$\mu\text{R/h}$]” feljéccel és mértékegységgel szerepel. Így nem kell később azzal bajlódni, hogy egy külön táblázatból kikeres-sük, hogy mely oszlop, mit jelent az adott táblázatban. Ahol ez nem ütött el jelentősen az adott tudományterületen megszokottól, ott az adatokat SI mértékrendszerre normáltuk, a mértékegységeket pedig a NIST „SI Unit rules and style conventions” című ajánlása szerint írtuk meg (<http://physics.nist.gov/cuu/Units/checklist.html> [2016.08.13.]).

5. A téradatbázis metaadatokkal ellátott. A metaadatok gondoskodnak arról, hogy az adat-bázisban a fókuszátlan keresések is eredményre vezessenek. Ahol az adat gyűjtése előre közölt tervek szerint és -módszertannal zajlott, ott az erre vonatkozó utasítás is bekerült az adott adathalmaz metaadatai közé.

6. A téradatbázis adatai ellenőrzöttek. Minden adatsomagot – amelyeknél a földtudományi szakemberek megadták az ellenőrzés lehetőségét – egy előre definiált protokoll alapján átvizsgáltunk és hiba esetében javítottunk.

7. Az adatokról biztonsági másolatok készíthetők; valamint az adattartalomhoz való hozzáférés – az adatbázisfelvű tárolásának köszönhetően – felhasználói jogosultságok szerint korlátozható. A Földtani Kutatási Program időtartama alatt a téradatbázist két föld-rajzilag elkülönített helyen, előre kidolgozott mentési protokoll alapján tároltuk.

8. A téradatok vizualizációja egységes térinformatikai környezetben történt. A megjelenítés során a felhasználónak nem kell többféle szoftverrel megismerkednie, az alkalmazott az ArcGIS® technológia mind 2D, mind 3D esetében tudományosan megalapozott megjelenítési lehetőségeket biztosít.

9. Az adatbázis moduláris felépítésű, bármikor – például, ha új eredmények birtokába jutunk –, új adatkörökkel bővíthető; továbbá hosszú távú, monitoring típusú adatok fogadására is alkalmas.

4. Összefoglalás

A Paksi Atomerőmű telephelyén létesítendő új atomerőművi blokkok telephely vizsgálatához és értékeléséhez készített Földtani Kutatási Program (ÁKMI Kft., SOM®475/3 Rev.4., továbbiakban: FKP) feladatainak végrehajtása a Beruházó és a Fővállalkozók közti szerződés megkötésével, 2015. április 2-án kezdődött. A terepi kivitelezési munkák 2016. augusztus 10-én zárultak, azonban a legnagyobb feladatot jelentő fúrési program már 2016. május végére befejeződött. A program végrehajtása a vizsgálatok terjedelmét, a kutatások komplexitását tekintve az utóbbi két évtized egyik, ha nem a legnagyobb magyarországi földtani kutatási munkája volt.

A program végrehajtása során képződött dokumentációk, jelentések egy négy lépcsős, hierarchikus rendszerbe illeszkednek, melyen belül a terepi és laboratóriumi mérések, vizsgálatok alapidokumentációitól indulva, fokozatosan növekvő integráció és szintézis révén, a szakterületi rész- és összegző jelentéseken át lehetett eljutni magáig a zárójelentésig.

A zárójelentés 2. fejezet röviden bemutatja az elvégzett kutatási feladatokat, a kivitelezés fontosabb adatait, módszereit, az elsődleges adatfeldolgozást. A 3. fejezet tartalmazza a szakterületenkénti és komplex értékelést, összefoglalást, kiemelve a telephely-alkalmasság szempontjából leginkább releváns megállapításokat.

A zárójelentés 3.1 fejezete bemutatja a vizsgált terület – a tervezett telephely tágabb, 30×30 km-es környezete – általános földtani felépítését, elsősorban a háromdimenziós földtani-geofizikai modellre alapozva, mely a földtani és geomorfológiai térképezés, a 3D szeizmikus értelmezés, az FKP keretében lemélyült kutatófúrások és kutatóárkok, elvégzett geofizikai mérések, továbbá archív adatok alapján készült el. A modellezés legfontosabb eredménye, hogy sikerült leképezni a terület tektonikai viszonyait, a vetőrendszereket, azok neotektonikai aktivitását. Rekonstruálni lehetett a terület fejlődéstörténetét és szerkezetalakulását a miocéntól a jelenkorig terjedő időszakban. A földtani modell egyben kiindulásul szolgált a hidrogeológiai és geodinamikai modellekhez is. A fejezet végén rövid, összefoglaló értékelés található a telephelyet érintő, potenciális földtani-geomorfológiai jellegű veszélyekről, nevezetesen a felszín közelébe hatoló vetőkről, a felszínmozgásról, lejtőstabilitásról, erózióveszélyről, karsztosodó képződményekről és ásványi nyersanyagok előfordulásáról.

A 3.2 fejezet a geotechnikai vizsgálatok összefoglaló értékelését adja meg. Ezek értelemszerűen a tervezett telephelyre összpontosítanak. Először bemutatásra kerül a telephelyi geotechnikai kutatófúrásokban végzett karotázs mérések alapján elkészített tömbszelvény, majd a fúrások leírása és mintáik laboratóriumi vizsgálata alapján azonosított rétegek („A”-tól „O”-ig) ismertetése következik, fontosabb talajmechanikai paramétereik számszerűsítésével, és az adatok statisztikai elemzésével. A fejezet tárgyalja a tervezett atomerőművi blokkok biztonsága szempontjából kritikus fontosságú földrengés-veszélyeztetettség és talajfolyósodási potenciál meghatározásához szükséges geotechnikai talajparamétereket, végül röviden összefoglalja a tervezett telephely geotechnikai jellemzőit.

A zárójelentés 3.3 fejezete a vízföldtani vizsgálatok eredményeivel foglalkozik. Ennek első része tartalmazza a tervezett telephelyen 2016. januárjától üzemelő hidrogeológiai monitoring rendszer vízszint észleléseinek, valamint vízminőség vizsgálatainak eredményeit, melyek alapvető adatokat biztosítanak a telephelyi hidrogeológiai viszonyok megértéséhez, továbbá az alapozásra esetleg veszélyt jelentő, talajvíz-agresszivitás megítéléséhez. Ezt követően bemutatásra kerülnek a regionális vízföldtani kutatások és modellezés eredményei:

sikerült tisztázni a felszín alatti vizek utánpótlási viszonyait, a felszíni és felszín alatti vizek közti kapcsolatokat, az áramlási rendszert felépítő rétegek legfontosabb jellemzőit, a vetőzónák szerepét az áramlási rendszerben, és végül ismertetésre kerül maga a felszín alatti áramlási rendszer. Szintén foglalkozik a fejezet a hidrogeológiai viszonyokban az utóbbi időben bekövetkezett, valamint a közeli jövőben várható változásokkal. Végül a fejezet tárgyalja a telephelyi vízföldtani modellezés eredményeit, köztük a rétegvizek hidraulikus potenciálját, a talajvízháztartási modellt, a transzportfolyamatokat, az új blokkok létesítésekor megnövekedő vízkivétel hatásait.

A 3.4 fejezet ismerteti a tervezett telephely tektonikai és földrengés-veszélyeztetettségének meghatározását, mely a telephelyet érintő, földtani eredetű veszélyek legfontosabb elemeit tartalmazza. Először bemutatásra kerülnek a neotektonikai viszonyok, majd a geodinamikai modellezés eredményei, melyek konklúziójaként meg lehetett határozni annak valószínűségét, hogy a jövőben mely szerkezeti elemek mentén lehetséges elmozdulás. Ezt követi a földrengés forrásmodellek – M1 modell, eredeti és módosított Share modell – ismertetése, a maximális magnitúdó meghatározása és annak bizonytalansága. Következő lépés a valószínűségi földrengés-veszély elemzés (PSHA) bemutatása, mely teljes megújítására került sor az FKP keretében. Meghatározásra kerültek a tervezési alapba tartozó földrengés jellemzői, az alapközetben és a felszínen várható legnagyobb gyorsulások és válaszspektrum, időtartam és veszélyeztetettségi görbe. Végezetül a fejezet megállapítja, hogy a talajfolyósodás lokális bekövetkezésével bizonyos feltételek teljesülése esetén számolni kell.

Az utolsó értékelő fejezet (3.5 fejezet) – kiemelt fontosságára tekintettel – röviden ismerteti az adatok megőrzését, feldolgozását és értelmezését támogató informatikai hátteret, a külön a Földtani Kutatási Programhoz kifejlesztett dokumentumtárat, téradatbázist és térinformatikai rendszert.

Irodalomjegyzék

- [1] Ádám L. (1953): *Morfológiai vizsgálatok a Mezőföld Duna-Sárvíz közti területén.* – Földrajzi Értesítő 2(2): pp. 176-200.
- [2] Ádám L. (1964): *A Szekszárdi-dombvidék kialakulása és felszínalaktana.* – Akadémiai Kiadó, Budapest, 82 p.
- [3] Ádám L. (1966): *A tolnai Hegyhát kialakulása.* – Földrajzi Értesítő 9 (2), pp. 143-176.
- [4] Ádám L. (1969): *A Tolnai-dombság kialakulása és felszínalaktana, Budapest, Akadémiai Kiadó, Földrajzi Kismonográfiák, 186 p.*
- [5] Ádám L., Marosi S. és Szilárd J. (1959): *A Mezőföld természeti földrajza.* – Akadémiai Kiadó, Budapest, 514 p.
- [6] Ádám L., Marosi S., Szilárd J. (1967): *A domborzat kialakulása és mai képe (Mezőföld). A dunai Alföld.* – Budapest, Akadémiai Kiadó: pp. 253-263.
- [7] Adamiec, G., Aitken, M. (1998): *Dose rate conversion factors: update.* – Ancient TL 16, pp. 37-50.
- [8] Alföldi L. (2009): *Hydrography – The Danube and its Tributaries.* – In: Kocsis K. – Schweitzer F. (szerk.) Hungary in Maps. Geographical Research Institute Hungarian Academy of Sciences. Budapest, pp. 51–56.
- [9] Almasi, I., (2001): *Petroleum hydrogeology of the Great Hungarian Plain, Eastern Pannonian Basin, Hungary.* PhD dolgozat. – University of Alberta
- [10] Andrásfalvy B. (1975): *Duna mente népének ártéri gazdálkodása Tolna és Baranya megyében az ármentesítés befejezéséig.* – In: K. Balogh J. (szerk.): *Tanulmányok Tolna megye történetéből 7. Szekszárd*, 480 p.
- [11] Andrassy M. ed. (2015a): *Gyorsjelentés a PAET-26 jelű fúrásban végzett hidrotechnológiai vizsgálatokról.* – MÁ/PA2-15-HI-06
- [12] Andrassy M. ed. (2015d): *Gyorsjelentés a PAET-29 fúrásban végzett hidrotechnológiai vizsgálatokról.* – MÁ/PA2-15-HI-11
- [13] Andrassy M. ed. (2016a): *Gyorsjelentés a PAET-27 jelű fúrásban végzett hidrotechnológiai vizsgálatokról.* – MÁ/PA2-16-HI-08
- [14] Atkinson, G. (1984): *Simple computation of liquefaction probability for seismic hazard applications.* – Earthquake Spectra 1, pp. 107–123.
- [15] Bada G., Bus Z., Gribovszki K., Horváth F., Magyarai Á., Mónus P., Szeidovitz Gy., Tímár G., Tóth T., Weber Z., Wórum G. (2005): *A tíz éve folyó mikroszeizmikus monitorozás eredményeinek szeizmológiai értékelése és a neotektonikai modell megújítása.* – A Paksi Atomerőmű tervezett üzemidő-hosszabbítására vonatkozó Részletes Környezeti Hatástanulmányt (RKHT) előkészítő földtani, szeizmotektonikai és geotechnikai értékelés. II. kötet: A tíz éve folyó mikroszeizmikus monitorozás eredményeinek szeizmológiai értékelése és a neotektonikai modell megújítása – Kutatási jelentés az ETV-ERŐTERV Rt. részére, Georisk Kft és Geomega Kft., Budapest, 219 p.
- [16] Bada, G., Horváth, F., Dövényi, P., Szafián, P., Windhoffer, G. and Cloetingh, S. (2007): *Present-day stress field and tectonic inversion in the Pannonian basin.* Glob. Planet. Change: 58: pp.165-180.

- [17]Bada, G., Szafián, P., Windhofer, G. (2002): *A tervezett Kis és Közepes Aktivitású Radioaktív Hulladéktároló (Üveghuta, Bábaapáti) Környezetének Szeizmotektonikai viszonyai.* – Kézirat, Geomega Kft.
- [18]Balla Z., Marosi S., Scheuer Gy. Schweitzer F., Szeidovitz Gy. (1993): *A Paksi Atomerőmű földrengéskockázatával kapcsolatos szerkezeti és geomorfológiai vizsgálatok.* – Földrajzi Értesítő: 42. pp. 1–4. pp. 111–140.
- [19]Balla Z., (1988): *On the Origin of the structural pattern of Hungary.* Acta Geologica Hungarica: 31, pp. 53-63.
- [20]Balla Z., Császár G., Gulácsi Z., Gyalog L., Kaiser M., Király E., Koloszar L., Koroknai B., Lantos Z., Magyarai Á., Maros Gy., Marsi I., Molnár P., Rotárné-Szalkai Á. Tóth Gy. (2009): *A Mórágyl-rög északkeleti részének földtana (Geology of the North-eastern part of the Mórágyl Block).* Térképmellékletekkel. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest: 499 p.
- [21]Balogh J., Balogné di Gleria M., Borsy Z., Havas F.-n., Juhász Á., Kis É., Lantos M., Marosi S., Schweitzer F. (1994): *Geomorfológiai kutatások dokumentációja.* – M. FKI. Budapest: 210 p.
- [22]Balogh J., Marosi S., Schweitzer F. (1996): *A kis és közepes radioaktivitású hulladékok elhelyezésére szolgáló geomorfológiai telephelykutatás dokumentációja. Udvari.* – MTA. FKI. Budapest: 32 p.
- [23]Balogh J., Schweitzer F. (2011): *Felszínmozgásos folyamatok a Duna Gönyű–Mohács közötti magasparti szakaszain.* In: Schweitzer F. (szerk.): *Katasztrófák tanulságai.* – MTA FTI, Budapest: pp.69-96.
- [24]Barabás A. (2016): *Javaslat felszínközeli, fiatal szerkezeti mozgások vizsgálatára.* – Ált/650-1/2016
- [25]Barabás A. (2016): *Pa-22 szelvény fúrásainak előzetes értékelése.* Feljegyzés. – Ált/1197-1/2016. Mecsekérc Zrt., Pécs
- [26]Barna I. ed. (2015): *Dokumentációs és laboratóriumi vizsgálati program földtani része (1.1.3.).* – MÁ/PA2-15-FT-01, Mecsekérc Zrt., Pécs
- [27]Barna I. ed. (2015): *Kutatási terület földtani térképezési munkáinak terve (1.1.2.).* – MÁ/PA2-15-FT-02, Mecsekérc Zrt., Pécs
- [28]Barna I. ed. (2015): *Területi geomorfológiai felmérés terve (1.1.1.).* –MÁ/PA2-15-FT-03 V2, Mecsekérc Zrt., Pécs
- [29]Bear J. (1972): *Dynamics of fluids in porous media.* – New York: Elsevier 800 p.
- [30]Bear J. (1993): 1 - *Modeling Flow and Contaminant Transport in Fractured Rocks, in Flow and Contaminant Transport in Fractured Rock,* Bear J., Tsang C.F., and De Marsily G., Editors. Academic Press: Oxford. pp. 1-37.
- [31]Bear J., Berkowitz B. (1987): *Groundwater Flow and Pollution in Fractured Rock Aquifers, in Development of Hydraulic Engineering, vol. 4.*– Novak P., Editor. Elsevier Applied Science: Oxford. pp. 175–238.
- [32]Bella G. ed. (2016): *Jelentés a Paks II. atomerőművi blokk(ok) telephelyengedélyének megszerzéséhez szükséges földtani kutatási program keretében elvégzett egyedi kútesztekről és kiértékelésükről,* Kézirat (3.4.1). – MÁ/PA2-16-HI-14 V1, Mecsekérc Zrt., Pécs

- [33] Benkó Zs., Molnár F., Lespinasse, M. (2008): *Fluidzárványsíkok és repedésrendszerek vizsgálatának alkalmazása granitoid kőzetek repedezettségének fejlődéstörténeti rekonstrukciójában* I.: Módszertani alapvetés és alkalmazás a Velencei-hegység fluidummobilizációs folyamataira Földtani Közlöny 138/3, pp. 229–246
- [34] Bérczi, I. & Phillips, R.L. (1985): *Processes and depositional environments within Neogene deltaic - lacustrine sediments, Pannonian Basin, SE Hungary*. Geophysical Transactions: 31(1-3), pp. 55–74.
- [35] Berggren, W. A., Kent, D. V., Swisher III, C. C., and Aubry, M.-P., (1995): *A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy*. — In: Berggren, W. A., Kent, D. V., Aubry, M.-P., Hardenbol, J. (editors) *Geochronology, time scales and global stratigraphic correlation*. – Society for Sedimentary Geology Special Publication 54, pp. 129–212.
- [36] Beyer, W. (1964): *Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve*. Wasserwirtschaft-Wassertechnik 14(6): pp. 165-168.
- [37] BMGE Geotechnika és Mérnökgeológia Tsz. (2016): *Értékelő geotechnikai talajvizsgálati jelentés. Kézirat – MÁ/PA2-16-GT-07 V1*
- [38] Borsy Z. (1993): *A szél felszínalakító munkája*. - Általános Természetföldrajz: pp. 459-500.
- [39] Bredehoeft, J.D., Wolff, R.G., Keys, W.S. and Dhutter, E. (1976): *Hydraulic Fracturing to determine the regional in-situ stress field*, Piceance Basin, Colorado, Geol. Soc. Am. Bull., vol. 87, pp. 250 – 258.
- [40] Brown, E. T.; Hoek, E. (1978): *Trends in relationships between measured rock in-situ stresses and depth*. Int. J. Rock Mech. & Mining Sci. 15. pp. 211-215.
- [41] Buchmann, T. J. (2008): *3D multi-scale finite element analysis of the present-day crustal state of stress and the recent kinematic behaviour of the northern and central Upper Rhine Graben*. – Geophysical Institute, University of Karlsruhe. Research Thesis.
- [42] Bulla B. (1936): *Teraszok és szintek a Duna jobbpartján Adony és Mohács között*. – MTA Matematikai és Természettudományi Értesítő 55. 139 p.
- [43] Buylaert J.-P. - Jain, M. - Murray, A.S. - Thomsen, K.J. - Thiel, C. - Sohbaty, R. (2012): *A robust feldspar luminescence dating method for Middle and Late Pleistocene sediments*. *Boreas* 41, pp. 435-451.
- [44] Büttner Gy., Maucha G., Bíró M., Petrik O.: *Nagyfelbontású nemzeti felszín-borítási adatbázis* – http://fish.fomi.hu/letoltes/nyilvanos/corine/clc50_referencia_cikk
- [45] Byerlee, J. D. (1978): *“Friction of rock.”* – Pure & Applied Geophysics, 116, pp. 615-626.
- [46] Chikán G. (2016): *A Pa-21-B fúrás tektonikai dokumentációja*. 241_Pa21B_tektonika_0000_00-0040_00_20160728.xlsx
- [47] Chikán G. (2016): *A Pa-21-C fúrás földtani dokumentációja*.
- [48] Chikán G. (2016): *A Pa-21-E1 fúrás földtani dokumentációja*.
- [49] Christie-Blick N., Biddle K. T. (1985): *Deformation and basin formation along strike-slip faults*. – SEPM Spec. Publ. 37, pp. 1-34.
- [50] Csillag G., Fodor L., Sebe K., Müller P., Ruszkiczay-Rüdiger Z., Thamóné Bozsó E., Bada G. (2010): *A szélerózió szerepe a Dunántúl negyedidőszaki felszínfejlődésében*. - Földtani Közlöny 140(4): pp. 463-482.

- [51]Csillag G., Gábris Gy., Lantos Z., Sebe K., Pogácsás R., Madarász B., Jakab G., Telbisz T., Síkhegyi F., Varga B. (2016): *A telephely 60x60 km-es környezetének 1:50 000 méretarányú geomorfológiai térképe (1.3.18.)*. – MÁ/PA2-16-FT-30, Mecsekérc Zrt., Pécs
- [52]Csillag G., Sebe K. (2016): *Magyarázó a felszíni földtani és a geomorfológiai térképhez. – Geomorfológia fejezet (1.3.18.)*. – MÁ/PA2-16-FT-32, Mecsekérc Zrt., Pécs
- [53]Csillag, G., Sztanó, O. (2015): *Upper Miocene. Miocene-Pliocene. In Surface geology of Hungary. Explanatory notes to the geological map of Hungary 1:500 000* (eds. Z. Kercsmár, T. Budai, G. Csillag, I. Selmeczi, & O. Sztanó), – Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest: pp. 45–52.
- [54]Csontos, L., Benkovics, L., Bergerat, F., Mansy, J-L., Wórum, G. (2002): *Tertiary deformation history from seismic section study and fault analysis in a former European Tethyan margin (the Mecsek–Villány area, SW Hungary)* — *Tectonophysics* 357 (1–4), pp. 81–102.
- [55]Csontos, L., Magyarai, Á., Van Vliet-Lanoe, B., Musitz, B. (2005): *Neotectonics of the Somogy hills (Part II): Evidence from seismic sections*. – *Tectonophysics* 410 (2005) pp. 63–80.
- [56]Csontos, L., Nagymarosy, A. (1998): *The Mid-Hungarian line: a zone of repeated tectonic inversions*. – *Tectonophysics* 297, pp. 51–71.
- [57]Dank, V., Fülöp, J. (ed.) (1990): *Magyarország szerkezetföldtani térképe*. – MÁFI kiadvány, Budapest
- [58]Dankó Gy. ed. (2015): *Gyorsjelentés a PAET-29 jelű fúrásban végzett hidrorepszteses vizsgálatokról (3.1.2.)*. – MÁ/PA2-15-HI-05, Golder Kft.
- [59]Dankó Gy. ed. (2015b): *Gyorsjelentés a PAET-34 jelű fúrásban végzett hidrorepszteses vizsgálatokról*. – MÁ/PA2-15-HI-08
- [60]Dankó Gy. ed. (2015c): *Gyorsjelentés a PAET-34 jelű fúrásban végzett hidrorepszteses vizsgálatok 2. kampányáról*. – MÁ/PA2-15-HI-09
- [61]Dankó Gy. ed. (2016b): *Gyorsjelentés a PAET-27 jelű fúrásban végzett hidrorepszteses vizsgálatok 2. kampányáról*. – MÁ/PA2-16-HI-09
- [62]Deák J. (2016): *Konceptcionális rétegvíz modell készítése Paks mintegy 30 km-es környezetére, vízföldtani valamint izotóp és vízkémiai adatok felhasználásával*.
- [63]Detzkyné L. (1997): *Részletes tektonikai vizsgálatok a Szolnoki Flis Öv nyugati peremén szeizmikus és mélyfúrési adatok alapján*. – Kandidátusi értekezés, MTA Könyvtár, Budapest
- [64]Deutsch, C.W. (1989): *DECLUS: A Fortran 77 program for determing optimum spatial declustering weights*. *Computers & Geosciences*. 15/3, pp. 325-332.
- [65]Deutsch, C.W. (2002): *Geostatistical reservoir modelling*. Applied Geostatistics Series – Oxford University Press. 376 p.
- [66]Deutsch, C.W., Journel, A.G. (1997): *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*. – Oxford University Press. 369 p.
- [67]Dougherty, D.E, D.K. Babu (1984): *Flow to a partially penetrating well in a double-porosity reservoir*, *Water Resources Research*, vol. 20, no. 8, pp. 1116-1122.

- [68]Dövényi P. (1994): *Geofizikai vizsgálatok a Pannon-medence litoszféra fejlődésének megértéséhez.* – Kandidátusi értekezés, Budapest.
- [69]Dövényi Z. (ed.). (2010): *Magyarország kistájainak katasztere (2. kiad.).* – Budapest: MTA Földrajztudományi Kutatóintézet.
- [70]Dövényi, P. (1994): *Geofizikai vizsgálatok a Pannon-medence litoszféra fejlődésének megértéséhez.* Kandidátusi értekezés – ELTE Geofizikai Tsz., Budapest, 120 p.
- [71]Előzetes szakhatósági állásfoglalás – Pécsi Bányakapitányság PBK/2992-7/2013; 12 p.
- [72]Erdélyi M. (1955): *A Duna-völgy nagyalföldi szakaszának víztároló üledékei.* – Hidrológiai Közlemények 35, pp. 159–169.
- [73]Erdélyi M. (1960): *Geomorfológiai megfigyelések Dunaföldvár, Solt és Izsák környékén.* — Földrajzi Értesítő 9 (3), pp. 257–276.
- [74]Eurosense Kft. (2013): *Paks környéki régi felvételek,* www.eurosense.com
- [75]Filipszki P., Prof. Dr. Horváth F., Kudó I., Dr. Wórum G. (2016): *Kiegészítő 2D szárazföldi geoelektromos szelvényezés tektonikai viszonyok vizsgálatára (vető kutatás).* – Geomega Kft., Budapest.
- [76]Filipszki P., Wesztergom V., Novák A., Ádám A., Molnár Cs. (2016): Nagyfelbontású mágneses és magnetotellurikus felszíni mérés a felszín közelébe hatoló feltételezhető tektonikus szerkezetek környezetében, Jelentés. Paks II telephelyengedélyének megszerzéséhez szükséges földtani kutatás végrehajtása. – MÁ/PA2-15-GF/10, Geomega, 140 p.
- [77]FKP 1. melléklete A telephely földtudományi vizsgálata és értékelése 2.3 Geotechnikai veszélyek értékelése pp 23–26
- [78]FKP Földtani térképezés, térképszerkesztés, paleoszeizmológiai és jelenkori felszínfejlődési vizsgálatok (5.1.2.) 34 p.
- [79]Fodor, L. (2010): *Mezozoos-kainozoos feszültségmezők és törésrendszerek a Pannon-medence ÉNy-i részén – módszertani és szerkezeti elemzés.* Akad. dokt. ért., Kézirat. – MTA Budapest, pp. 1-128.
- [80]Fodor, L., Bada, G., Csillag, G., Horváth, E., Ruszkiczay-Rüdiger, Zs., Palotás, K., Sikhegyi, F., Tímár, G., Cloethingh, S., Horváth, F. (2005a): *An outline of neotectonic structures and morphotectonics of the western and central Pannonian Basin.* – Tectonophysics 410 (1–4), pp. 15–41.
- [81]Fodor, L., Csontos, L., Bada, G., Györfi, I., Benkovics, L. (1999): *Tertiary tectonic evolution of the Pannonian basin system and neighbouring orogens: a new synthesis of paleostress data.* In: Durand, B., Jolivet, L., Horváth, F., Seranne, M. (eds): *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine orogen.* – Geological Society, London, Special Publication 156, pp. 295–334.
- [82]Földes T. (2016): *Előzetes prezentáció Pa 21 C, E1 fúrások anyagain elvégzett CT mérések alapján*
- [83]Franyó F. (1988): *A Jánoshalma Jh. 1. Sz alapfúrás földtani és vízföldtani eredményei.* – Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1986 évről, pp. 327–356.
- [84]Fülöp, J., Dank, V. (szerk.) (1987): *Magyarország földtani térképe a kainozóikum elhagyásával.* – MÁFI kiadvány, Budapest.

- [85] Gábris Gy. (1995): *A folyóvízi felszínalakítás módosulásai a hazai későglaciális-holocén öskörnyezet változásainak tükrében.* – Földrajzi Közlemények 119., pp. 3–10.
- [86] Gábris Gy. (2016). *Magyarázó a paksi kutatási terület alluviális részének geomorfológiai térképéhez (1.3.18.).* – MÁ/PA2-16-FT-33, Mecsekérc Zrt.
- [87] Gábris Gy. (2016): *A paksi kutatási terület alluviális részének geomorfológiai térképe (1.3.18.).* – MÁ/PA2-16-FT-30
- [88] Gábris, G., Horváth, E., Novothny, Á., Ruzsiczay-Rüdiger, Z. (2012): *Fluvial and aeolian landscape evolution in Hungary – results of the last 20 years research.* – Netherlands J. Geosciences 99, pp. 111–128.
- [89] Gajdos, I., Pap, S., Somfai, A. & Völgyi, L. (1983): *Az alföldi pannóniai (s.l.) képződmények litosztratiográfiai egységei.* – MÁFI Alkalmi Kiadvány, 70 p.
- [90] Geiger J. (2016): *Adatok geostatistikai feldolgozása: A kutatási terület fúrás alapú 3D litológiai és kőzetfizikai modelljei, a hidrológiai modell 3D földtani keretmodellje.* – MÁ/PA2-16-FT-08 V1, SZTE
- [91] Geiger, J. (2012): *Some thoughts on the pre-and post-processing in sequential Gaussian simulation and their effects on reservoir characterization.* In.: Geiger, J. Pál-Molnár, E, Malvic, T (eds): *New horizons in Central European Geomathematics, Geostatistics and Geoinformatics.* GeoLitera Publ.House. pp.17-35.
- [92] Geo-Log Kft. (2016): *Értékelő és összegző jelentés a karotázs mérések eredményeiről.* Kézirat – MÁ/PA2-16-GF-15 V1
- [93] Geomega Kft. (2015): *Értékelő jelentés a 3D szeizmikus kutatás eredményeiről (Feladatkód: 1.3.9.)* – MA/PA2-15-SZ-08 V1
- [94] Georisk Kft. (2015): *Földrengés adatbázis összeállítása, homogenizálása, Mw magnitúdóra való áttérés.* – Feladatkód: 6.2., GR-P2-004/1.
- [95] Georisk Kft. (2015a): *MVM PAKS II mikroszeizmikus megfigyelő hálózat üzemeltetése (9.4.1.).* Havi Jelentés – 2016. március. GR-P2-MMH-03/2016. 66 p.
- [96] Georisk Kft. (2015b): *MVM PAKS II mikroszeizmikus megfigyelő hálózat üzemeltetése (9.4.1.).* Havi Jelentés – 2016. április. GR-P2-MMH-04/2016. 70 p.
- [97] Georisk Kft. (2015c): *MVM PAKS II mikroszeizmikus megfigyelő hálózat üzemeltetése (9.4.1.).* Havi Jelentés – 2016. május. GR-P2-MMH-05/2016. 78 p.
- [98] GeoTeszt Kft. 2001. november: *Megvalósíthatósági tanulmány Paks Város pinceveszély-elhárítási munkáihoz* – MBFH jelzet: P6
- [99] Gibbard, P. L. & Cohen, K. M. (2008): *Global chronostratigraphical correlation table for the last 2.7 million years.* – Episodes 31/2, pp. 243–247.
- [100] Goda, L. Kalocsa B. Tamás, E. A. (2007): *River bed erosion on the Hungarian section of the Danube.* – Journal of Environmental Science for Sustainable Society, Vol. 1, March, pp.47-54.
- [101] Golder Associates Zrt. (2016): *Egymásrahatás-vizsgálatok (3.4.2.).* MÁ/PA2-16-HI-26 V1
- [102] Golder Associates Zrt. (2016): *Egymásrahatás-vizsgálatok a telephelyi fúrásokban* – MÁ/PA2-16-HI-26
- [103] Golder Associates Zrt. (2016): *Nyomjelzések vizsgálata* – MÁ/PA2-16-HI-27

- [104] Golder Associates Zrt. (2016): *Nyomjelzéses vizsgálatok (3.4.6)*. MÁ/PA2-16-HI-27 V1
- [105] Golder Associates Zrt. (2016): *Vízföldtani modellek elkészítése. A telephelyi vízföldtani modell* – MÁ/PA2-16-HI-25
- [106] Gondár K. (2016): *Regionális vízföldtani modell elkészítése*. – MÁ/PA2-16-HI-22
- [107] Gondár K. ed. (2016): *A telephely tágabb környezetében meglévő kutak, források, és kisvízfolyások hidrogeológiai értékelése (3.4.7.)*. – MÁ/PA2-16-HI-18, SMARAGD-GSH Kft.
- [108] Gondár K. ed. (2016): *A vízhasználatok értékelése, Kézirat (1.3.7.)*. – MÁ/PA2-16-HI-06, SMARAGD-GSH Kft.
- [109] Gondár K. ed. (2016): *Értékelő jelentés a vízföldtani viszonyokról és a vízföldtani modellezés eredményeiről. Regionális értékelő jelentés, Kézirat (1.5.3.1.)*. – MVM Paks II. Zrt., Adattár, Paks. MÁ/PA2-16-HI-23, SMARAGD-GSH Kft.
- [110] Gondár K. ed. (2016): *Hidrometeorológiai és hidrológiai adatok beszerzése, paraméterezése a regionális vízföldtani modell kiterjedésének területéről, Kézirat (1.3.8.)*. – MÁ/PA2-16-HI-07, SMARAGD-GSH Kft.
- [111] Gondár K. ed. (2016): *Mederkapcsolati vizsgálatok 2 db új jeladó kút létesítésével és egyenként 2-2 db piezométerrel, valamint 3-3 db mederszondával, távolhatás-mérésekkel támogatva (3.4.5)*. – MÁ/PA2-16-HI-19, SMARAGD-GSH Kft.
- [112] Gondár K. ed. (2016): *Talajvíz-háztartási jelleggörbe meghatározását szolgáló mérések a telephely környezetében (3.4.9.)*. – MÁ/PA2-16-HI-20, SMARAGD-GSH Kft.
- [113] Gondár K. ed. (2016): *Vízföldtani reambuláció a regionális vizsgálati területen.* (MÁ/PA2-15-HI-05)
- [114] Gondár K. ed. (2016): *Vízminőségi vizsgálatok értékelő jelentése (1.3.6.)*. – MÁ/PA2-16-HI-21, Mecsekérc Zrt.
- [115] Görög Á. (2016): *Laboratóriumi jegyzőkönyv a PAET-27 fúrás 920,47–61,15 méter és a PAET-34 fúrás 1760,85–691 méter közötti szakaszának őslénytani vizsgálata: MOLLUSCA, PALYNOLOGIA, FORAMINIFERA, OSTRACODA ÉS EGYÉB MIKROFOSSZÍLIA*. – Cat-Science Bt., Budapest, Kézirat
- [116] Grencerczy Gy. et al. (2016): *Szubregionális pontosságú GPS mozgásvizsgálat*. GR-P2-005/1, pp. 1-74. – MÁ/PA2-16-SZ-36
- [117] Grencerczy Gy., Farkas P. (Geo-Sentinel Kft.) (2016/b): *PSI/ASMI apertúra-szintézises műholdradar-interferometriás stabilitás- és mozgásvizsgálatok: Adatfeldolgozás, kiértékelés, értelmezés, ASMI adatbázisok létrehozása, térképek, áttekintő mozgásvizsgálati tanulmány (C- és L frekvenciasávok, descending és ascending repülési irányok, kombináció)*. – GR-P2-007/1 (Vol2), ÁKMI Kft. Budapest, 2016. január 20.
- [118] Grencerczy Gy., Farkas P., Szabó I., Virág G., (Geodicar Bt., Geo-Sentinel Kft., Geoservice Kft.) (2016/a): *Szubregionális szélső pontosságú GPS mozgásvizsgálat a nagy pontsűrűségű országos GPS hálózat neotektonikai szerkezeti vizsgálatra*.
- [119] Gyalog L. ed. (1996): *A földtani térképek jelkulcsa és a rétegtani egységek rövid leírása*. – A Magyar Állami Földtani Intézet Alkalmi Kiadványa 187 p., 171 p.

- [120] Györi E. ed. (2015): *Mikroszeizmikus Háttérzaj mérés a telephely környezetében (3.2.1)*. – MÁ/PA2-15-SZ-09
- [121] Györi E., Gribovszki, K., Marótiné Kiszely M., Szeidovitz Gy., Tóth L. (GeoRisk Földrengés Mérnöki Iroda Kft.) (2016): *Szeizmotektonikai modell – Földrengés forrásmodellek*. – GR-P2-010/1 (Vol2) ÁKMI Kft. Budapest, 2016. március 30.
- [122] Haas J, Budai T., Csontos L., Fodor L., Konrád Gy. (2010): *Magyarország pre-kainozoos földtani térképe, 1:500 000 [Pre-Cenozoic geological map of Hungary, 1:500 000]*. – Földtani Intézet kiadványa
- [123] Haas J., Budai T. (szerk.), Csontos L., Fodor L., Konrád Gy., Koroknai B. (2014): *Magyarország prekainozoos medencealjzatának földtana. Magyarázó „Magyarország pre-kainozoos földtani térképéhez”(1:500 000)*. – Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest, 71 p.
- [124] Haas, J. and Budai, T. ed. (2014): *Geology of the pre-Cenozoic basement of Hungary. Explanatory notes for „Pre-Cenozoic geological map of Hungary”, 1:500 000*. Publ. Geol. Geoph. Inst. Hungary, pp. 1-73.
- [125] Haimson, B.C. (1978): *The Hydrofracturing Stress Measuring Method and Recent Results*, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr., col. 15, pp. 167 – 178.
- [126] Halmai J., Jámbor Á., Ravaszné Baranyai L., Vető I. (1982): *A Tengelic 2. sz. fúrás földtani eredményei*. – MÁFI Évkönyve 5 9, 325 p.
- [127] Halupka G. (2016). *A Solti-síkság szikesei*. – MFGI, Budapest: 4.
- [128] Hámor G. (1966): *Újabb adatok a Mecsek hegység szerkezetföldtani felépítéséhez*. — A MFGI Évi jelentése az 1964. évről, pp. 193–206.
- [129] Hámori Z., Tóth T. (2016): *Kiegészítő geofizikai mérések a Duna mederüledék-változásának monitorozására, egycsatornás, szeizmo-akusztikus felmérés 6 alkalommal. Paks II telephelyengedélyének megszerzéséhez szükséges földtani kutatás végrehajtása (3.3.4.)*. – MÁ/PA2-16-SZ-28, Geomega Kft., Budapest
- [130] Hancock, P. L. (1985). *Brittle microtectonics: principles and practice*. – Journal of Structural Geology, 7: pp. 437-457.
- [131] Harangi Sz. (2016c): *A PAET-29 és PAET-34 mélyfúrás által feltárt vulkáni képződményekből vett kőzetminták kőzettani, geokémiai, vulkanológiai, petrogenetikai és geodinamikai értékelése*. – Budapest, 34 p – (4.1.) Földtani fúrások laboratóriumi vizsgálatának csomaga.
- [132] Harangi, S., Jankovics, M.É., Sági, T., Kiss, B., Lukács, R. & Soós, I. (2015): *Origin and geodynamic relationships of the Late Miocene to Quaternary alkaline basalt volcanism in the Pannonian basin, eastern–central Europe*. – International Journal of Earth Sciences 104 (8), 2007–2032.
- [133] Harangi, Sz. (2016a): *A Pa2-13/2016 Kutatás fejlesztési megállapodás keretében végzett a PAET-29 sz. mélyfúrás által feltárt vulkáni képződményekből vett kőzetminták cirkon U/Pb geokronológiai vizsgálati eredményei*. Laboratóriumi jegyzőkönyv, pp. 1–16.
- [134] Hazen, A. (1892.): *Some physical properties of sands and gravels, with special reference to their use in filtration*. – Massachusetts State Board of Health, vol. 24th annual report, pp. 539-556.

- [135] Hertelendi E., Kis É., Marosi S., Schweitzer F. (1994): *Geomorfológiai kutatások dokumentációja II. kötet.* – M. FKI. Budapest: 37.
- [136] Hertelendi E., Petz R., Scheuer G., Schweitzer F. (1989): *Radiokarbon koradatok a Paks-Szekszárdi süllyedék kialakulásához.* – Földrajzi Értesítő 38 (3-4), pp. 319–324.
- [137] Horváth E., Novothny Á., Barta G., Végh T. (2016): *Paleogeomorfológiai értékelés.* Kézirat. – MÁ/PA2-16-FT-10, Mecsekérc, Pécs, 38 p.
- [138] Horváth F. et al. (2015): *Evolution of the Pannonian basin and its geothermal resources.* Geothermics 53, pp. 328-352.
- [139] Horváth F., Kudó I. (2015): *Nagyfelbontású 2D szárazföldi geoelektromos szelvényezés (3.3.6.).* – MÁ/PA2-15-GF-08 V1, Geomega Kft., Budapest.
- [140] Horváth, E., Bradák, B. (2014): *Sárga föld, lösz, lösz: Short historical overview of loess research and lithostratigraphy in Hungary.* Quaternary International 319, pp. 1-10.
- [141] Horváth, F., Cloetingh, S. 1996: *Stress-induced late-stage subsidence anomalies in the Pannonian basin.* Tectonophysics, 266: pp. 287-300.
- [142] Horváth, F., Royden, L. (1981): *Mechanism for the Formation of the Intra-Carpathian Basins: a Review.* Earth Evolution Science, 3, pp. 307-316.
- [143] Huntley, D.J., Lamothe, M. (2001): *Ubiquity of anomalous fading in K-feldspars, and the measurement and correction for it in optical dating.* Canadian Journal of Earth Sciences 38, pp. 1093-1106.
- [144] Isotoptech Zrt. (2016): AMS 14C vizsgálati jegyzőkönyv (mintaazonosító: I/1316 sorozat) – (4.1.) Földtani fúrások laboratóriumi vizsgálatának csomagja.
- [145] Isotoptech Zrt. (2016): Fny07-46. AMS 14C vizsgálati jegyzőkönyv (mintaazonosító: I/1372 és 1374 sorozat) – (4.1.) Földtani fúrások laboratóriumi vizsgálatának csomagja.
- [146] Jacoby, Y., Weinberger, R., Levi, T., and Marco, S. (2014): *Clastic dikes in the Dead Sea Basin as indicators of local site amplification: Natural Hazards.* DOI 10.1007/s11069-014-1392-0 pdf
- [147] Jankó A. (2007): *Magyarország katonai felmérései 1763–1950. Hadtörténeti Intézet és Múzeum Könyvtára.* Argentum Kiadó, 196 p.
- [148] Jaskó S., Krolopp E. (1991): *Negyedidőszaki kéregmozgások és folyóvízi üledékfelhalmozódás a Duna-völgyben Paks és Mohács között.* – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1989. Évről, pp. 66–84.
- [149] Joó I. (2003): *A Kárpát régió jelenkori függőleges irányú mozgása vizsgálatának eredményei és problémái.* – Geodézia és Kartográfia 55. 1. pp. 12–15.
- [150] Juhász, Gy. (1991): *Lithostratigraphical and sedimentological framework of the Pannonian (s.l.) sedimentary sequence in the Hungarian Plain (Alföld), Eastern Hungary.* – Acta Geologica Hungarica 34, pp. 53–72.
- [151] Juhász, Gy. (1992). *A pannóniai (s.l.) formációk térképezése az Alföldön: elterjedés, fácies és üledékes környezet* (Pannonian s.l. formations on the Hungarian Plain: distribution, facies and sedimentary environments). Földtani Közöny 122(2-4), pp. 133–165.
- [152] Juhász, Gy. (1994): *Magyarországi neogén medencerészek pannóniai s.l. üledéksorának összehasonlító elemzése.* (Comparison of the sedimentary sequences in

- Late-Neogene sub-basins in the Pannonian Basin, Hungary). *Földtani Közlöny* 124(3), pp. 341–365.
- [153] Juhász, Gy. (1998): *A magyarországi neogén mélymedencék pannóniai képződményeinek litosztratigráfiája*. In Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana (eds. I. Bérczi & Á. Jámbor), Budapest: MOL RT.-MÁFI. pp. 469–483. ,
- [154] Juhász, Gy., Pogácsás, Gy., Magyar, I. & Vakarc, G. (2007): *Tectonic versus climatic control on the evolution of fluvio-deltaic systems in a lake basin, Eastern Pannonian Basin*. *Sedimentary Geology* 202 (1-2), pp. 72–95.
- [155] Károlyi Z. (1973): *A Duna-völgy vizeinek szabályozása*. In: Ihrig D. (szerk.) *A magyar vízszabályozás története*. Országos Vízügyi Hivatal, Budapest, pp. 151–248.
- [156] Király, E., Koroknai, B. (2004): *The magmatic and metamorphic evolution of the north-eastern part of the Mórág Block (A Mórág-rög ÉK-i részének magmás és metamorf fejlődéstörténete)*. - MÁFI Évi Jelentése 2003-ról, pp. 299–318.
- [157] Kiskunsági Nemzeti Park (2016): Császártöltési Vörös mocsár
http://knp.nemzetipark.gov.hu/index.php?pg=menu_1527
- [158] Kiss J. és Gulyás Á., (2006): *Magyarország mágneses ΔZ-anomália térképe*. – M=1:500 000-es nyomtatott térkép. ELGI kiadvány
- [159] Kiss, T., Hernesz, P., Sümeghy, B., Györgyövícs, K., Sipos, G., (2014): *The evolution of the Great Hungarian Plain fluvial system – Fluvial processes in a subsiding area from the beginning of the Weichselian*. *Quat. Int.* doi:10.1016/j.quaint.2014.05.050
- [160] Koloszar L. (2000): *A Tengelici Formáció kifejlődései a DK-Dunántúlon (Developments of the Tengelice Formation in South-eastern Transdanubia)* — *Földtani Közlöny*, Budapest: 134/3, pp. 345–369.
- [161] Koloszar L. (2004): *A Tengelici Formáció kifejlődései a DK-Dunántúlon*. — *Földtani Közlöny* 134/3. pp. 345–369.
- [162] Koloszar L., Marsi I. (2010): *The thickest and the most complete loess sequence in the Carpathian basin: the borehole Udvari-2A*. - *Central European Journal of Geosciences* 2(2): pp. 165-174.
- [163] Koloszar, L., Marsi, I. (1997): *Stratigraphy of the Neogene and Quaternary sequences of the Tolna Hegyhát hills (A tolnai Hegyhát neogén és kvarter képződményeinek rétegtana)*. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1996/II.*, pp. 173–190.
- [164] Koloszar, L., Marsi, I. (2010): *A Kárpát-medence legvastagabb és legteljesebb löszrétegsora: Az Udvari-2A fúrás*. – *Földtani Közlöny*. 140/3, pp. 445–468.
- [165] Koloszar, L., Marsi, I., Chikán, G. (2000): *Cainozoic sedimentary cover of the eastern part of Mórág Hills (A Mórág-rög keleti részének kainozoos fedőképződményei)*. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1999*, pp. 117–149.
- [166] Koroknai B. (ed.) (2016): *3D földtani-tektonikai modell kialakítása*. Kézirat, jelentés, 70 p.
- [167] Koroknai B. et al. (2016): *Geofizikai kutatások összefoglaló jelentése beleillesztve anagytektonikai egység földtani-geofizikai szintézisébe (1.3.11)*. – MA/PA2-16-GF-14, pp. 1-142.

- [168] Koroknai B., Wórum G., Maros G., Marsi I., Geiger J., Bereczki L., Markos G. (2016): *Földtani 3D-s Modell Elkészítése. Feladat kód: 7.1. Paks II telephelyengedélyének megszerzéséhez szükséges földtani kutatás végrehajtása.* – MÁ/PA2-16-FT-05, Mecsekérc Zrt.
- [169] Koroknai, B., Gerdes, A., Király, E., Maros, Gy. (2010): *New LA-SF-ICP-MS U-Pb and Lu-Hf isotopic constraints on the age and origin of the Mórággy Granite (Mecsek Mountains, South Hungary).* – Acta Mineralogica-Petrographica Abstract series, IMA2010 (20th General Meeting of the International Mineralogical Association 21–27 August, Budapest, Hungary), 6, 506 p.
- [170] Koroknai, B., Maros, Gy., Kovács-Pálffy, P., Kónya, P., Viczián, I., Balogh, K., Pécskay, Z. (2010): *Origin and timing of brittle shear zones in the Mórággy Granite: mineralogy and K-Ar geochronology of illite-rich fault gouges.* – Acta Mineralogica-Petrographica Abstract series, IMA2010 (20th General Meeting of the International Mineralogical Association 21–27 August, Budapest, Hungary), 6, 622 p.
- [171] Kovács A. Cs., Kúdó I. (2015): *Szeizmikus kutatások kiviteli terve (1.1.4).* – MÁ/PA2-15-SZ-02, Mecsekérc Zrt., Pécs
- [172] Kovács A. Cs., Prohászka A. (2016): *Crosshole mérések a CH-1 és CH-2 lyukpárookban (3.2.2.).* – MÁ/PA2-15-SZ-16, Mecsekérc Zrt., Pécs
- [173] Kovács A. Cs., Redlerné Dr. Tátrai M., Dr. Takács E. (2016): *Nagyfelbontású 2D P-hullám reflexiós mérések.* – Mecsekérc Zrt., Pécs
- [174] Kovács A. Cs., Redlerné Dr. Tátrai M., Dr. Takács E. (2016): *S-hullám sekélyreflexió záródokumentáció (3.2.3. S).* – MÁ/PA2-16-SZ-25, Mecsekérc Zrt., Pécs
- [175] Kovács A. Cs., Redlerné Dr. Tátrai M., Dr. Takács E., (2016). *Nagyfelbontású 2D szárazföldi reflexiós szeizmikus szelvényezés, Jelentés.* Paks II telephelyengedélyének megszerzéséhez szükséges földtani kutatás végrehajtása. – MÁ/PA2-15-FT/03, MFGI, 36 p.
- [176] Kovács J., Szabó P., Szalai J. (2004a): *A talajvízállás idősorok vizsgálata a Duna-Tisza közén* – Vízügyi Közlemények, 86/3-4., pp. 607-624.
- [177] Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Kht. (2007): *A Duna hajózhatóságának javítása tárgyú projektet megalapozó szakvélemény.* Kézirat. Gazdasági és Közlekedési Minisztérium.
http://www.vituki.hu/files/dunahajozhatosag/new/Project%20Final%20Report%20in%20Hungarian/Duna_hajozhatosag_vegleges.pdf Letöltés 2016.01.29
- [178] Kretzoi M. (1955): *Adatok a Magyar-medence negyedkori tektonikájához.* – Hidrológiai Közöny. 35. pp. 44
- [179] Kretzoi M., Krolopp, E. (1972): *Az Alföld harmadkor végi és negyedkori rétegtana az őslénytani adatok alapján.* – Földrajzi Értesítő 21. 2 – 3 . pp. 133-158.
- [180] Kriván P. (1960): *A paksi és villányi alsó-pleisztocén kifejlődések párhuzamosítása.* – Földtani Közöny 90, pp. 303–321.
- [181] Kriván, P. (1955): *A középeurópai pleisztocén éghajlati tagolódása és a paksi alapszelvény.* Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve, vol. 43., pp. 363-510.
- [182] Krolopp E. (1978): *A szabadhídvégi alsópleisztocén fauna.* – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1976-ról, pp. 297–310.

- [183] Krolopp E., Kordos L. (é.n.). *Magyarország geológiai alapszelvényei. Mezőföld, Kisláng.* – Magyar Állami Földtani Intézet, 4 p.
- [184] Kudó I., Horváth F., Wórum G. (2016): *Nagyfelbontású 2D szárazföldi geoelektromos szelvényezés, Jelentés. Paks II telephelyengedélyének megszerzéséhez szükséges földtani kutatás végrehajtása (3.3.6.).* – MÁ/PA2-15-GF-09, Geomega Kft., 34p.
- [185] Kuti L. (1989): *A fiatal laza üledékek és a bennük tárolódó talajvíz tulajdonságainak kölcsönhatása* – Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1987. évről: pp. 451-454.
- [186] Kuti L., Vatai J., Müller T. (1998): *A talajvíz felszín alatti mélysége változásának vizsgálata a Duna–Tisza közti hátságban az 1950–1996 között készült térképek alapján* – A Magyar Hidrológiai Társaság XVI. Országos Vándorgyűlése, I. kötet (Kecskemét, 1998. július 8-9.), pp. 92-102.
- [187] Lankreijer, A., Bielik, M., Cloetingh, S., Majcin, D. (1999): *Rheology predictions across the western Carpathians, Bohemianmassif, and the Pannonian basin: Implicationsfortectonicsscenarios.* Tectonics, 18, pp. 1139–1153.
- [188] Lantos M. (2003): *Az üveghutai fúrásokból származó minták paleomágneses mérésének értékelése.* – Kézirat. MFGI, Budapest. Tekt. 952 p.
- [189] Lelkes-Felvári, Gy., Frank, W. (2006): *Geochronology of the metamorphic basement, Transdanubian part of the Tisza Mega-Unit.* – Acta Geologica Hungarica 49 (3), pp. 189–206.
- [190] Lenkey-Bögér, Á., Kovács, L., Mészáros, E., (2016): *Különböző módszerekkel végzett in situ mérésekből és szakirodalomkutatásból származó primer feszültségadatok összefoglaló értékelése (Feladatkód: 1.3.14).* Kömérő Kft.
- [191] Lévai Projekt (2013): *A környezeti hatástanulmány összeállítását megalapozó szakterületi vizsgálati és értékelési programok kidolgozása és végrehajtása, Zárójelentés. Kézirat.* MVM ERBE Zrt., Budapest
- [192] Leydecker, G. (2005): *Projekt Gorleben – Standsicherheit Nachbetriebsphase: Seismische Gefährdung. Teilprojekt Ingenieurseismologie – Abschlussbericht* -, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. 86 p.
- [193] Lóczy D. (2007): *The Danube: Morphology, Evolution and Environmental Issues.* In: Gupta, A. (Ed.) Large Rivers: Geomorphology and Management, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. pp. 235–260.
- [194] Lovász Gy. (2013): *A jelenkori tektonika hatása a Duna, a Tisza és a Dráva hidrológiai folyamataira.* – Földrajzi Közlemények 2013. 137. 3. pp. 248–256.
- [195] Lowe, D.R. (1975): *Water escape structures in coarse-grained sediments.* Sedimentology 22, 157–204.
- [196] Madarász B., Jakab G. (2016): *Jelentés Az MTA CSFK FTI „Az új atomerőművi blokk(ok) telephelyengedélyének megszerzéséhez szükséges, kutató magfúrások alapján történő földtani kutatási vizsgálatok és program végrehajtása, azon belül általános földtani, geofizikai, geotechnikai és hidrogeológiai vizsgálatok végrehajtása és térinformatikai adatbázis létrehozása”c. program Földtani Kutatási Programjához kapcsolódó, a Duna jobb partjára eső részének vonalas vízmosásainak digitális adatbázisának elkészítéséről.* M. C. FI. Budapest: 5.

- [197] Mádlné Szőnyi J., Tóth J. (2006): *The Duna-Tisza Interfluve Hydrogeological Type-Section, Hungary* – Hydrogeology Journal, Vol. 17, Issue 4, pp. 961-980. pp.159
- [198] Magyar I. (2010): *A Pannon-medence ősföldrajza és környezeti viszonyai a késő miocénben.* – Geoliter, SZTE TTIK Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport, Szeged
- [199] Magyar I., Sztanó O. (2008): *Is there a Messinian unconformity in the Central Paratethys Stratigraphy* 5/3-4: 247-257.
- [200] Magyar, I., Geary, D.H. & Müller, P. (1999). *Paleogeographic evolution of the Late Miocene Lake Pannon in Central Europe.* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 147(3-4), pp. 151–167.
- [201] Magyar, I., Juhász, G., Szuromi-Korecz, A., Sütő-Szentai, M. (2004): *A pannóniai Tótkomlói Mész márga Tagozat kifejlődése és kora a Battonya-pusztaföldvári-hátság környezetében.* The Tótkomlós Calcareous Marl Member of the Lake Pannon sedimentary sequence in the Battonya-Pusztaföldvár region, SE Hungary. Földtani Közlemény 133, pp. 521–540.
- [202] Magyar, I., Radivojević, D., Sztanó, O., Synak, R., Ujszászi, K., Pócsik, M. (2013): *Progradation of the paleo-Danube shelf margin across the Pannonian Basin during the Late Miocene and Early Pliocene.* Global and Planetary Change 103(1), pp. 168–173.
- [203] Magyar Á. (2016): *Késő-pleisztocén üledékföldtani, neotektonikai és paleoszeizmológiai megfigyelések a tervezett PAE-II telephely tágabb környezetében.* – Kézirat, Mecsekérc, 34 p.
- [204] Magyar Á. ed, (2016): *Az Alföld nyugati peremének plio-pleisztocén üledékeinek tagolása és párhuzamosítása (OTKA K-75801) jelentés.*
- [205] Magyar Á., Musitz B., Csontos L., B.Van Vliet Lanoe (2005): *Late Quaternary Neotectonics of Somogy Hills, Hungary (part I): evidences from field observations,* Tectonophysics 410, Special Issue on the Carpatias/Pannonian System, pp. 43-62.
- [206] Magyar et al (2010): Magyarország prekvarter földtani térképe és domborzata (1:25000) MFGI adattár
- [207] Makarewicz J., Gombár L. (2014): *Paks 3D szeizmikus mérés előzetes értelmezés.* Szeizmikus értelmezési jelentés, MVM Paks II.
- [208] Mandić (2004): *Pectinid bivalves from the Grund Formation (Lower Badenian, Middle Miocene, Alpine - Carpathian Foredeep)* – taxonomic revision and stratigraphic significance. – Geologica Carpathica 55(2), pp. 129-146.
- [209] Mandić (2007): *Pectinid Bivalve Zonation of the Central Paratethys.* – Joannea Geol. Paläont. 9, pp. 59-60.
- [210] Maros Gy., Koroknai B., Palotás K., Musitz B., Furi J., Borsody J., Kovács-Pálffy P., Kónya P., Viczián I., Balogh K., Pécskay Z. (2010): *Brittle Fault Zones in the Mórággy Granite: New Structural and K–Ar Data (Törésvonalak a Mórággyi Gránitban: új szerkezeti és K–Ar-adatok).* – A MÁFI Évi Jelentése 2009, pp. 91–112.
- [211] Maros, Gy., Koroknai, B., Palotás, K., Fodor, L., Dudko, A., Forián-Szabó, M., Zilahi-Sebess, L., Bán-Györy, E. (2004): *Tectonic analysis and structural evolution of the north-eastern Mórággy Block (A Mórággyi-rög ÉK-i részének tektonikai elemzése és szerkezetalakulása).* – MÁFI Évi Jelentése 2003-ról, pp. 371–394.
- [212] Marosi S. (1953): *Morfológiai megfigyelések a Mezőföld déli részén.* — Földrajzi Értesítő 3 (4), pp. 218–233.

- [213] Marosi S., Schweitzer F. (1997): *Geomorfológia vizsgálatok Paks környékén.* – In: Marosi S. – Meskó A. (szerk.) A paksi atomerőmű földrengésbiztonsága. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 153-164.
- [214] Marosi S., Szilárd J. ed. (1967): *A dunai Alföld (Magyarország tájféldrajza 1).* Akadémiai Kiadó, pp. 253–266.
- [215] Marsi I. (2014): *Földtani veszélyforrások vizsgálata. Reambuláció, a térképi és a hozzájuk kapcsolódó adatrendszer harmonizációja.* - Kézirat, MBFH Adattár 71 p.
- [216] Marsi I. (2016). *Negyedidőszak fejlődéstörténet In Koroknai B.szerk.: Földtani modellezés összefoglaló és értékelő jelentése (6.4.).* — Kézirat, pp. 217–230.
- [217] Marsi I., Koloszar L. (2004): A beremendi Szőlő-hegy pliocén és kvarter képződményei. – Földtani közlöny, (134. vol.) 1. sz. pp. 75–94.
- [218] Marsi I., Koloszar L. (2004): *A beremendi Szőlő-hegy pliocén és kvarter képződményei.): Geological evaluation of the borehole Diósberény-1A (A Diósberény-1A fúrás földtani értékelése).* – Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése. 1996/II. (1997) pp. 159–171.
- [219] Marsi, I. (2000): *Geology of overlying beds of granites of the eastern part of the Mórág Hill. (A gránit fedőüledékeinek földtana a Mórágri rög K-i részén.).* – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1999-ről, pp. 149–170
- [220] Marsi, I. 2012: *Correlation of loess sequences in Southeastern Transdanubia based on field observations, well-log interpretations and laboratory investigations (Hungary).* – Quaternary International Volumes 279–280, p. 308.
- [221] Marsi, I., Don, Gy., Földvári, M., Koloszar, L., Kovács-Pálffy, P., Krolopp, E., Lantos, M., Nagyné Bodor, E., Zilahi-Sebess, L. (2004): *Quaternary sediments of the north-eastern Mórág Block (A Mórágri-rög ÉK-i részének negyedidőszaki üledékei).* – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2003, pp. 343–369.
- [222] MÁRTON, P. (1979): *Paleomagnetism of the Paks brickyard exposures.* – Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae 22, pp. 443-449.
- [223] Máthé Z., Barna I., Konrád Gy., Marsi I., Maros Gy., Síkhegyi F., Tompai Z., Kovács L., Krupa Á., Rátkai O., Somodi G., Zierkelbach-Kovács B. (2015): *Dokumentációs és laboratóriumi vizsgálati program (1.1.3.).* – MÁ/PA2-15-FT-01 V2
- [224] Mayhew D. F. (2012): *Revision of the fossil vole assemblage (Mammalia, Rodentia, Arvicolidae) from Pleistocene deposits at Kisláng, Hungary.* – Palaeontology, 55 (1), pp. 11–29.
- [225] Mázik J. ed. (2015): *Szeizmológiai kutatások kiviteli terve (1.1.11.).* – MÁ/PA2-15-SZ-02, Mecsekérc Zrt., Pécs
- [226] MBFH felszínmozgásos területek nyilvántartó lapjai – Paks Pincesor 1703120-1; Paks Téglagyár É-i lejtő 1703120-2; Dunakömlőd K-i domb lejtő 1703121-1; Dunaszentgyörgy Hegyespuszta 1703050-1 nytsz.
- [227] McCalpi, J. P. (2009): *Paleoseismology.* Science, 629 p.
- [228] Mészáros E., Kádár B., Somodi G., Kovács L. (Kömérő Kft.) Wórum G., Koroknai B. (Geomega Kft.), Lenkey-Bögér Á., Lenkey L. (Terradat Kft.) (2016): *3D geodinamikai modellezés eredményeinek értékelő és összefoglaló jelentése.* Paks II telephelyengedélyének megszerzéséhez szükséges földtani kutatás végrehajtása. – MÁ/PA2-16-GD-02.

- [229] Mezőföldvíz Kft. (2015): *Paks II beruházás vízellátási koncepciója*.
- [230] Mezősi G. (2011): *Az Alföld természeti képének kialakulása*, In: Rakonczai J. (szerk.): *Környezeti változások és az Alföld*. Nagyalföld Alapítvány Kötetei 7. Békéscsaba pp. 15-24.
- [231] Moench, A.F. (1985): *Transient flow to a large-diameter well in an aquifer with storative semiconfining layers*, Water Resources Research, vol. 21, no. 8, pp. 1121-1131.
- [232] Molnár B. (1977): *A Duna-Tisza köz felsőpliocén (levantei) és pleisztocén földtani fejlődéstörténete*. – Földtani Közlöny. 107. pp. 1–16.
- [233] Molnár M., Veres M. (2016): *Fny07-46. AMS 14C vizsgálati jegyzőkönyv*. (mintaazonosító: I/1373 és 1374 sorozat) 4p.
- [234] Mónus P. ed (2016): *Szeizmológiai kutatások és szeizmotektonikai modellezés Összefoglaló jelentés (1.3.23.)* – MÁ/PA2-16-SZ-26
- [235] Mónus P. ed. (2015): *Földrengés adatbázis összeállítása, homogenizálása, Mw magnitúdóra való áttérés (6.2.)*. – MÁ/PA2-15-SZ-04
- [236] Mónus P. ed. (2015): *Jelentős magyarországi földrengések intenzitás eloszlásának és intenzitáscsillapodásának vizsgálata, A kecskeméti forrásterület földrengéseinek átfogó értékelése (6.1.2. kötet)*. – MÁ/PA2-15-SZ-03
- [237] Mónus P. ed. (2015): *OGPSH pontok szélső pontosságú újramérése, Szubregionális szélső pontosságú GPS mozgásvizsgálat a nagy pontsűrűségű Országos GPS Hálózaton neotektonikai szerkezeti vizsgálatra (Vol 1) (6.4.)*. – MÁ/PA2-16-SZ-30
- [238] Mónus P. ed. (2016): *Mikroszeizmikus megfigyelő hálózat üzemeltetése havi jelentés 2016. július (9.4.1.)*. – MA/PA2-16-SZ-45
- [239] Mónus P. ed. (2016): *Szeizmotektonikai modell megalkotása Földrengés forrásmodellek (Voll.) (7.2.)*. – MÁ/PA2-15-SZ-22
- [240] Morris A., Ferril D. A., Henderson D. B. (1996): *Slip-tendency analysis and fault reactivation*. Geology 1996, 24, pp. 275-278.
- [241] Mucsi, M., Révész, I. (1975): *Neogene evolution of the SE part of the Great Hungarian Plain on the basis of sedimentological investigations*. Acta Mineralogica-Petrographica 22(1), pp. 29–49.
- [242] MVM ERBE Zrt. (2013): *Az időjárás jellemzése; A Környezeti Hatástanulmány Összeállítását Megalapozó Szakterületi Vizsgálati és Értékelési Programok Kidolgozása és Végrehajtása, Zárójelentés, Kézirat*. – MVM TEVH/11C00039
- [243] MVM ERBE-EUROSENSE Kft. (2013): *A digitális légifelvételek beszerzése*. 7 p.
- [244] MVM Paks II. Zrt. (2014): *Új atomerőművi blokkok létesítése a paksi telephelyen. Környezeti hatástanulmány. Paks és 30 km sugarú környezetének éghajlati jellemzése*. 85 p.
- [245] Nebojszki L. (2004): *Múltunk öröksége, a Nyéki-Holt-Duna*. In: Természet világa: természettudományi közlöny 135/4. pp. 165-168.
- [246] Némedi Varga Z. (1977): *A Kapos-vonal*. – Földt. Közlöny 107, pp. 313-328.
- [247] Némedi Varga Z. (1983): *A Mecsek hegység szerkezetalakulása az alpi hegységképződési ciklusban (in Hungarian with English abstract: Structural history of*

- the Mecsek mountains in the Alpine orogenic cycle*). – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1981-ről, pp. 467–484.
- [248] Neuman, S.P., (1972): *Theory of flow in unconfined aquifers considering delayed gravity response of the water table*, Water Resources Research, vol. 8, no. 4, pp. 1031-1045.
- [249] Novothny Á. (2016): *Lumineszcens kormeghatározás a paksi telephelyen létesítendő új atomerőművi blokkok földtani kutatási programjához*. – Kézirat, ELTE. Budapest: 38 p.
- [250] Országos Vízügyi Főigazgatóság (2015): *A Duna-vízgyűjtő magyarországi része — Vízyűjtő-gazdálkodási Terv*. – Kézirat, Országos Vízügyi Főigazgatóság, Budapest (www.vizeink.hu)
- [251] Országos Vízügyi Főigazgatóság, Alsó-Duna-völgyi Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság (2015): *Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 2015. 1-10 jelű Duna-völgyi-főcsatorna tervezési alegység*. 1-1 melléklet. Kézirat. (www.vizeink.hu)
- [252] Pálfi I. (1992a): *Vízhiány a Duna-Tisza közti hátságon* – Hidrológiai tájékoztató, pp. 45-46.
- [253] Palotai. M. (2013): *Oligocene–Miocene Tectonic Evolution of the Central Part of the Mid-Hungarian Shear Zone*. PhD dissertation ELTE 147 p.
- [254] Pataki J. (1955): *A Sárköz természeti földrajza*. – Tolna megye Tanácsa Népművelési Osztálya, Szekszárd, 96 p.
- [255] Pécsi M. (1957): *Kalocsa és Kecel-Kiskőrös környékének geomorfológiai kérdései*. – Földrajzi Értesítő 6(4): pp. 421-442.
- [256] Pécsi M. (1959): *A magyarországi Duna-völgy kialakulása és felszínalakítása*. – Akadémiai Kiadó, Budapest
- [257] Pécsi M. (1960): *A Duna-Tisza köze geomorfológiai problémái*. – Földrajzi Közlemények, no. 1, pp. 23-29.
- [258] Pécsi M. (1967): *A domborzat kialakulása és mai képe (Bácskai löszös hátság)*. A dunai Alföld. S. Marosi, J. Szilárd. Budapest, Akadémia Kiadó: pp. 244-248.
- [259] Pécsi M. (1967a.): *Dunamenti síkság – A domborzat mai képe*. In: Pécsi M. (szerk.) A dunai Alföld. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 165-175.
- [260] Pécsi M. (1991) *A magyarországi Duna-völgy teraszai és szintjei*. in Pécsi M. Geomorfológia és domborzatminősítés. MTA FKI, Budapest, pp. 36–57.
- [261] Pécsi M. (1991): *Geomorfológia és domborzatminősítés*. – MTA FKI, Budapest, 296 p.
- [262] Pécsi M. (1993): *Negyedkor és löszkutatás*. – Akadémiai Kiadó, Budapest, 375 p.
- [263] Pécsi M., Somogyi S., (1967): *Magyarország természetföldrajzi tájai és geomorfológiai körzetei*. – Földrajzi Közlemények, v. 15 (121), no. 4, pp. 285-304.
- [264] Pécsi, M. (1965a): *Zur frage der typen der Löss und lössartigen Sedimenten in Karpathenbecken und ihrer lithostratigraphischen Einteilung/A kárpát-medencebeli löszök, löszszerű üledékek típusai és litosztratigráfiai beosztásuk*. – Földrajzi Közlemények 13 (89), pp. 305-332.

- [265] Pécsi, M. (1965b): *Genetic classification of the deposits constituting the loess profiles of Hungary*. – Acta Geologica Hungaricae 9, pp. 65-84.
- [266] Pécsi, M. (1965c): *Der Lössaufschluss von Basaharc/A basaharci löszfeltárás*. – Földrajzi Közlemények 13, pp. 346-357.
- [267] Pécsi, M. (1967b): *A löszfeltárások üledékeinek genetikai osztályozása a Kárpátmedencében*. – Földrajzi Értesítő 15, pp. 1-17.
- [268] Pécsi, M. (1975): *A magyarországi löszszelvények litosztratiográfiai tagolása*. Földrajzi Közlemények 23, pp. 217-230.
- [269] Pécsi, M. (1984): *Is typical loess older than one million years?* In: Pécsi, M. ed. Lithology and stratigraphy of loess and paleosols. INQUA Commissions on loess and paleopedology, Geographical Research Institute, Hungarian Academy of Science, pp. 213-224.
- [270] Pécsi, M. (1993): *Negyedkor és löszkutatás*. – Akadémiai Kiadó, Budapest. 420 p.
- [271] Pécsi, M., Pécsi-Donáth, É., Szabó, E., Hahn, Gy., Schweitzer, F., Pevzner, M.A. (1977): *Paleogeographical reconstruction of fossil soils in Hungarian loess*. – Földrajzi Közlemények 25 (101), pp. 94-137.
- [272] Pécsi, M., Szabó, E., Schweitzer, F., Pécsi-Donáth, É., Wagner, M., Pevzner, M.A. (1979): *Complex evaluation of Dunaföldvár loesses and fossil soils*. – Acta Geologica Hungaricae 22, pp. 513-537.
- [273] Peters, G. (2007): *Active tectonics in the Upper Rhine Graben – Integration of paleoseismology, geomorphology and geomechanical modeling*. PhD thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam, Logos Verlag, 270 pp, online version: <http://www.uvu.vu.nl/>.
- [274] Pillans, B., Gibbard, P., (2012): *Chapter 30 - The Quaternary Period*, The Geologic Time Scale: Boston, Elsevier, pp. 979-1010.
- [275] Pirrotta, C., Barbano, M. S., Guarnieri, P., Gerardi, F. (2007): *A new dataset and empirical relationships between magnitude/intensity and epicentral distance for liquefaction in central-eastern Sicily*. – Annals of geophysics, Vol. 50, N. 6. pp. 763-774.
- [276] Pogácsás, Gy., Lakatos, L., Barvitz, A., Vakarc, G., Farkas, Cs., (1989): *Pliocén-quarter oldaleltolódások a Nagyalföldön*. – Általános Földtani Szemle, 24: pp. 149-169.
- [277] Prescott, J.R., Hutton, J. T. (1994): *Cosmic ray contribution to dose rates for luminescence and ESR dating: large depth and long-term time variations*. – Radiation Measurements 23, pp. 497-500.
- [278] Professional information about meteorological conditions in the world. www.ogimet.com/cgi-bin/gsynres?lang=en&ord=REV&ndays=30&ano=2016&mes=08&day=09&hora=06&ind=12950
- [279] Railsback, L.B. (2006): *Some Fundamentals of Mineralogy and Geochemistry*. <http://www.gly.uga.edu/railsback/FundamentalsIndex.html>
- [280] Rakonczai J., Bódis K. (2002): *A környezeti változások következményei az Alföld felszín alatti vízkészleteiben – Jakucs László, a tudós, az ismeretterjesztő és a művész* – Szerkesztő: Mészáros R., Schweitzer F., Tóth J., pp. 227-232., MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, SZTE Gazdaság- és Társadalomföldrajzi Tanszék, Szeged
- [281] Rees-Jones, J. (1995): *Optical dating of young sediments using fine-grain quartz*. Ancient TL 13, pp. 9-14.

- [282] Révész, I. (1980): *Az Algyő-2 telep földtani felépítése, üledékföldtani heterogenitása és ősföldrajzi viszonyai.* – Földtani Közlöny 110(3-4), pp. 512–539.
- [283] RockWorks (2010): *User's manual. RockWare*, p 316.
- [284] Rodríguez-Pascua, M.A., Calvo, J.P., De Vicente, G., Gómez-Gras, D. (2000): *Seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene.* – *Sedimentary Geology* 135 (2000) pp. 117–135.
- [285] Rónai A. (1964): *A dunántúli és alföldi negyedkori rétegek érintkezése Paks és Szekszárd között.* – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1961-ről. II., pp. 19–30.
- [286] Rónai A. (1983): *A negyedidőszaki képződmények litosztratigráfiai táblázata.* — In: Császár G. & Haas J. (szerk.): *Magyarország litosztratigráfiai formációi.* Földtani Intézeti kiadványa.
- [287] Rónai András (1961): *Az Alföld talajvíztérképe.* – Akadémiai Kiadó, Budapest
- [288] Royden, L. H., Horváth, F., & Burchfiel, B. C. (1982): *Transform faulting, extension and subduction in the Carpathian-Pannonian region.* – *Geological Society of America Bulletin*, 73, pp. 717-725.
- [289] Royden, L. H., Horváth, F., Nagymarosy, A., Stegena, F. (1983): *Evolution of the Pannian Basin System. 2. Subsidence and thermal history.* – *Tectonics* 2, 1, pp. 91–137.
- [290] Ruszkiczay-Rüdiger Z., Braucher R., Csillag G., Fodor L. I., Dunai T. J., Bada G., Bourlès D., Müller P. (2011): *Dating Pleistocene aeolian landforms in Hungary, Central Europe, using in situ produced cosmogenic (BE)-B-10.* – *Quaternary Geochronology* 6(6): 515-529.
- [291] Sartori, M. (2000): *The Quaternary Climate in Loess Sediments: Evidence from Rock and Mineral Magnetic and Geochemical Analysis (PhD thesis).* – Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 231 p.
- [292] Sauerbrey I. I. (1932): *Über den Koeffizienten der Bodenfiltration und die Methodik seiner Forschung, Proceedings VNIIG 3, 5.*
- [293] Schmid S. M., Bernoulli D., Fühenschuh B., Matenco L., Schefer S., Schuster R., Tischkel M. and Ustaszewski K. (2008): *The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units.* – *Swiss J. Geosci.* 101, pp. 139–183.
- [294] Schmidt E. R., Láng G., Németh L. (1961): *Magyarország fontosabb homokos-kavicsos hordalékkúpjainak átnézetes térképe 1:1 000 000.* – In: Schmidt E. R. (szerk.): *Magyarország vízföldtani Atlasza Magyar Állami Földtani Intézet kiadása, Budapest*
- [295] Schnell M. (2016): *Paks külterület 088/1 kutatóárok mélyítés (2 m-ig) kivitelezési tervdokumentációjának elkészítése.* Munkaszám: 39/2016.
- [296] Scholtz, P., Gili, L. (1997): *Dispersion analysis by wavelet transform tailored for the data. 59th EAGE Conference, Extended Abstracts.* P001, Geneva.
- [297] Schweitzer F. (1996): *Udvari és környezete mérnökgeomorfológiai és minősítési térképének magyarázója.* – kézirat, MTA FKI, 32 p.
- [298] Schweitzer F. szerk. (1994): *Geomorfológiai kutatások dokumentációja.* — kézirat, MTA FKI, 241 p.

- [299] Sebe K., Csillag G., Ruzsiczay-Rüdiger Z., Fodor L., Thamó-Bozsó E., Müller P., Braucher R. (2011): *Wind erosion under cold climate: A Pleistocene periglacial megarid system in Central Europe (Western Pannonian Basin, Hungary)*. – *Geomorphology* 134(3-4): pp. 470-482.
- [300] Sejdić, E., Djurović, I., Jiang, J. (2009): *Time-frequency feature representation using energy concentration: An overview of recent advances*. *Digital Signal Processing*, vol. 19, no. 1, pp. 153-183.
- [301] Síkhegyi F. (2016). Paks 60x60 km-es környezetének földtani térképe.
- [302] Síkhegyi F. (2016): *Elozetes fotogeológia magyarázó és előzetes fotogeológia magyarázó ábrák*, TIMÓ Bt.
- [303] Síkhegyi F. (2016): *Észlelési és földtani-geomorfológiai térképszerkesztés és térképmagyarázó Corine térkép (Terepfedettség)(1.3.18.)*. – MÁ/PA2-16-FT-27, TIMÓ Bt.
- [304] Síkhegyi F. (2016): *Légifotó interpretáció* (korábbi geomorfológiai és tektonikai értékelések digitalizálása és újabb műholdfelvételek alapján történő pontosítás minimum a telephely 400 km²-es – 20 x 20 km – környezetéről (5.3.))
- [305] Síkhegyi, F. (2002): *Active structural evolution of the western and central parts of the Pannonian basin: a geomorphological approach*. Special Publication Series – EGU Stephan Mueller 3, pp. 1–14.
- [306] Šimůnek, J., K. Huang, and M. Th. van Genuchten (1998): *The HYDRUS code for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Version 6.0*. — Research Report No. 144, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California, pp. 164.
- [307] Slichter, C.S., (1898): *Theoretical investigations of the motion of ground waters: United States Geological Survey, 19 th Annual Report*, pp. 295-384.
- [308] SMARAGD-GSH Kft. (2016): *A vízhasználatok értékelése*. Kézirat – MÁ/PA2-16-HI-16
- [309] SMARAGD-GSH Kft. (2016): *Értékelő jelentés a vízföldtani viszonyokról és a vízföldtani modellezés eredményeiről. Regionális értékelő jelentés (1.5.3.1.)*. Paks II. telephely engedélyének megszerzéséhez szükséges földtani kutatás végrehajtása. Kézirat – MÁ/PA2-16-HI-23, MVM Paks II. Zrt., Adattár, Paks.
- [310] SMARAGD-GSH Kft. (2016): *Hidrometeorológiai és hidrológiai adatok beszerzése, paraméterezése a regionális vízföldtani modell kiterjedésének területéről*. Kézirat – MÁ/PA2-16-HI-07
- [311] SOM System Kft. (2012): *A Paksi telephelyen létesítendő új atomerőművi blokkok, telephelyengedély kérelmét megalapozó vizsgálati és értékelési keretprogram*. Lévai projekt. Földtani Kutatási Program (FKP). Dokumentáció azonosítók: MVM Zrt: 540303A00036 SSA; ÁKMI Kft: AE 00 0 00 DF 0002D; SOM System Kft: SOM®475/3 Rev. 4.
- [312] Somogyi S. (1967): *Dunamenti síkság – Vízrajz*. In: Pécsi M. (szerk.) *A dunai Alföld*. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 181-198
- [313] Somogyi S. (1974): *Meder- és ártérfejlődés a Duna sárközi szakaszán az 1732-1950 közötti térképfelvételek tükrében*. – *Földrajzi Értesítő* 25/1. pp. 27–36

- [314] Soproni S. (1989): *Eine Spätromische Festung im Donaubett bei Bölcse. III.* In: Internationaler Kongress für archaologische Erforschung der Binnengewässer.
- [315] Sütő-Szentai M. (2000): *Organic walled microplankton zonation of the Pannonian s.l. in the surroundings of Kaskantyú, Paks and Tengelic (Hungary).* – Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 1994-1995: pp. 153-175
- [316] Sütő-Szentai, M. (1991): *Szervesvázú mikroplankton zónák Magyarország pannóniai rétegösszetételében. Újabb adatok a zónációról és a dinoflagellaták evolúciójáról. Őslénytani Viták* 36-37, pp. 157–200.
- [317] Szalai J., Kovács J., Kovácsné Székely I., Lázár M., Molnár M. (2008): *A talajvízszint tér- és időbeli alakulása a Duna-Tisza közén a XX. század közepétől napjainkig, kilátások* – A Magyar Hidrológiai Társaság XXVI. Országos Vándorgyűlése (Miskolc, 2008 július 2-4.), 3. szekció, pp.608-632.
- [318] Szalai, S., Auer, I., Hiebl, J., Milkovich, J., Radim, T. Stepanek, P., Zahradnicek, P., Bihari, Z., Lakatos, M., Szentimrey, T., Limanowka, D., Kilar, P., Cheval, S., Deak, Gy., Mihic, D., Antolovic, I., Mihajlovic, V., Nejedlik, P., Stastny, P., Mikulova, K., Nabyvanets, I., Skyryk, O., Krakovskaya, S., Vogt, J., Antofie, T., Spinoni, J. (2013): *Climate of the Greater Carpathian Region.* Final Technical Report. www.carpatclim-eu.org
- [319] Szántó É. (2009): *Multielektrodás geoelektromos mérések Dunaszentgyörgy közelében, a dunai allúvium és kvarter lösz kontakzónájában.* TDK dolgozat, ELTE TTK Geofizikai és Űrtudományi Tanszék. 30 p.
- [320] Szilárd J. (1955): *Geomorfológiai megfigyelések Kiskörös és Paks környékén.* – Földrajzi Értesítő 4. pp. 263-278.
- [321] Szilárd J. (1955): *Morfológiai megfigyelések Kiskörös és Paks vidékén.* – Földrajzi Értesítő IV. 3. pp. 263–278.
- [322] Szongoth G. ed. (2016): *Értékelő és összegző jelentés a karotázs mérések eredményeiről, Kézirat (1.3.12.).* – MÁ/PA2-16-GF-15 V1. Geo-Log Kft.
- [323] Szongoth G., Bernáth Gy., Faluvégi B., Gärtner D., Prohászka A. (2016): *Értékelő és összegző jelentés a karotázs mérések eredményeiről (1.3.12.).* – Budapest, 2016. augusztus 5. Kézirat – Geo-Log Kft., MVM Paks II Zrt. Adattára.
- [324] Sztanó, O. Sebe K., Csillag G. & Magyar I. (2015): *Turbidites as indicators of paleotopography, Upper Miocene, Lake Pannon, Western Mecsek Mountains (Hungary).* – *Geologica Carpathica* 66/4: pp. 331-344
- [325] Sztanó, O., Magyar, I., Szónoky, M., Lantos, M., Müller, P., Lenkey, L., Katona, L., Csillag, G. (2013a): *A Tihanyi Formáció a Balaton környékén : típusszelvény , képződési körülmények , rétegtani jellemzés.* – Földtani Közlöny 143(1), pp. 73–98.
- [326] Sztanó, O., Szafián, P., Magyar, I., Horányi, A., Bada, G., Hughes, D.W., Hoyer, D.L. & Wallis, R.J. (2013b): *Aggradation and progradation controlled clinothems and deep-water sand delivery model in the Neogene lake pannon, Makó Trough, Pannonian Basin, SE Hungary.* – *Global and Planetary Change* 103(1), pp. 149–167.
- [327] Tamás E. (1999): *A Dunaiújváros-Mohács közötti Duna-szakasz lebegtetett hordalék járásának vizsgálata.* – *Hidrológiai Közlöny* 79/1. pp. 41–47.
- [328] Tari, G. (1994): *Alpine Tectonics of the Pannonian basin.* – PhD. Thesis, Rice University, Texas, USA. 501 p.

- [329] Tartakovsky, G.D., S.P. Neuman (2007): *Three-dimensional saturated-unsaturated flow with axial symmetry to a partially penetrating well in a compressible unconfined aquifer*, Water Resources Research, vol. 43, W01410, doi:1029/2006WR005153.
- [330] Telbisz T. (2016): *Jelentés a PAKS II Földtani Kutatási Program keretében végzett, geomorfológiai térképezéssel kapcsolatos DTM feldolgozó munkáról*. Budapest
- [331] Terzaghi, K., (1925): *Principles of soil mechanics*: Engineering News-Record, v. 95, p 832.
- [332] Thamó-Bozsó E. (2016). *Kormeghatározások (előzetes adatok)*. – Kézirat, Magyar Földtani Geofizikai Intézet, Budapest
- [333] Thamó-Bozsó E. (2016). *OSL kormeghatározási eredmények Paks környéki minták*. – Kézirat, MFGI, Budapest, 91 p.
- [334] Thamó-Bozsó E., Csillag G., Fodor L. I., Müller P. M., Nagy A. (2010): *OSL-dating the Quaternary landscape evolution in the Vértes Hills forelands (Hungary)*. – Quaternary Geochronology, 5 (2-3), pp. 120–124.
- [335] Thamó-Bozsó E., Magyarai Á., Musitz B., Nagy A. (2010): *OSL ages and origin of Late Quaternary sediments in the North Transdanubian Hills (Hungary): timing of neotectonic activity*. – Quaternary International, 222 (1-2), pp. 209–220.
- [336] Thamóné Bozsó E., Furi J. (2016a): *OSL kormeghatározási eredmények. Paks környéki minták I*. – Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, 30 p.
- [337] Thamóné Bozsó E., Furi J. (2016b): *OSL kormeghatározási eredmények. Paks környéki minták II*. – Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, 44 p.
- [338] Thamóné Bozsó E., Furi J. (2016b): *OSL kormeghatározási eredmények. Paks környéki minták III*. – Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, 16 p.
- [339] Thiel, C, Buylaert, J.-P., Murray, A., Terhorst, B., Hofer, I., Tsukamoto, S., Frechen, M. (2011): *Luminescence dating of the Stratzing loess profile (Austria) - Testing the potential of an elevated temperature post-IR IRSL protocol*. Quaternary International 234, pp. 23-31.
- [340] Thomsen, K.J., Jain, M., Murray, A.S., Denby, P.M., Roy, N., Bøtter-Jensen, L. (2008): *Minimizing feldspar OSL contamination in quartz UV-OSL using pulsed blue stimulation*. – Radiation Measurements 43, pp. 752-757.
- [341] Tompai Z. ed. (2016): *Értékelő geotechnikai-talajvizsgálati jelentés, Kézirat (1.3.13)*. – MÁ/PA2-16-GT-07 V1. BMGE Geotechnika és Mérnökgeológia Tsz.
- [342] Tóth G. – Horváth F. (1998): *Van bizonyíték a negyedidőszaki tektonizmusra Paks környékén*. – Földtani Közlöny 129. 1. pp. 109–124.
- [343] Tóth L. (2016): *OGPSH pontok zélső pontosságú újramérése (6.4.) GR-P2-005/1 (Vol4)*. – MÁ/PA2-16-SZ-30
- [344] Tóth L. ed. (2015): *OGPSH pontok szélső pontosságú újramérése, Szubregionális szélső pontosságú GPS mozgásvizsgálat a nagy pontsűrűségű Országos GPS Hálózaton neotektonikai szerkezeti vizsgálatra (Vol 3) (6.4.)*. – MÁ/PA2-16-SZ-30
- [345] Tóth L. ed. (2015): *OGPSH pontok szélső pontosságú újramérése, Szubregionális szélső pontosságú GPS mozgásvizsgálat a nagy pontsűrűségű Országos GPS Hálózaton neotektonikai szerkezeti vizsgálatra (Vol 4) (6.4.)*. – MÁ/PA2-16-SZ-30

- [346] Tóth L. ed. (2016): *Mikroszeizmikus megfigyelő hálózat üzemeltetése havi jelentés 2016. március (9.4.1).* – MÁ/PA2-16-SZ-27
- [347] Tóth L. ed. (2016): *Mikroszeizmikus megfigyelő hálózat üzemeltetése havi jelentés 2016. április (9.4.1).* – MÁ/PA2-16-SZ-32
- [348] Tóth L. ed. (2016): *Mikroszeizmikus megfigyelő hálózat üzemeltetése havi jelentés 2016. május (9.4.1).* – MÁ/PA2-16-SZ-33
- [349] Tóth L. ed. (2016): *Mikroszeizmikus megfigyelő hálózat üzemeltetése havi jelentés 2016. június (9.4.1).* – MÁ/PA2-16-SZ-38
- [350] Tóth L. ed. (2016): *Műholdradar mérések, a telephely és környezete állandó szórópontú műholdradar-interferometriás vizsgálata EREDMÉNYEK (Vol 1) (6.5.).* – MÁ/PA2-16-SZ-31
- [351] Tóth L. ed. (2016): *Szeizmotektonikai modell megalkotása Paleo/Speleo-szeimológiai vizsgálatok a Paksi Atomerőmű telephely tágabb környezetében (Vol 1) (7.2.).* – MÁ/PA2-15-SZ-22
- [352] Tóth T. (2003): *Folyóvízi szeizmikus mérések.* – Doktori (Ph.D.) értekezés. ELTE Geofizikai Tanszék, Budapest, 141 p.
- [353] Tóth T. (2016): *Felszíni geofizikai kutatások értékelő jelentése (1.3.10.).* – 2016. Június 16. 109 p.
- [354] Tóth T. ed. (2015): *GPR georadar szelvényezés és elektromágneses térképezés a létesítendő új atomerőművi blokkok paksi telephelyén (3.3.7.).* – MÁ/PA2-15-GF-04, Geomega Kft., 16p.
- [355] Tóth T. ed. (2015): *Kombinált refrakciós szeizmikus, és geoelektromos multielektrodás szelvényezés a létesítendő új atomerőművi blokkok paksi telephelyén (3.3.3).* – MÁ/PA2-15-SZ-05, Kutatási jelentés, Geomega Kft, Budapest
- [356] Tóth T., Kudó I. (2016): *Kiegészítő S-hullám szeizmikus vizsgálatok a kvarter-pannon határ, valamint a kvarter belső szerkezetének további vizsgálata céljából (1.3.13.).* – MÁ/PA2-16-GF-13, Geomega Kft., 20p.
- [357] Törő, B., Sztanó, O., Fodor, L. (2012): *Aljzatmorfológia és aktív deformáció által befolyásolt pannóniai lejtőépülés Észak-Somogyban.* – Földtani Közlöny 142(4), pp. 445–468.
- [358] Törös E., Kúdó I. (2015): *Geofizikai mérések kiviteli terve (1.1.5.).* – MÁ/PA2-15-GF-01, Mecsekérc Zrt., Pécs
- [359] Tőry K. (1952): *A Duna és szabályozása.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 442 p.
- [360] Trampert J., Vacher P. and Vlaar N. (2001): *Sensitivities of seismic velocities to temperature, pressure and composition in the lower mantle.* — Phys. Earth Planet. Int. 124, pp. 255-267.
- [361] Uhrin, A., Magyar, I., Sztanó, O. (2009): *Az aljzatdeformáció hatása a pannóniai üledékképződés menetére a Zalai-medencében. (Control of the Late Neogene (Pannonian s.l.) sedimentation by basement deformation in the Zala Basin.)* – Földtani Közlöny 139 (3), pp. 273–282.
- [362] Ujházy K., Gábris Gy., Frechen, M. (2003): *Ages of periods of sand movement in Hungary determined through luminescence measurements.* – Quaternary International 111/1, pp. 91-100.

- [363] Ulusay R., Hudson J.A. (2007): *The complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring*: ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, pp. 1974-2006,
- [364] Urbancsek J. (1963): *Jánoshalma környékének földtana és felszínalaktana*. – Földrajzi Értesítő 12(1): pp. 1-33.
- [365] Viczián I. (2016): *A Duna mederváltozásai és a folyószabályozás előtti vízrajza (5.1.)*. – MÁ/PA2-16-FT-06, MTA CsFK Földrajztudományi Intézet
- [366] VIZITERV Environ Kft. (2016): *Árvízi kockázati térképezés és stratégiai kockázatkezelési terv* KEOP-2.5.0/B/09-12-2013-0001. A Duna folyam Dunaföldvár és Paks közötti szakaszának 03.NMT.01. tervszámú nagyvízi mederkezelési terve.
- [367] VIZITERV Environ Kft. (2016): *Árvízi kockázati térképezés és stratégiai kockázatkezelési terv* KEOP-2.5.0/B/09-12-2013-0001. A Duna folyam Paks és Sió-torkolat közötti szakaszának 03.NMT.02. tervszámú nagyvízi mederkezelési terve
- [368] VIZITERV Environ Kft. (2016): *Árvízi kockázati térképezés és stratégiai kockázatkezelési terv* KEOP-2.5.0/B/09-12-2013-0001. A Duna folyam Sió-torkolat és Dunafalva közötti szakaszának 03.NMT.03. tervszámú nagyvízi mederkezelési terve.
- [369] Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság (2010): *Magyarország Vízyűjtő-gazdálkodási Terve*. Kézirat.
- [370] Völgyesi I. (2006): *A Homokhátság felszín alatti vízháztartása – vízpótlási és vízvisszatartási lehetőségek* – MHT XXIV. Országos Vándorgyűlés Kiadványa, Pécs
- [371] Vukovic, M., Soro, A. (1992): *Determinatiion of hydraulic conductivity of porous media from grain-size composition*. Miladinov, D., translator, Water Resources Publications, Littleton, Colorado, USA, 83 p.
- [372] Wágenhoffer A. ed. (2016a): *Földtani modellezés és értékelő jelentése (1.3.19.)*. – MÁ/PA2-15-FT-12 V1, Mecsekérc Zrt., Pécs
- [373] Wágenhoffer A. ed. 2016b: *Sekély mélységű fúrások egységes összefoglaló földtani jelentése (1.3.2)*- MÁ/PA2-16-FT-04
- [374] Wéber B. (1977): *Nagyszerkezeti szelvényvázlat a Ny-Mecsekből*. – Földt. Közlöny 107/1, pp. 27–37.
- [375] Wein Gy. (1961): *A szerkezetalakulás mozzanatai és jellegei a Keleti-Mecsekben (Phasen und Beschaffenheit der tektonischen Ausbildung im östlichen Mecsek-Gebirge)*. – A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve 49 (3), pp. 759–768 (945–956).
- [376] Wein Gy. (1967): *Délkelet-Dunántúl hegységszerkezete*. – Földt. Közlöny, 97, pp. 371-395.
- [377] Wórum G., Biró A., Hámori Z., Koroknai Zs., Szántó É., Tóth T. (2016): *Pszedo 3D vízi szeizmikus mérések*. – MÁ/PA2-15-SZ/14, Geomega Kft.
- [378] Wórum G., Biró A., Kádi Z., Koroknai B., Kovács G., Visnovitz F. (2015): *Értékelő jelentés a 3D szeizmikus kutatás eredményeiről (1.3.9.)*. – MÁ/PA2-15-SZ/08 V1. 48 p.
- [379] Zilahi–Sebess, L., Lendvay, P., Szongoth, G. (2000): *Division of Quaternary formations and their characterisation based on physical propertis at the Üveghuta site (A negyedidőszaki képződmények tagolása és jellemzése fizikai tulajdonságaik alapján)*. – Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 1999, pp. 171–192.

- [380] Zoback, M.L. (1992): *First and second order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project*. J. Geophys. Res., 97: pp. 11,703-11,728.
- [381] Zsuffa I. (1999): *Az ausztriai vízerőmű rendszer hatása a magyar Duna-szakasz árvízvédelmi biztonságára*. – Hidrológiai Közlöny 1999. évi 1. szám