

MVM Paks II. Zrt.

TELEPHELY BIZTONSÁGI JELENTÉS

II. KÖTET

5. FEJEZET

**GEOLOGIA, GEOFIZIKA, SZEIZMOLÓGIA,
GEOTECHNIKA ÉS HIDROGEOLOGIA**

2016.10.18

TARTALOMJEGYZÉK

5. Geológia, szeizmológia, geofizika, geotechnika és hidrogeológia	13
5.1. Geológia.....	13
5.1.1. A telephely földtani felépítése	14
5.1.1.1. Paleo-meozoos képződmények	14
5.1.1.2. Neogén képződmények	17
5.1.1.2.1. Alsó- és középső-miocén képződmények (20–11,5 Ma)	17
5.1.1.2.2. Felső-miocén és pliocén (Pannon) képződmények (11,5-2,4 ma)	18
5.1.1.3. Negyedidőszaki képződmények.....	19
5.1.1.3.1. Pleisztocén képződmények (2,58 ma-11,7 ezer év)	20
5.1.1.3.2. Holocén képződmények (0-11,7 ezer év).....	24
5.1.3. Földtani fejlődéstörténet	25
5.2. Geofizika	29
5.2.1. A telephely környezetének geofizikai és tektonikai jellemzése	29
5.2.1.1. Tektonikai helyzetkép a telephely vizsgálat kezdetét megelőzően.....	29
5.2.1.2. A telephelyvizsgálat keretében született új adatok és eredmények	31
5.2.1.2.1. A 3D szeizmikus mérés és kiterjesztett értelmezés.....	31
5.2.1.2.2. P-hullám reflexiós szeizmikus szelvényezés a felszínközeli mélységtartomány nagyfelbontású leképezésére	40
5.2.1.2.3. Multielektródás geoelektromos és pseudo-3D vízi szeizmikus mérések	45
5.2.1.2.4. Mágneses mérések és magnetotellurikus szondázások	50
5.2.1.2.5. Űrgeodéziai mérések tektonikai értelmezése	54
5.2.1.2.6. A geofizikai adatok szintézise és a földtani modell megalapozása.....	57
5.3. Szeizmológia	67
5.3.1. A telephely szeizmicitása.....	67
5.3.1.1. Regionális szeizmicitás a Pannon-medencében	67
5.3.1.2. Történelmi rengések.....	68
5.3.1.3. Jelenkori szeizmicitás a legújabb mérések alapján	68
5.3.1.4. Lokális szeizmicitás a paksi telephely környezetében	70
5.3.2. A telephely földrengés-veszélyeztetettsége	70
5.3.2.1. A földrengésveszély meghatározása valószínűségi módszerrel.....	71
5.3.2.2. A szeizmikus veszélyeztetettség modellezés legfontosabb bemenő adatai ..	73
5.3.2.2.1. Földrengés katalógus	73
5.3.2.2.2. Szeizmikus forrásmodellek	76
5.3.2.2.2.1. M1 modell.....	77
5.3.2.2.2.2. SHARE modell	78
5.3.2.2.2.3. Módosított SHARE modell	80
5.3.2.2.3. Maximális magnitúdó és annak bizonytalansága	82
5.3.2.2.4. Csillapodás: gyorsulás gyengülési összefüggések	83
5.3.2.2.4.1. Akkar, Sandikkaya és Bommer csillapodási egyenlete	84
5.3.2.2.4.2. Boore, Stewart, Seyhan és Atkinson csillapodási egyenlete	85
5.3.2.2.4.3. Campbell és Bozorgnia csillapodási egyenlete.....	85
5.3.2.2.4.4. Chiou és Youngs csillapodási egyenlete.....	85
5.3.2.2.4.5. Az egyállomásos szigma modell és a Vs – kappa korrekció	86
5.3.2.2.5. A bizonytalanságok kezelése: logikai fa	87
5.3.2.3. Veszélyeztetettségi eredmények az alapközeten.....	89
5.3.2.3.1. A veszélyeztetettségi görbe	89
5.3.2.3.2. Alapközeti UHRS.....	90
5.3.2.3.3. A veszélyeztetettség magnitúdó és távolság szerinti deaggregációja....	92

5.3.2.4. Veszélyeztetettségi eredmények a felszínen	92
5.3.2.4.1. Vizsgálati módszer és bemeneti adatok.....	92
5.3.2.4.2. A felszíni veszélyeztetettségi görbe	96
5.3.2.4.3. A felszíni UHRS.....	97
5.3.2.4.4. A rengések időtartama	101
5.3.3. A talajfolyósodás veszélyének értékelése	102
5.3.3.1. Valószínűségi talajfolyósodás becslés	102
5.3.3.2. Globális talajfolyósodás lehetőségének vizsgálata	104
5.3.3.3. A talajfolyósodás lokális értékelése	105
5.3.3.4. A talajfolyósodásra vonatkozó eredmények összegzése.....	106
5.3.4. A mikroszeizmikus monitorozás és értékelése	106
5.3.4.1. A Paksi Atomerőmű mikroszeizmikus hálózata	106
5.3.4.2. A telephelyvizsgálat keretében létesített mikroszeizmikus állomások	115
5.4. Geotechnika	117
5.4.1. Talajrétegződés, talajállapot	118
5.4.2. Az egyes rétegek jellemzése	119
5.4.2.1. Feltöltés	119
5.4.2.2. Humuszos fedőréteg.....	121
5.4.2.3. Holocén agyag.....	121
5.4.2.4. Futóhomok	122
5.4.2.5. Öntéshomok	125
5.4.2.6. Kavicsterasz	127
5.4.2.7. Pannóniai rétegek	129
5.4.2.7.1. Pannon finomhomok, iszapos homok, homokos iszap.....	130
5.4.2.7.2. Pannon agyag, iszap, homok vegyes rétegződés	132
5.4.2.7.3. Pannon homok (homok, iszapos homok)	133
5.4.2.7.4. Pannon agyag (iszapos homok betelepüléssel)	135
5.4.2.7.5. Második pannon homok	135
5.4.2.7.6. Második pannon agyag.....	137
5.4.2.7.7. Harmadik pannon homok	137
5.4.2.7.8. Harmadik pannon agyag (finomhomok, homokos iszap betelepüléssel).....	138
5.4.2.7.9. Pannon finomhomok, homok	139
5.4.2.8. Helyi betelepülések	140
5.4.2.8.1. Szerves rétegek.....	141
5.4.2.8.2. Homokkő.....	141
5.4.2.8.3. Térfogatváltozó talajok.....	142
5.4.2.8.4. Megfolyósodásra hajlamos talajok	142
5.4.2.8.4.1. Szemeloslási görbe kritérium.....	143
5.4.2.8.4.2. Hézagtényező kritérium.....	144
5.4.2.8.5. Vetők	147
5.4.3. Geotechnikai összegzés	147
5.5. Hidrogeológia	159
5.5.1. A földtani képződmények hidrosztratigráfiája	161
5.5.1.1. Negyedidőszaki képződmények.....	161
5.5.1.2. Felső-pannóniai képződmények.....	163
5.5.1.3. Alsó-pannóniai képződmények.....	163
5.5.1.4. Pre-pannon képződmények	163
5.5.1.5. Szerkezetföldtani viszonyok szerepe	164
5.5.2. A kőzetek vízvezető képessége.....	164

5.5.3. A földtani képződmények nyomás- és potenciálviszonyai.....	167
5.5.3.1. A talajvízszint.....	167
5.5.3.1.1. Kisvízi talajvízszintek	169
5.5.3.1.2. Középvízi talajvízszintek.....	169
5.5.3.1.3. Nagyvízi talajvízszintek	169
5.5.3.1.4. A telephelyvizsgálat keretén belül végzett talajvízszint-észlelések	170
5.5.3.2. A rétegvíztároló nyomásszintje.....	174
5.5.4. A földtani képződmények vízkémiai jellemzői	179
5.5.4.1. Az óholocén – felső-pleisztocén homokos kavicsos vízadók talajvízminősége	179
5.5.4.2. A felső-pannon rétegvizek minősége	179
5.5.4.3. A telephelyvizsgálat keretében elvégzett vízkémia vizsgálatok eredményei.....	180
5.5.5. A felszín alatti vízrendszer kapcsolata az atmoszférával.....	181
5.5.6. Felszín alatti vízkészletek használata.....	181
5.5.7. A felszín alatti vizek mennyiségi és minőségi állapotát ellenőrző monitoring rendszer.....	183
5.6. A telephely alkalmasságának értékelése.....	186
5.7. A jellemzők változékonysága, javaslat a monitorozásra	188
5.8. A tervezés során és a biztonsági elemzésekben figyelembe veendő földtani adatok .	189
5.8.1. Szeizmológiai jellegű veszélyek	189
5.8.1.1. Földrengés-veszélyeztetettség vizsgálata az alapközeten (PSHA)	189
5.8.1.2. PGA és UHRS meghatározása a felszínre	189
5.8.1.3. Talajfolyósodási potenciál	190
5.8.2. Vetőaktivitás	190
5.8.3. Geotechnikai eredetű veszélyek összefoglalása.....	191
5.8.4. A telephely környéki felszín alatti áramlási rendszer tulajdonságok változásainak esetleges hatása	191
Hivatkozott dokumentumok	193

ÁBRAJEGYZÉK

5.1-1. ábra: Paks környékének földtani térképe	13
5.1.1.1-1. ábra: A kutatási terület (60 x 60 km ²) paleo-mezozoos alaphegységének domborzati térképe a 3D szeizmikus kutatás alapján, a telephelyvizsgálat keretében lemélyített, alaphegységet ért fúrások feltüntetésével. A kék szín a legmélyebben, a barna a legmagasabban elhelyezkedő alaphegységi képződményeket jelzi, az izovonalak értékkeze 100 m	16
5.1.1.1-2. ábra: A kutatási terület paleo-mezozoos alaphegységének domborzati térképe (az izovonalak értékkeze 100 m), a szeizmika által kimutatott jelentősebb szerkezeti vonalak és a telephelyvizsgálat keretében lemélyített, alaphegységet ért fúrások feltüntetésével	16
5.1.1.2.1-1. ábra: Az alsó-miocén képződmények felszínének (kéesszürke) domborzati térképe a telephelyvizsgálat keretében lemélyített, alaphegységet ért fúrások feltüntetésével. A színes területeken nincsen alsó-miocén képződmény.....	18
5.1.1.2.2-1. ábra: Az Algyői Formáció felszínének domborzati térképe a telephelyvizsgálat keretében lemélyített, alaphegységet ért fúrások feltüntetésével. A sötétkék vonallal körülhatárolt területeken nincsen jelen a Formáció	19
5.1.1.3.1-1. ábra: Az Udvari–2A fúrás lösz-rétegsorának párhuzamosítása a mágneses polaritás és a tengeri oxigénizotóp skálákkal [5-7]	22
5.1.1.3.1-2. ábra: Az Udvari–2A és a Görgeteg-I fúrás rétegsorának párhuzamosítása a polaritás-idő skála felhasználásával [5-7].....	23
5.1.3-1. ábra: Földtani szelvény ÉNy–DK irányban, amely a kutatási terület fő rétegtani egységeit és a vetőket mutatja	28
5.2.1.1-1. ábra: Vetők térképe az 1990-es ismeretek szerint [5-23].....	30
5.2.1.1-2. ábra: Vetők térképe a 2005-ös ismeretek szerint [5-26]	30
5.2.1.1-3. ábra: A fiatal (negyedidőszaki) tektonikai aktivitás lehetőségét mutató Duna-208 jelű archív vízi szeizmikus szelvény [5-28].....	31
5.2.1.2-1. ábra: A 3D szeizmikus mérés területe és az 5.2.1.2.1-1. a és b ábrán bemutatott, az új fúrásokon áthaladó szlalom-vonal helyszínrajza	32
5.2.1.2.1-1. a és b ábra: A szlalom-szelvény első és második szakasza	33
5.2.1.2.1-2. ábra: A szeizmikus értelmezéshez felhasznált szelektált 2D szeizmikus szelvények nyomvonalá	34
5.2.1.2.1-3. ábra: Az értelmezéshez felhasznált fúrások helyszínrajza. Fekete körök az alapinformációkat tartalmazó kutakat, a piros körök a mélyfúrású geofizikai szelvényekkel is rendelkező kutakat, míg a kék jelek a paksi új szerkezetkutató fúrásokat mutatják.....	34
5.2.1.2.1-4 ábra: A kutatási terület képződményeinek áttekintő időrétegtani diagramja. A számozott (1-6) piros vonalak a 3D földtani modellben regionálisan térképezett horizontok időrétegtani helyzetét adják meg	35
5.2.1.2.1-5. ábra: A kutatási terület sematikus tektonosztatográfiai szelvénye és a 3D földtani modellben térképezett geológiai horizontok (1-6) definíciója	36
5.2.1.2.1-6. ábra: Az aljzat mélységtérképe és tektonikai vonalai [5-30]	38
5.2.1.2.1-7. ábra: Az Algyői Formáció tetejének mélységtérképe a fiatal vetők feltüntetésével [5-30]	39
5.2.1.2.2-1. ábra: A szárazföldi P-hullám szeizmikus szelvények (fekete vonalak) helyszínrajza a fiatal vetők felszínre vetített sávjaival (piros poligonok).....	40
5.2.1.2.2-2. a és b ábra: A Pa20 és Pa21 jelű értelmezett szelvények.....	41

5.2.1.2.2-3. a és b ábra: A Pa22 és Pa23 jelű értelmezett szelvények.....	42
5.2.1.2.2-4. a és b ábra: A Pa25 és Pa26 jelű értelmezett szelvények.....	43
5.2.1.2.3-1. ábra: A multielektrodás geoelektromos szondázások (MUEL-2-12) és a pszeudo-3D vízi szeizmikus mérések helyszínrajza (1-5 mérési blokkok), valamint a fiatal vetők felszínre vetített poligonja	45
5.2.1.2.3-2. a, b ábra: A MUEL-10 és -3 multielektrodás geoelektromos szelvények	46
5.2.1.2.3-3. ábra: A pszeudo-3D 1. mérési blokkot felépítő vízi szeizmikus szelvények hálózata	47
5.2.1.2.3-4. ábra: Minta vízi szeizmikus szelvény az 1. mérési blokk tektonikusan nem zavart részéről.....	47
5.2.1.2.3-5. ábra: A mederfenék szeizmikus időtérképe az 1. mérési blokk területén.....	48
5.2.1.2.3-6. ábra: Az 1. mérési blokkal párhuzamosan haladó archiv többcsatornás vízi szeizmikus szelvény (Duna-6/96), amely a felszín közelébe hatoló vetődéseket mutat. Az a, b és c szakaszok nagyfelbontású vízi szeizmikus szelvények helyeit mutatják	49
5.2.1.2.3-7. a és b ábra: Az 5.2.1.2.3-6. ábrán jelölt a és b nagyfelbontású szelvények, melyek vetődések felett helyezkednek el.....	49
5.2.1.2.3-8. ábra: A 2. mérési blokkban leképezett egykori folyómeder, amelynek eredeti vízszintesen települt üledékeit paleo-földrengés deformálta (szeizmit).....	50
5.2.1.2.4-1. ábra: Mágneses totáltér anomália térkép.....	51
5.2.1.2.4-2. ábra: A mágneses anomália térkép alapján kijelölt vetők (fekete) és az aljzatban értelmezett vetők nyomvonala (fehér).....	52
5.2.1.2.4-3. ábra: A magnetotellurikus szondázási pontok (P1MT1-11 és P2MT1-13) elhelyezkedése Magyarország medencealjzat térképén.....	53
5.2.1.2.4-4. ábra: A P1 és P2 szelvény szondázási pontjaiban meghatározott fajlagos ellenállás oszlopok és a komplex értelmezés alapján meghatározott, a paksi vetődésekhez kapcsolódó jól vezető dák (kék színnel jelölve). A lazacszínű felület az asztenoszféra felszínét jelöli.....	54
5.2.1.2.5-1. ábra: C-sávú (4-8 GHz) aperturaszintézises műholdradar interferometriás adatok alapján interpolációval számított színkódolt sebességtérkép	55
5.2.1.2.5-2. ábra: Közép-Európa jelenkori kéregmozgás-sebességtérképe geodinamikai GPS hálózatok mérései alapján. Fekete vektorok az adott GPS állomás tényleges sebességét mutatják, a színes vektorok az ezek alapján interpolációval számított sebességmezőt.....	56
5.2.1.2.5-3. ábra: Deformációs sebességek (3,7 ppb/év -35 ± 3 fokos azimut, valamint 2,9 ppb/év) és 95%-os konfidencia szintjei (0,72 ppb/év és 0,36 ppb/év) a telephely környezetében. A kék szaggatott vonallal jelzett alhálózat csak MGGA, a pirossal MGGA, CEGRN eredményei között nincs szignifikáns eltérés.....	57
5.2.1.2.6-1. ábra: A telephely DK-i térfelén áthaladó vetőzóna és az azt szegélyező két vetőpikkely (piros poligonokkal határolt tartományok) és a Pa-21-S szeizmikus, valamint a Pa-13 archiv szelvény helyzete	58
5.2.1.2.6-2. ábra: A Pa-21-S-Geomega S hullám szeizmikus szelvény értelmezetlen (a) és értelmezett (b) változata. A folytonos piros vonal vetőt, a szaggatott piros vonal feltételezett vetőt jelöl.....	58
5.2.1.2.6-3. ábra: A kutatási területen azonosított vetők áttekintése. Piros vonalak: 3D numerikus vetőmodellel rendelkező vetők, fekete vonalak: egyéb, kisebb vetők.....	61

5.2.1.2.6-4. ábra: A 3D földtani modell vetőfelületeinek perspektivikus nézete DDK felől a pannon fekü (színezett) és az Algyői Formáció tetejének (transzparens) horizontjaival. A pirossal jelölt vetők a Bonyhád-Dunaszentgyörgy-Harta, míg a zölddel jelölt vetők a Kapos-Kelet neotektonikus deformációs zónát jelölik.....	62
5.2.1.2.6-5. ábra: A kutatási terület és tágabb környezetének főbb aljzat-morfológiai elemei és vetőrendszerei. A vetőtüskék az adott vető dőlésirányát jelzik, a tüske nélküli vetők (közel) függőleges helyzetűek	63
5.2.1.2.6-6. ábra: A kutatási terület meghatározó neotektonikus vetőzónáinak (szürke kiemelés) áttekintése.....	64
5.2.1.2.6-7. ábra: A Pa-21-S szelvény felnagyított részlete, kézzel jelölve az árkolások két helyszínét (Pa-21-I és -II).....	65
5.2.1.2.6-8. ábra: A Pa-21 szelvény fúrásainak előzetes földtani értékelése	65
5.2.1.2.6-9. ábra: A Pa-21 szelvény menti kutatóárok részlete (K-i fal 43,7 m).....	66
5.2.1.2.6-10. ábra: A Pa-21 szelvény menti kutatóárok falának értelmezett részlete	66
5.3.1.1-1. ábra: A Pannon-medence térségének szeizmicitása. A piros körök a földrengések epicentrumát mutatják, a körök nagysága a magnitúdóval arányos. A fehér csillag a telephelyet mutatja, a 100 és 200 km sugarú kör a tájékozódást segíti	68
5.3.1.3-1. ábra: Földrengések Magyarországon az 1995-2015 időszakban (több mint 2000 földrengés).	69
5.3.1.3-2. ábra: Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség a teljes Pannon régióban	69
5.3.2-1. ábra: A földrengésveszély meghatározásának szakaszai atomerőmű telephely esetében.....	71
5.3.2.1-1. ábra: A földrengésveszély valószínűségi módszerrel való számításának menete....	72
5.3.2.2.1-1. ábra: A szeizmikus veszély meghatározásához összeállított földrengés katalógus szerkezete	73
5.3.2.2.1-2. ábra: Tapasztalt földrengés gyakoriság a telephelyet magába foglaló forrázónában és a paleo rengések visszatérési ideje.....	75
5.3.2.2.2.1-1. ábra: Az M1 forrásmodell 20 forrázónája és a Pannon-medence földrengései.....	77
5.3.2.2.2.1-2. ábra: Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség az M1 modell forrázónáiban. (A szaggatott vonal a háttér, a vastag fekete vonal a teljes régió földrengés gyakoriságát és gyakoriság sűrűségét mutatja).....	78
5.3.2.2.2.2-1. ábra: A SHARE forrásmodell forrázónái és a Pannon-medence földrengései	79
5.3.2.2.2.2-2. ábra: Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség a SHARE modell forrázónáiban. (A vastag fekete vonal a teljes régió földrengés gyakoriságát és gyakoriság sűrűségét mutatja)	80
5.3.2.2.2.3-1. ábra: A módosított SHARE forrásmodell forrázónái	81
5.3.2.2.2.3-2. ábra: Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség a módosított SHARE modell forrázónáiban. (A vastag fekete vonal a teljes régió földrengés gyakoriságát és gyakoriság sűrűségét mutatja)	81
5.3.2.2.3-1. ábra: Példák az M_u maximum magnitúdó valószínűségi eloszlására	82
5.3.2.2.4-1. 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	84

5.3.2.2.4-2. ábra: A földrengésveszély számításához kiválasztott négy csillapodási egyenlet által prognosztizált PGA gyorsulások 6 és 6,5 magnitúdójú rengésekre a távolság függvényében	86
5.3.2.2.5-1. ábra: Logikai fa az episztemikus bizonytalanságok kezelésére	88
5.3.2.3.1-1. ábra: A PGA és különböző periódusra vonatkozó veszélyeztetettségi görbék várható értéke (Mean Hazard Curves) a telephelyen	90
5.3.2.3.2-1. ábra: 10^{-6} /év, 10^{-5} /év, 10^{-4} /év, 1/4980/év és 1/475/év gyakoriságú spektrális gyorsulások várható értéke (UHRS mean) a telephelyen	91
5.3.2.3.3-1. ábra: A telephelyen 10^{-5} /év gyakoriságú veszélyeztetettség távolság és magnitúdó szerinti deaggregációja	92
5.3.2.4.1-1. ábra: A módosító hatás számításának menete	93
5.3.2.4.1-2. ábra: A 2003-ban kipattant törökországi, 6,3 magnitúdójú Bingol földrengés regisztrátumának (11 km epicentrális távolság) skálázott eredeti, és a 10^{-5} /év meghaladási valószínűségű „mean” UHRS-re illesztett válaszspektruma	95
5.3.2.4.1-3. ábra: A Bingol földrengés eredeti és illesztett gyorsulás (a), sebesség (b) és elmozdulás (c) időfüggvényei (kék színnel az eredeti, pirossal az illesztett időfüggvények)	95
5.3.2.4.2-1. ábra: A felszíni PGA-ra számított veszélyeztetettségi görbe	97
5.3.2.4.3-1. ábra: 10^{-5} /év meghaladási valószínűségre számított felszíni UHRS (mean, 16%, 50%, 84% percentilisek)	98
5.3.2.4.3-2. ábra: A 10^{-5} /év meghaladási valószínűségre számított alapközetű és felszíni UHRS átlag görbéi	99
5.3.2.4.3-3. ábra: A 10^{-5} /év meghaladási valószínűségre számított felszíni vertikális UHRS (mean, 16%, 50%, 84% percentilisek)	100
5.3.2.4.3-4. ábra: A 10^{-5} /év meghaladási valószínűségre számított felszíni horizontális és vertikális UHRS (mean)	101
5.3.3.1-1. ábra: A talajfolyósodás Kramer and Mayfield (2007) és Boulanger and Idriss (2014) CPT alapú módszerével számított visszatérési periódusai a mélység függvényében (a) és a különböző mélységekhez tartozó veszélyeztetettségi görbék (b)	103
5.3.3.2-1. ábra: A nyírási deformáció (a) és a pórsvíz túlnyomás (b) realizációi a mélység függvényében, az átlag (kék), medián, 16% és 84% percentilisekkel (piros vonalak). 105	
5.3.4.1-1. ábra: A mikroszeizmikus megfigyelő hálózat állomásai 1995-ben	108
5.3.4.1-2. ábra: A Paksi Atomerőmű mikroszeizmikus megfigyelő hálózat állomásai (piros körök) 2015-ben. A fekete csillag a telephelyet mutatja, az 50 és 100 km sugarú kör a tájékozódást segíti	109
5.3.4.1-3. ábra: A HUN-Reng virtuális hálózathoz felhasznált állomások 2015-ben. A fekete csillag a telephelyet mutatja, a 150 és 300 km sugarú kör a tájékozódást segíti	110
5.3.4.1-4. ábra: A magyarországi szeizmológiai állomáshálózat érzékenységi küszöbe (ML magnitúdó) 2015-ben	110
5.3.4.1-5. ábra: Földrengés epicentrumok és neotektonikai aktív szerkezetek a telephely tágabb környezetében. A szürke körök a historikus rengéseket (456-1994), a rózsaszínű körök a mikroszeizmikus monitorozás eredményeként az utóbbi években (1995-2014) megismert rengéseket, a piros körök pedig a legutóbbi év (2015) földrengéseit mutatják. A sárga csillag a telephelyet jelöli, az 50 és 100 km sugarú kör a tájékozódást segíti	112

5.3.4.1-6. ábra: Földrengések gyakorisága Magyarországon. A piros pontok a mikroszeizmikus monitorozás eredményeként ismertek	113
5.3.4.1-7. ábra: Földrengések fészekmélységének gyakorisága.....	113
5.3.4.2-1. ábra: A telephelyvizsgálat keretében épült mikroszeizmikus állomások. A piros körök az újonnan létesített lyukszeizmográf állomásokat mutatják, a fekete körök pedig a Paksi Atomerőmű mikroszeizmikus állomásai. A sárga csillag a telephelyet jelöli, a 10 - 50 km sugarú körök a tájékozódást segítik.....	115
5.3.4.2-2. ábra: Napi (2016.03.02.) szeizmogram a PKS2 felszíni (fent) és a PKB5 lyukszeizmográf (lent) állomáson. A mérőhálózat üzembe helyezése utáni napon regisztrált földrengés (2016-03-02 12:49:46.3 UTC; SOUTHWEST of SUMATRA, Indonesia; Mw=7,8) egyben a hálózat kalibrálására is lehetőséget adott.....	116
5.4.1-1. ábra: Fúrások és szelvényezések a telephelyen.....	119
5.4.2.1-1. ábra: A feltöltés szemeloszlás vizsgálatának eredménye	120
5.4.2.4-1. ábra: Futóhomok víztartalma talajvízszint felett (kék) és talajvízszint alatt (barna).....	123
5.4.2.4-2. ábra: Futóhomok szemeloszlása.....	124
5.4.2.5-1. ábra: Öntéshomok szemeloszlása	126
5.4.2.5-2. ábra: Robertson-féle CPT alapú talajosztályozás az öntéshomoknál.....	127
5.4.2.6-1. ábra: Kavicssterasz szemeloszlása.....	128
5.4.2.6-2. a-c ábra: Kavicssterasz szemeloszlása talajok szerinti válogatással	128
5.4.2.7-1. ábra: A pannon réteg felső részét elérő CPT vizsgálatok eredményei. A mérések nagy része a túlkonzolidált kategóriába esik, itt még viszonylag kevés a cementált talaj, mindössze 5 %	130
5.4.2.7.1-1. ábra: Pannon finomhomok, iszapos homok, homokos iszap szemeloszlási görbéi	131
5.4.2.7.2-1. ábra: Pannon agyag, iszap, homok vegyes rétegződésű réteg szemeloszlási görbéi	133
5.4.2.7.3-1. ábra: A pannon homok réteg szemeloszlási vizsgálatai.....	134
5.4.2.7.5-1. ábra: A második pannon homok rétegben készült szemeloszlási vizsgálatok görbéi	136
5.4.2.7.7-1. ábra: A harmadik pannon homok rétegben készült szemeloszlási vizsgálatok görbéi	138
5.4.2.7.9-1. ábra: A pannon finomhomok, homok rétegben készült szemeloszlási vizsgálatok görbéi	140
5.4.2.8.4.1-1. ábra: Feltöltés: homokos iszap.....	143
5.4.2.8.4.1-2. ábra: Feltöltés: iszapos homok.....	143
5.4.2.8.4.1-3. ábra: Feltöltés: homok.....	143
5.4.2.8.4.1-4. ábra: Futóhomok: homok.....	143
5.4.2.8.4.1-5. ábra: Futóhomok: iszapos homok	144
5.4.2.8.4.1-6. ábra: Öntéshomok: homok	144
5.4.2.8.4.1-7. ábra: Öntéshomok: kavicsos homok	144
5.4.2.8.4.1-8. ábra: Kavicssterasz: homok	144
5.4.2.8.4.1-9. ábra: Kavicssterasz: kavicsos homok	144
5.4.2.8.4.1-10. ábra: Kavicssterasz: homokos kavics	144
5.4.2.8.4.2-1. ábra: A kritikus hézagátvezető vonala a futóhomoknál és az öntéshomoknál..	145

5.4.2.8.4.2-2. ábra: Öntéshomok hézagténytényezőjének eloszlása az izotópos mérések alapján	146
5.4.2.8.4.2-3. ábra: Az öntéshomok kritikus hézagténytényező vonala és az izotópos mérésrel meghatározott hézagténytényezők	146
5.4.3-1. ábra: A pannon feletti rétegek összegző szemeloszlási határgörbéi	148
5.4.3-2. ábra: A II-6-D fúrásszelvény	156
5.4.3-3. ábra: Nyugat-keleti talajszelvény	157
5.4.3-4. ábra: Észak-déli talajszelvény	158
5.5-1. ábra: Ny–K irányú elvi hidrogeológiai szelvény a regionális vizsgálati területen keresztül	160
5.5.1.1-1. ábra: ÉNy-DK irányú elvi hidrogeológiai szelvény a vizsgálati területen keresztül	162
5.5.1.1-2. ábra: A kvarter üledékek vastagsága a vizsgálati területen [m]	162
5.5.2-1. ábra: A telephelyi fúrásokban egyedi kúttesztekkel és egymásrahatás-vizsgálatokkal meghatározott szivárgási tényezők dobozdiagramja. A doboz alsó és felső éle a 25%-os ill. 75%-os percentilist, az alsó és felső értékek a 10%-os ill. 90%-os percentilist reprezentálják	165
5.5.2-2. 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	166
5.5.3.1-1. ábra: A telephelyi talajvízfigyelő-kutak csoportosítása a vízjárás alapján	168
5.5.3.1-2. ábra: A Duna 2012-2013. évi vízállása	168
5.5.3.1.4-1. ábra: Talajvízszintek az I. szelvényben	171
5.5.3.1.4-2. ábra: Talajvízszintek a II. szelvényben	171
5.5.3.1.4-3. ábra: Talajvízszintek a III. szelvényben	172
5.5.3.1.4-4. ábra: Talajvízszintek a IV. szelvényben	172
5.5.3.1.4-5. ábra: Talajvízszintek az V. szelvényben	173
5.5.3.1.4-6. ábra: A talajvíz és a Duna közötti korrelációs együttható alakulása a talajvízkutak vízfolyástól való távolságának függvényében	173
5.5.3.2-1. ábra: Rétegvízszintek időbeli alakulása egy É–D irányú szelvény mentén elhelyezkedő figyelőkutakban	174
5.5.3.2-2. ábra: Rétegvízszintek az I. szelvényben	175
5.5.3.2-3. ábra: Rétegvízszintek a II. szelvényben	175
5.5.3.2-4. ábra: Rétegvízszintek a III. szelvényben	176
5.5.3.2-5. ábra: Rétegvízszintek a IV. szelvényben	176
5.5.3.2-6. ábra: Rétegvízszintek az V. szelvényben	177
5.5.3.2-7. ábra: A telephelyi rétegvízfigyelő kutak helyszínrajza	178
5.5.4.3-1. ábra: A telephelyi kutakból vett vízminták vízkémia jellege Piper-diagramon bemutatva	180
5.5.6-1. ábra: Az első vízadóban tárolt talajvízre telepített vízbázisok	182

TÁBLÁZATJEGYZÉK

5.1.3-1. táblázat: Az FKP végrehajtása során lemélyített mélyfúrásokban harántolt képződmények	26
5.1.3-2. táblázat: Az FKP végrehajtása során lemélyített sekélyfúrásokban harántolt képződmények	27
5.1.3-3. táblázat: Az FKP végrehajtása során lemélyített telephelyi földtani fúrásokban harántolt képződmények	27
5.3.2.3.2-1. táblázat: 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) a telephelyen.....	91
5.3.2.4.2-1. táblázat: A különböző éves meghaladási gyakoriságra számított PGA átlagos (mean) értéke a felszínen	96
5.3.2.4.3-1. táblázat: A $10^{-5}/\text{év}$ meghaladási valószínűségi szintre számított felszíni UHRS (mean, 16%, 50%, 84% percentilisek).....	97
5.3.2.4.3-2. táblázat: A $10^{-5}/\text{év}$ meghaladási valószínűségi szintre számított felszíni vertikális UHRS (mean, 16%, 50%, 84% percentilisek)	100
5.3.4.1-1. táblázat: A Paksi Atomerőmű mikroszeizmikus megfigyelő hálózat állomásainak változása és jelenleg üzemelő állomásai.....	108
5.3.4.1-2. táblázat: Az egyes években azonosított szeizmikus események száma [5-59].....	111
5.3.4.2-1. táblázat: A telephelyvizsgálat keretében létesített mikroszeizmikus állomások koordinátái	115
5.4-1. táblázat: A telephelyen létesített fúrások adatai (a fúrások helyét a TBJ II. 5.4.1 1. ábra mutatja).....	117
5.4.2.1-1. táblázat: Feltöltés talajjellemzői.....	121
5.4.2.2-1. táblázat: Humuszos fedőréteg	121
5.4.2.3-1. táblázat: Holocén agyag talajjellemzői	122
5.4.2.4-1. táblázat: Futóhomok talajjellemzői.....	124
5.4.2.5-1. táblázat: Öntéshomok talajjellemzői.....	126
5.4.2.6-1. táblázat: Kavicssterasz talajjellemzői.....	128
5.4.2.7.1-1. táblázat: Pannon finomhomok, iszapos homok, homokos iszap réteg talajjellemzőinek statisztikai feldolgozása.....	131
5.4.2.7.2-1. táblázat: Pannon agyag, iszap, homok vegyes rétegződés kötött talajainál az azonosító jellemzők statisztikai feldolgozása	132
5.4.2.7.2-2. táblázat: Pannon agyag, iszap, homok vegyes rétegződés szemcsés talajainál a szemeloszlások statisztikai feldolgozása	132
5.4.2.7.2-3. táblázat: Pannon agyag, iszap, homok vegyes rétegződés a szondázási talajjellemzők statisztikai feldolgozása.....	132
5.4.2.7.3-1. táblázat: Pannon homok réteg talajjellemzőinek statisztikai feldolgozása	134
5.4.2.7.4-1. táblázat: Pannon agyag réteg talajjellemzőinek statisztikai feldolgozása.....	135
5.4.2.7.5-1. táblázat: Második pannon homokrég talajjellemzőinek statisztikai feldolgozása	136
5.4.2.7.6-1. táblázat: Második pannon agyag réteg talajjellemzőinek statisztikai feldolgozása	137
5.4.2.7.7-1. táblázat: Harmadik pannon homok réteg talajjellemzőinek statisztikai feldolgozása	138
5.4.2.7.8-1. táblázat: A harmadik pannon agyagrégben lévő agyakok talajjellemzőinek statisztikai feldolgozása	139

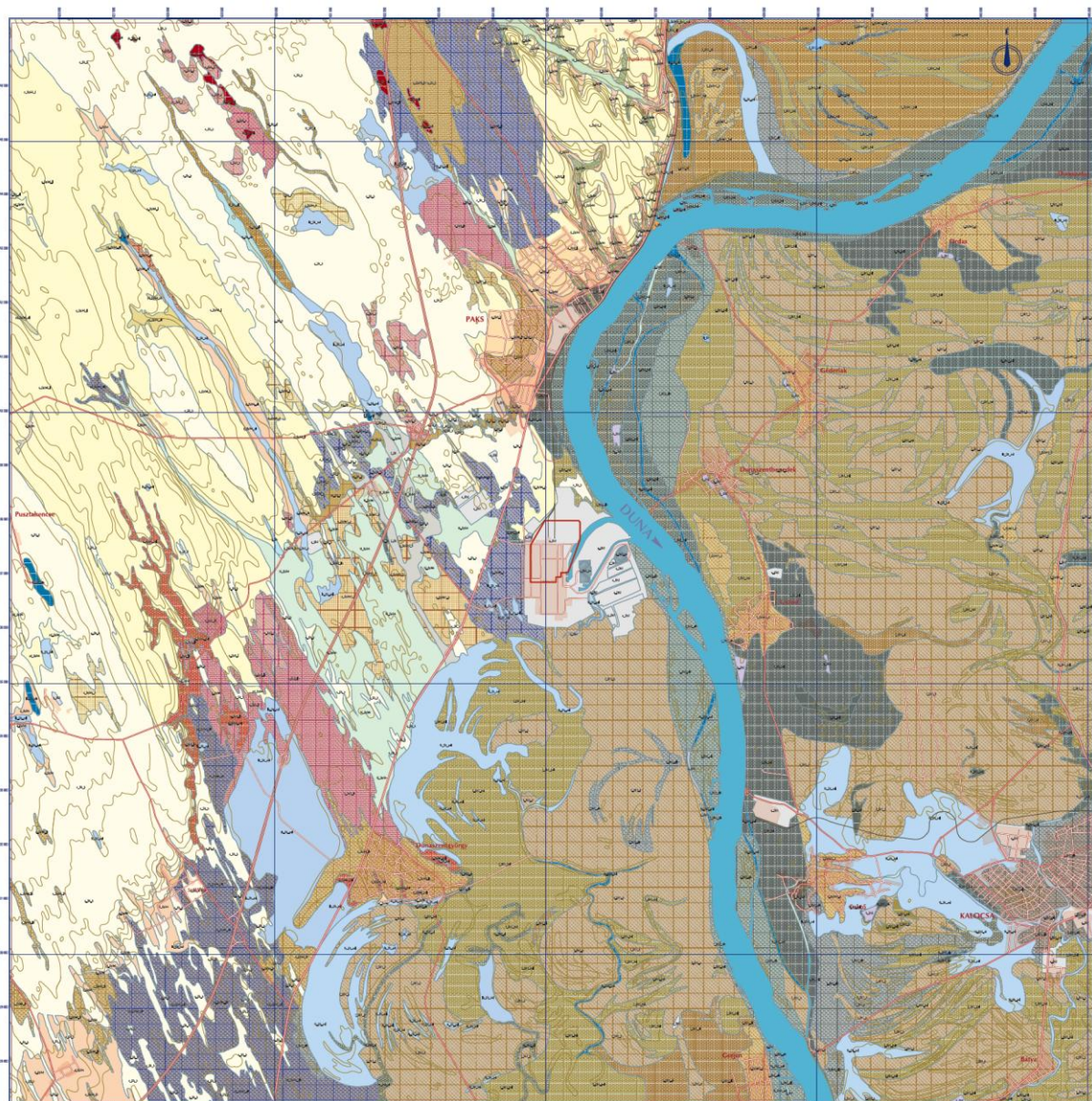
5.4.2.7.8-2. táblázat: A harmadik pannon agyagrétegben lévő finomhomok, homokos iszap betelepülések szemeloszlási jellemzőinek statisztikai feldolgozása.....	139
5.4.2.7.8-3. táblázat: A harmadik pannon agyagréteg állapotjellemzőinek statisztikai feldolgozása	139
5.4.2.7.9-1. táblázat: Pannon finomhomok, homok talajjellemzőinek statisztikai feldolgozása	140
5.4.2.8.1-1. táblázat: Elvégzett izzítási veszteségek eloszlása a vizsgált telephelyen	141
5.4.2.8.2-1. táblázat: Homokkő megjelenési helyei a vizsgált területen	141
5.4.2.8.4-1. táblázat: Talajrétegek megfolyósodási hajlama (+ hajlamos, - nem hajlamos, v valószínűsíthető)	143
5.4.2.8.4.2-1. táblázat: A hézagtenyező változása a különböző talajoknál	145
5.5.3.1-1. táblázat: A Duna jellemző vízállásai.....	169
5.5.4.1-1. táblázat: Archív talajvízkémiai eredmények az üzemelő blokkok területén	179
5.5.4.2-1. táblázat: Archív rétegvízkémiai eredmények az üzemelő blokkok területén	180
5.5.6-1. táblázat: Foktő-Barákai vízbázis adatai	181
5.5.6-2. táblázat: Csámpai vízmű telep kutak adatai.....	183
5.5.7-1. táblázat: PAE 1-4 blokk Duna menti felszín alatti vizek monitoring rendszere műszaki adatai.....	184
5.5.7-2. táblázat: Vízügyi igazgatóságok által üzemeltetett figyelőkutak.....	184

5. Geológia, szeizmológia, geofizika, geotechnika és hidrogeológia

5.1. Geológia

A vizsgált terület a Pannon-medence középső részén helyezkedik el. A földtani felépítésben (TBJ II. [5.1-1. ábra](#)) három nagyobb képződménycsoport (paleo-mezozoos alaphegység; neogén képződmények; negyedidőszaki képződmények) különíthető el.

A medence aljzatáról, a paleo-mezozoos alaphegységről a jelen kutatást megelőzően 7 db medencealjzatot ért fúrás adatai álltak rendelkezésre. Ezek azt mutatták, hogy a felépítő kőzetek nagyrészt a mecseki, hasonló korú képződményekkel megegyező jellegűek, részben metamorf, részben üledékes kifejlődésűek. A különböző korú és összetételű kőzettípusok változatos mélységben és kifejlődésben fordultak elő, tájékoztató képet adva az aljzat tényleges szerkezeti és rétegtani viszonyairól.



5.1-1. ábra: Paks környékének földtani térképe

A medencekitöltő neogén képződményekről nagyszámú fúrási adat állt rendelkezésre a kutatást megelőzően. A neogén idősebb részét (alsó- és középső-miocén) a kutatási program megkezdéséig 12 fúrás érte el, és ezekben a képződménycsoportok egymáshoz való viszonya szinte minden fúrás esetében más és más volt. Korban felfelé haladva az adatok mennyisége nő; a felső-pannóniai képződményeket mintegy 900 fúrás érte el. A fúrási adatoknak kisebbik része folyamatos magvétellel mélyített, részletesen feldolgozott és dokumentált fúrásból, a többség szakaszos magfúrással lemélyített vízkutató fúrásból származik. A felső-pannóniai képződmények fiatalabb tagozatai a területen néhány felszíni feltárásban is tanulmányozhatók.

A tágabb területen néhány feltárásban előbukkanó felső-pannóniai üledékeken kívül az egész kutatási területet több tíz méter vastagságú, változatos felépítésű negyedidőszaki (kvarter) üledéktakaró fedi. Kifejlődési jellegei a Duna jobb, illetve bal partján meglehetősen különbözőek. A negyedidőszaki képződmények között a folyóvízi, az eolikus és a lejtőüledékek szerepe a legjelentősebb.

5.1.1. A telephely földtani felépítése

A felépítés leírása fejlődéstörténeti sorrendben, az idősebb képződményektől a fiatalabbak felé halad, s három nagyobb képződménycsoportra (paleo-mezozoos alaphegység; neogén képződmények; negyedidőszaki képződmények) bontva ismerteti azt.

5.1.1.1. Paleo-mezozoos képződmények

A terület legidősebb képződményei különböző fokú metamorfózison átesett gneisz, csillámpala, amfibolit. A kutatási programot megelőzően három fúrásban volt ilyen képződményekről adat.

A Vajta-3 fúrásban 1402,0–1504,0 méter között muszkovit-biotit gneiszt harántoltak, amelynek kiindulási közete valószínűleg pelites-pszammitos üledékek voltak, s a rajtuk elvégzett vizsgálatok alapján megállapítható volt, hogy a metamorfózis során egy korábbi, 34°C/km alatti gradiensű, diszténes metamorfózist egy későbbi, 34°C/km gradiens feletti, andaluzitos metamorfózis követett, s így a képződmények a Görcsönyi-hátság "kristályos" képződményeivel azonosíthatók. [5-20]

A Németskér-1 fúrás 507,2–546,6 méter között muszkovit-biotit gneiszt és amfibol-biotit gneiszt harántolt. Az idősebb, alacsony, és a fiatalabb, magas hőmérsékletű metamorfózis itt is kimutatható. Az alacsony hőmérsékleten jellegzetes ásványátalakulások mentek végbe, amelyek a földpátokon, a stauroliton, a biotiton, a gránáton és az amfibolon figyelhetők meg. A metamorfózis során az amfibolit fácies magasabb hőmérsékletű részének megfelelő viszonyok uralkodtak. [5-19]

A Miske-1 fúrás 601,0–617,0 méter között zöldes árnyalatú, sötétszürke, nem palás szövetű, helyenként fehér vagy világos vörös kalciterekkel kaotikusan átjárt amfibolitot tárt fel, amelyben néhány dm vastagságú biotit-granodiorit telérek között található. Az amfibolit kiindulási közete valószínűleg diabáz volt. [5-11]

A telephelyvizsgálat során lemélyített fúrások közül kettő ért biztosan metamorf kristályos képződményeket. A PAET-26 fúrás pannon képződmények alatt 500,6 m-ben érte el a csillámpala-gneisz sorozatot (500,6–560,0 m) és bizonyította, hogy az alaphegységre üledékhézaggal települve helyezkedik el az alsó-pannóniai rétegsor. A PAET-34 fúrás vastag neogén üledéksor alatt, 1832,95 m-ben jutott a metamorf képződményekbe (1832,5–1867,8 m), amelyek szintén egy gneisz-csillámpala sorozat részei. Rendkívül fontos, új adat a terület alaphegységi morfológiájának ismeretéhez, hogy viszonylag kis távolságon belül ekkora szintkülönbség van az alaphegységben, ami a miocén időszak jelentős szerkezeti aktivitását mutatja.

Szintén a paleozoikumot képviselik a telephelytől D-re a medencealjzatban elhelyezkedő, alsó-karbon korú Mórággyi Gránit Formáció gránitos sorozatának megfelelő képződmények. A Miske-2 (773,0–778,5 m) és Miske-3 (944,5–958,0 m), a Tolna B-47 (397,0–400,5 m), valamint a Szekszárd B-17 (831,7–892,1 m) fúrásokban a harmadidőszaki fedő alatt gránitot, durbachitot, gneiszt és aplogránitot harántoltak.

A kutatási területen egyedül a Vajta-3 fúrásból ismertek perm korú képződmények. Az 1151,0–1295,0 méter között települő, főként vörös homokkőből és konglomerátumból álló rétegsor a Korpádi, illetve a Kővágószőlősi Homokkő Formációt képviseli. A perm képződmények elterjedésére további adatok nincsenek, bár a kifejlődések jellege arra enged következtetni, hogy a területen alsó-triász képződményeket ért fúrások fekvőjében valószínűleg megtalálhatók a felső-permi üledékek. Az alföldi területrészen a kutatási területtől K-re, Kecel közelében harántoltak a fúrások permbe sorolt képződményeket.

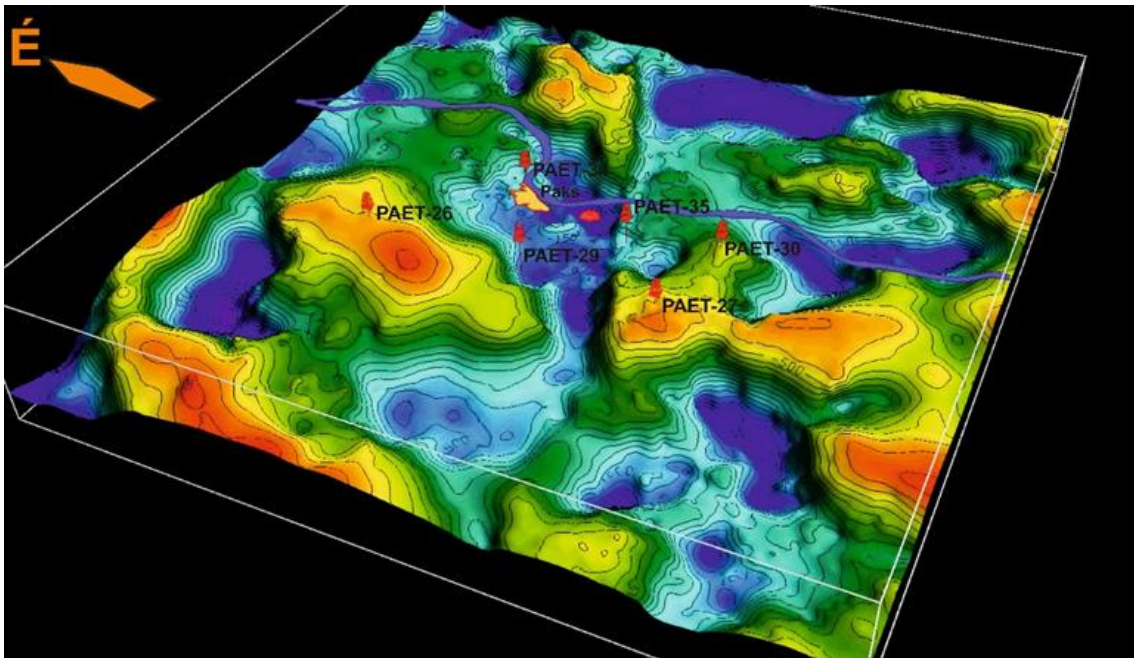
A korábbi kutatások több fúrásban kimutatták a mezozoos képződmények jelenlétét, bár a fúrások többsége is a telephelytől távolabbi területeken mélyült. Három fúrásban a mecseki alsó-triász sorozatot tártak fel. Legteljesebb kifejlődése a Vajta K-fúrásból ismert (865,0–1095,0 m), amely a Werfeni Formáció (ma Hetvehelyi Dolomit Formáció) képződményeit harántolta, míg a Vajta-3 fúrás (1026,7–1151,0 m) e formáció fedőjében a mecseki anizuszi mészkövet is átfúrta [5-13]. Az alföldi területrészen a kutatási területre eső fúrások triász képződményeket nem harántoltak. Legközelebb a területhez a keceli fúrásokból került elő a Jakabhegyi Homokkő Formációba sorolható alsó-triász képződmény.

A kutatási területen jura képződményeket csak a Tengelic-1 fúrás (985,5–1183,3 m) tárt fel. A fúrás rétegsorának a közelben lemélyített Tengelic-2 alapfúrásával [5-8] való összehasonlítása mutatta ki elsőként a Kapos-vonal K-i irányú folytatását [5-21][5-22]. A Dunától K-re eső területen a kiskőrösi szerkezet egy része nyúlik be a területre. Eddig nem volt olyan fúrás, amely jura képződményt ért volna, de a kiskőrösi fúrások alapján bázisos telérekkel átjárt zöldesszürke, barnafoltos agyagmárga, feljebb sötétszürke agyagmárga és mészmárga váltakozásából álló, hiányos jura rétegsor jelenléte feltételezhető.

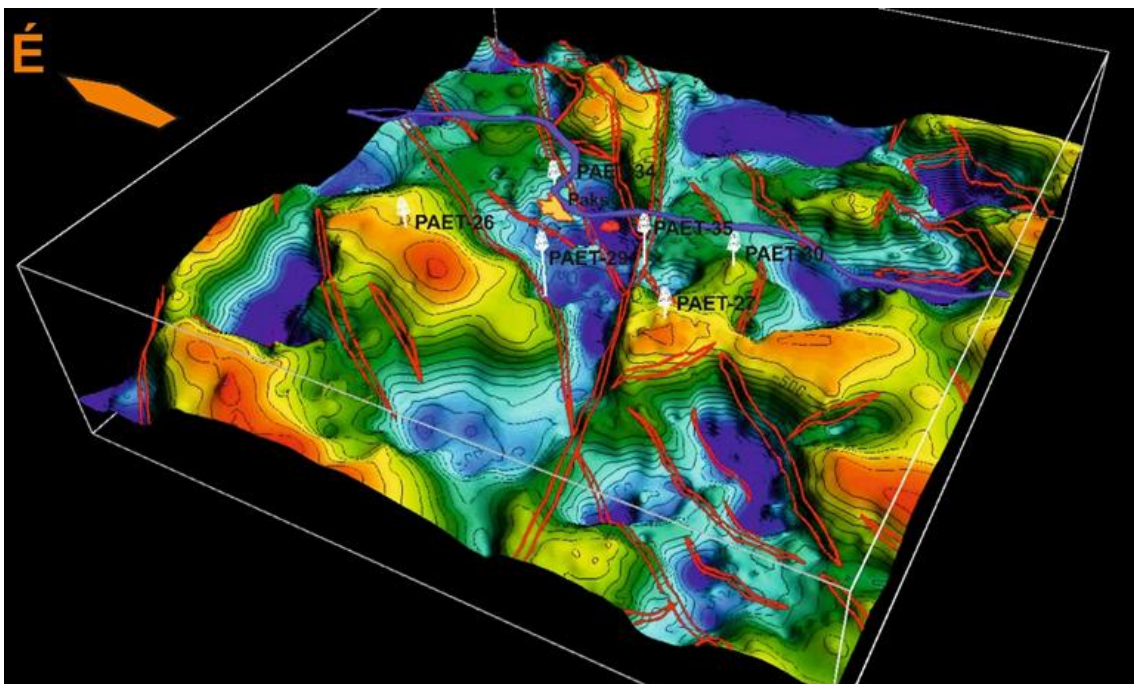
A Mecsekből ismert alsó-kréta vulkáni és vulkanoszediment képződmények elterjedése a területen nem ismert. A kiskőrösi fúrásban a jura képződményekben található bázisos vulkáni képződmények mindenesetre a kréta vulkanizmus jelenlétére utalnak, bár részletes összehasonlító vizsgálat híján a telérek kora nem tekinthető bizonyítottnak.

A telephelyvizsgálat során a PAET-27 és a PAET-30 tárt fel a mezozoikumba sorolható képződményeket. A két fúrás mezozoikuma különböző korú és kifejlődésű képződményekből áll. A PAET-27-ben a fedő miocén képződmények alatt a Mecseki-egység alsó-jura tengeri kifejlődésű, pelágikus medence fáciesű, finomszemcsés sziliciklasztos és karbonát összletébe („foltosmárga”) sorolható képződményt harántolt (480,8–565,2 m). A PAET-30 fúrásban elért, változatos összetételű, részben karbonátos képződmények (586,69–601,33 m) a Mecseki-egység alsó-triász folyóvízi és delta fáciesű sziliciklasztos képződményeihez, illetve e felett a középső-triász sekélytengeri, sziliciklasztos és karbonátos összlethez lehetett sorolni, köztük pedig a Mecseki-egység alsó-kréta bázikus vulkáni–szubvulkáni összletébe sorolható képződmény található (565,2–586,69 m).

A fúrási és szeizmikus adatok felhasználásával készített alaphegységi domborzati térképen (5.1.1.1-1. ábra) jól látható, hogy igen jelentős különbségek vannak az alaphegység felszínének mélységében. A szerkezeti elemek feltüntetésével készített térképen (TBJ II. 5.1.1.1-2. ábra) az is látható, hogy mind az aljzati szintkülönbségeknek, mind a különböző kifejlődések egymáshoz viszonyított helyzetének kialakulása elsősorban neogén tektonikus folyamatoknak köszönhető.



5.1.1.1-1. ábra: A kutatási terület (60 x 60 km²) paleo-mezozoos alaphegységének domborzati térképe a 3D szeizmikus kutatás alapján, a telephelyvizsgálat keretében lemélyített, alaphegységet ért fúrások feltüntetésével. A kék szín a legmélyebben, a barna a legmagasabban elhelyezkedő alaphegységi képződményeket jelzi, az izovonalak értékköze 100 m



5.1.1.1-2. ábra: A kutatási terület paleo-mezozoos alaphegységének domborzati térképe (az izovonalak értékköze 100 m), a szezmika által kimutatott jelentősebb szerkezeti vonalak és a telephelyvizsgálat keretében lemélyített, alaphegységet ért fúrások feltüntetésével

5.1.1.2. Neogén képződmények

A medencealjzaton változatos kifejlődésű, jelentős vastagságú neogén képződménysor települ, amely a medence feltöltődésében meghatározó szerepet játszik, s amelynek idősebb (alsó- és középső-miocén) részét a jelen kutatás kezdetéig 12 fúrás érte el, míg a fiatalabb (késő-miocén és pliocén) részét számos fúrás teszi jól ismertté.

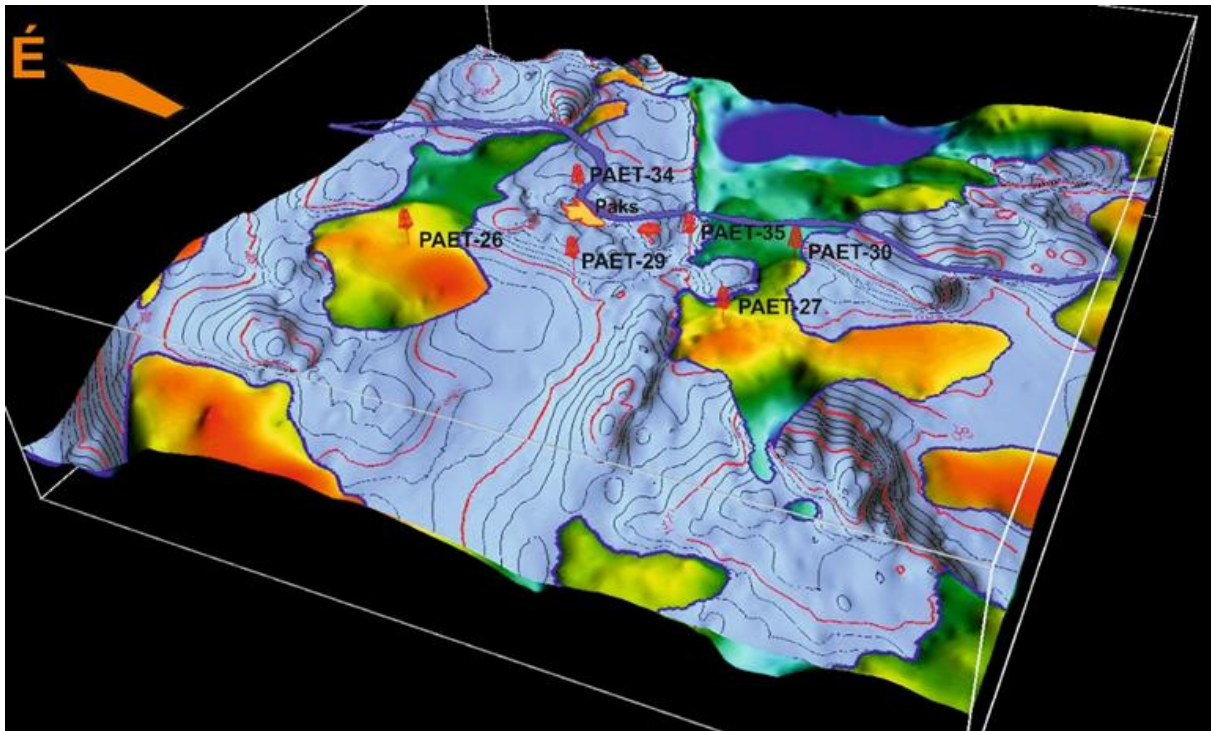
5.1.1.2.1. ALSÓ- ÉS KÖZÉPSŐ-MIOCÉN KÉPZŐDMÉNYEK (20–11,5 MA)

A vizsgált terület alatt települő idősebb miocén képződményekről részletes adatokkal szolgált a korábban lemélyített Paks–2 alapfúrás [5-10]. Itt a medencealjzat legalább 1600 méter mélységben van, de ezt a fúrás nem érte el. A rétegsorban jelentős mennyiségű vulkanoszediment képződmény, lávaárak és kavicsos, homokkőves sorozatok felett tengeri üledékképződést jelző homokkő, aleurit, aleurolit rétegek települnek, majd ismét vastagabb vulkáni összlet után agyagmárga és glaukonitos homokkő jelzi a valódi tengeri üledékképződési környezetet. Ezt a rétegsort zárja a szarmata, meszes homokkő, mészmárga, agyagmárga, mészkő kifejlődéssel. Felette diszkordánsan a túlnyomórészt kőzetlisztes agyagmárgából felépülő alsó-pannoniai Endrődi Formáció települ.

A telephelyvizsgálat során lemélyített fúrások jelentősen megváltoztatták az idősebb miocén vulkáni tevékenységről kialakult korábbi elképzelést (TBJ II. 5.1.3-1. táblázat). Az elvégzett laboratóriumi és abszolútkor-vizsgálatok kimutatták, hogy a cirkon U-Pb koradatok alapján a vulkáni működés 20,5–19 millió év között zajlott, amelyen belül először időszakos robbanásos kitörések történtek, amelynek képződményei a Gyulakeszi Formációt képviselik, majd 19 millió éve egy több mint 1200 méter nagyságú vulkáni felépítmény alakult ki (egy vagy több kitörési centrummal). A PAET–29 (29/1) fúrás több mint 1200 méter vastagságban (723,6-1950,0 m) harántolta az üledékes betelepülések nélküli vulkáni képződményeket, melyek láva, tufa és agglomerátum kifejlődésben, dácitos, andezites összetételűek.

A PAET–34 fúrásban durva törmelékes üledékek háromfelé osztják a hasonló vulkanit-sorozatot, (699,5-1224,90 m, 1526,20–1546,17 m, illetve 1786,70–1832,46 m), s itt az alaphegységet is sikerült elérni a vastag vulkáni összlet alatt. Másik két, idősebb miocént ért fúrás közül a PAET–27 a várakozásnak megfelelően (416,3–480,80 m) felső-miocén rétegsort harántolt, majd az alaphegységi (jura) képződmények alatt szerkezeti érintkezéssel durva törmelékes képződményekben állt le. A PAET–35 fúrás több mint 600 méter vastag alsó-miocén törmelékes üledéksort harántolt, valószínűleg többszörös ismétlődésekkel, majd ezen a kárpáti Budafai Formáció (konglomerátum) felett Lajtai Formációt (mészkő), illetve nyíltvízi agyagmárgát (Endrődi Formáció) harántolt (847,7–915,4 m). A miocén rétegsor alsó része a többi fúrásban elért miocén képződményekhez képest erősen tektonizált. Az utóbbi két fúrásban, a valószínűsített vulkáni kitörési centrum közelsége ellenére sem harántolták az alsó-miocén vulkanitokat.

Az alsó-miocén képződmények elterjedéséről készült tömbszelvény (TBJ II. 5.1.1.2.1-1. ábra) azt mutatja, hogy a korábbi szerkezeti elemek nagy része követhető rajta, azonban jelentős térszín-kiegyenlítődés történt a terület nagy részén megtalálható alsó-miocén képződmények lerakódása idején.



5.1.1.2.1-1. ábra: Az alsó-miocén képződmények felszínének (kékesszürke) domborzati térképe a telephelyvizsgálat keretében lemélyített, alaphegységet ért fúrások feltüntetésével. A színes területeken nincsen alsó-miocén képződmény

5.1.1.2.2. FELSZŐ-MIOCÉN ÉS PLIOCÉN (PANNON) KÉPZŐDMÉNYEK (11,5-2,4 MA)

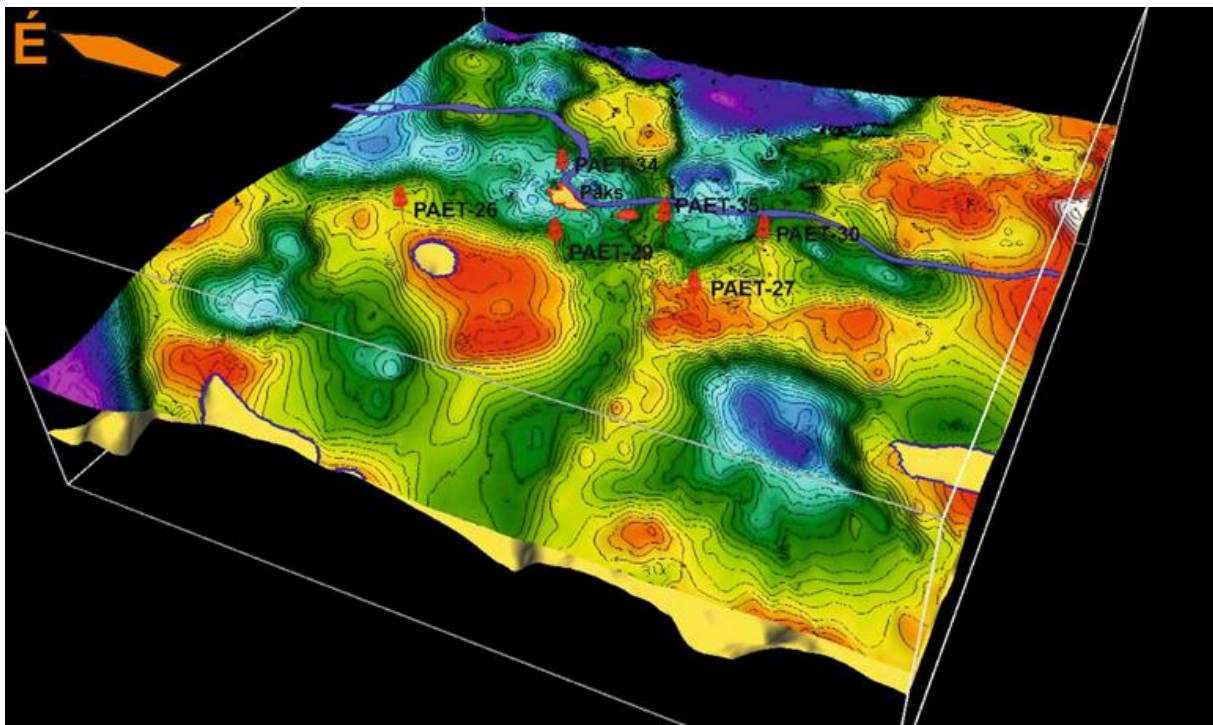
Az idősebb miocén képződményeket a felső-miocén- pliocén korú pannóniai képződmények követik. Ezek rétegtani felosztásában a szeizmikusan azonosítható litosztratigráfiai egységek követhetők: Endrődi, Szolnoki (ami teljesen hiányzik a területről), Algyői, Újfalui és Zagyvai Formációk. Ezekről az üledékes kőzetekről már nagyon sok adat áll rendelkezésre, számos fúrásból ismerhető. Ez azért is fontos, mivel az egész vizsgált területen ezek a rétegek települnek a negyedidőszaki üledékek alatt, s üledékképződési körülményeik következtében még jól korozhatók és párhuzamosíthatók egymással, ugyanakkor gyakorlatilag mindenhol diszkordánsan, üledékhézaggal következik rájuk a negyedidőszaki képződmények sorozata. A két üledéksor közötti hiátus változó mértékű, de a legtöbb, a határt harántoló fúrásban az látszik, hogy a felső-pannóniai felülről csonka, s helyenként akár millió évek is hiányoznak a rétegsorból.

A felső-pannóniai képződmények felszíni előfordulásai kevésbé gyakoriak a területen. A korábbi térképezések során néhány foltban sikerült részben homok, részben agyagmárgás kőzetliszt kifejlődéseit megtalálni. Ezek közül a sárszentlőrinci egykori téglagyári fejtőben lignites, homokos kifejlődését, Uzdtól D-re részben szürke, finomszemű, kőzetlisztes homok, részben szürke, finomhomokos kőzetliszt kifejlődését lehetett észlelni, itt a fedő negyedidőszaki képződmények egy lejtőmozgás csúszólapján érintkeznek a fekével. Kölesd mellett finomhomokos kőzetliszt és keresztarétegzett, finomszemű homok-homokkő látható, s hasonló kifejlődése figyelhető meg Kistormás és Medina közelében. Talajkikopások és kisebb helyi fejtők tárják fel a felső-pannóniai képződményeket Nagydorogtól D-re, s igen kis vastagságú talaj alatt, kézfúrással lehetett feltárni agyagmárgás kőzetliszt-kifejlődését a bölcskei vasútállomás közelében.

A területen mélyült fúrásokkal harántolt pannóniai rétegsor zöme mintegy 3 millió éves időtartamban, 9-6 millió évvel ezelőtt képződött. Néhány fúrásban felmerül a lehetősége annak,

hogy a 11,6-9 millió éves intervallumban is folyt üledékképződés, akár folyamatos üledékképződéssel a szarmata – pannóniai határon. Ezeknek az idősebb pannóniai képződményeknek a jelenlétét nem sikerült eddig bizonyítani, valószínűleg nagyon kicsi vastagságuk miatt. A biozónákra, radiometrikus adatokra és más fúrások mágnésrétegtani adataira támaszkodó országos szeizmikus korreláció szerint a kb. 8,6 millió évesnek tekintett szeizmikus felület É felől rálapolódik a PAET-26 fúrási pont alatt elhelyezkedő németkéri aljzati kiemelkedésre, azaz a fúrási pontban ennél fiatalabb üledékes kőzetek adják a pannóniai emelet talpát. A kb. 8 millió évesnek tekintett szeizmikus felület a fúrás helyén a mélyvízi és sekélyvízi üledékek 450 m-es határa fölött halad kevéssel, de nagyon közel ehhez a határhoz. Az ehhez a szinthez tartozó selfperemi lejtő jóval délebbre helyezkedik el. A 6,8 millió évesnek tekintett szeizmikus horizont Paks környékén általában korrelálható, de a PAET-26 fúrás közelében már „kifut” a felszínre, le van erodálva. A PAET-26 fúrás paleomágnéses adatai szerint a fúrás felső-pannóniai képződményeinek középső részének (120 és 450 méter közötti szakaszának) kora 6,4–8,1 millió év közé esik.

A szeizmikus szelvényeken az egyik legmarkánsabban jelentkező felület az Algyői Formáció felső határa, amelyet korábban az alsó- és felső-pannóniai képződmények határaként rögzítettek. Ez a határ azonban valójában nem kronosztratigráfiai, hanem litosztratigráfiai határ, s elsősorban az üledékképződési környezet megváltozását jelzi. Ugyanakkor a területen megfigyelhető elterjedése további térszín-kiegyenlítődést, az átöröklött szerkezeti elemek hatásának mérséklődését tükrözi ([5.1.1.2.2-1. ábra](#)).



5.1.1.2.2-1. ábra: Az Algyői Formáció felszínének domborzati térképe a telephelyvizsgálat keretében lemélyített, alaphegységet ért fúrások feltüntetésével. A sötétkék vonallal körülhatárolt területeken nincsen jelen a Formáció

5.1.1.3. Negyedidőszaki képződmények

A kutatási területnek csaknem 100%-át negyedidőszaki üledékek fedik. A szárazföldi kifejlődésű üledékösszletnek igen sok típusa megtalálható a területen. A kutatási eredmények azt mutatják, hogy a terület egyes részein csaknem a teljes negyedidőszak folyamán volt üledékképződés, azonban a tényleges üledékösszlet többé-kevésbé mindenütt csonka.

A negyedidőszaki képződmények jelentősége a kutatás szempontjából igen nagy, hiszen az egyik legfontosabb kérdést, a felszínig hatoló törések létének vagy hiányának kérdését csak ezek ismeretében lehet megválaszolni. Ehhez igen fontos az egyes rétegsorokban jelentkező hiányok elemzése, elsősorban abból a szempontból, hogy az adott hiátus szerkezeti, üledékképződési, vagy lepusztulási folyamatokra vezethető vissza.

5.1.1.3.1. PLEISZTOCÉN KÉPZŐDMÉNYEK (2,58 MA-11,7 EZER ÉV)

A pleisztocén paleomágneses mérésekre alapozott, háromszatú tagolása szerint a pleisztocén alsó határát a 2,58 millió éves Gauss–Matuyama-határ, az alsó- és középső-pleisztocén határát a 780 ezer éves Matuyama–Brunhes-határ, a középső- és felső-pleisztocén határát a 120 ezer éves Riss–Würm melegsűcs jelenti. A negyedidőszaki képződmények korbesorolását nagyban segíti a telephely tágabb környezetében lemélyült, az országban eddig harántolt legvastagabb lösz-rétegsort feltáró Udvari–2A fúrás lösz-rétegsorának párhuzamosítása a polaritás-idő és a tengeri oxigénizotóp skálákkal [5-15] (5.1.1.3.1-1. ábra), valamint ugyanennek a fúrásnak és a Görgeteg–I fúrás rétegsorának összehasonlítása, ahol vastag pleisztocén folyóvízi képződmények és a lösz-rétegsorok párhuzamosítása történt meg [5-14] (5.1.1.3.1-2. ábra).

A területen található negyedidőszaki képződmények pontos kor szerinti besorolása azonban nehezen oldható meg. Ennek egyik legfontosabb oka, hogy a biosztratigráfiai adatok száma csekély, a litosztratigráfiai módszerek pedig nem elegendők a sok, hasonló kifejlődésű, de eltérő időszakokban létrejött üledékcsoporthoz tagolására. A fosszilis talajszintek alapján történő lösz-tagolás csak az ilyen képződményt tartalmazó feltárások esetében jelenthet megoldást, amennyiben a benne rejlő szubjektív elemek megnyugtatóan kiküszöbölhetők. Nem oldja meg azonban ez a módszer a nem lösz-jellegű üledékek és a talajszinteket nem tartalmazó észlelési helyek korazonosításának és párhuzamosításának problémáját. Fontos tény, hogy a területen a felső-pleisztocén löszként elkülönített képződmény-együttesek alatt igen sok helyen megtalálhatók a paksi, illetve a dunaföldvári löszkifejlődéseknek megfelelő, idősebb löszképződmények is. Ezek felszíni előfordulásainak lehetséges helyein azonban részben a talajfolyási jelenségek, részben a lejtőrongálódások különböző típusai miatt csak kevés feltárást lehet észlelni. A kvarter legidősebb, jellegzetes teresztrikus képződménye a Tengelici Vörösagyag Formáció. Ez a képződmény nemcsak a tengelici fúrásban, hanem több más (vízkutató) fúrásban és felszíni feltárásokban is tanulmányozható. A vörösagyag képződése valószínűleg a pliocénben kezdődött, de fő tömegének kora alsó-pleisztocén. A korábbi kutatások során is több fúrásból ismertették, ezek között 21 olyan fúrás volt, amelyben 40 m-nél is vastagabb üledéksor alkotta. A telephelyvizsgálat során lemélyített fúrások közül a sekélyfúrások (TBJ II. 5.1.3-2. táblázat) több mint felében megfigyelhető volt, ezek között a legvastagabb együttest a PAET–7 fúrás tárta fel. Fontos megfigyelés volt, hogy az ún. árok-előkészítő fúrások közül a telephely közelében mélyített PA21–A, B, C és D1 fúrás is feltárta.

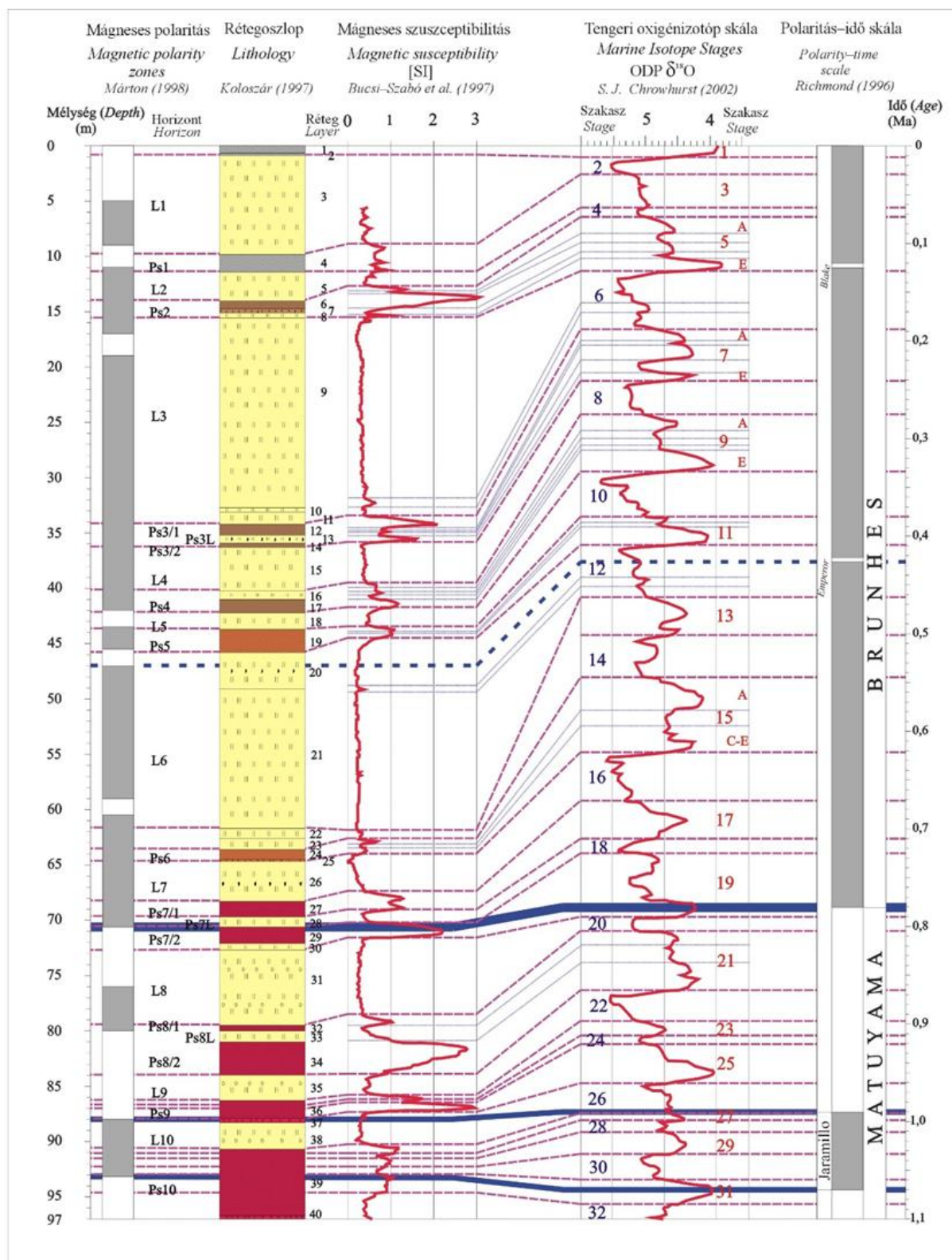
A pleisztocénben a területen üledékképződési szempontból a szél és a folyóvízi tevékenység hatása a legjelentősebb. A pleisztocén klimatikus körülményei igen alkalmasak voltak a szél (mint üledékszállító és ülepítő közeg) működésének érvényesülésére. Mind építő, mind romboló tevékenységének nyomai felismerhetők a területen. A klíma csapadékos vagy száraz volta, a szél energiája döntő a kialakult üledékek szemcsenagysága és kifejlődési jellegei szempontjából. A terület legismertebb, a Dunától Ny-ra legelterjedtebb eolikus képződménye a lösz [5-1][5-5][5-16][5-17][5-18].

Szemcsenagyság szempontjából átmeneti típusú, jelentős elterjedésű képződmény a szél által felhalmozott közetlisztes homok–homokos közetliszt. Elsősorban Pakstól ÉNy-ra, Györköny környékén van jellegzetes előfordulása, de a Duna–Tisza-közén is megtalálható. Ennek a kifejlődésnek viszonylag nagy vastagsága és területi elterjedése, valamint üledékes közettani megjelenése indokoltá teszi a lösztől való különválasztását. A szél által szállított és lerakott

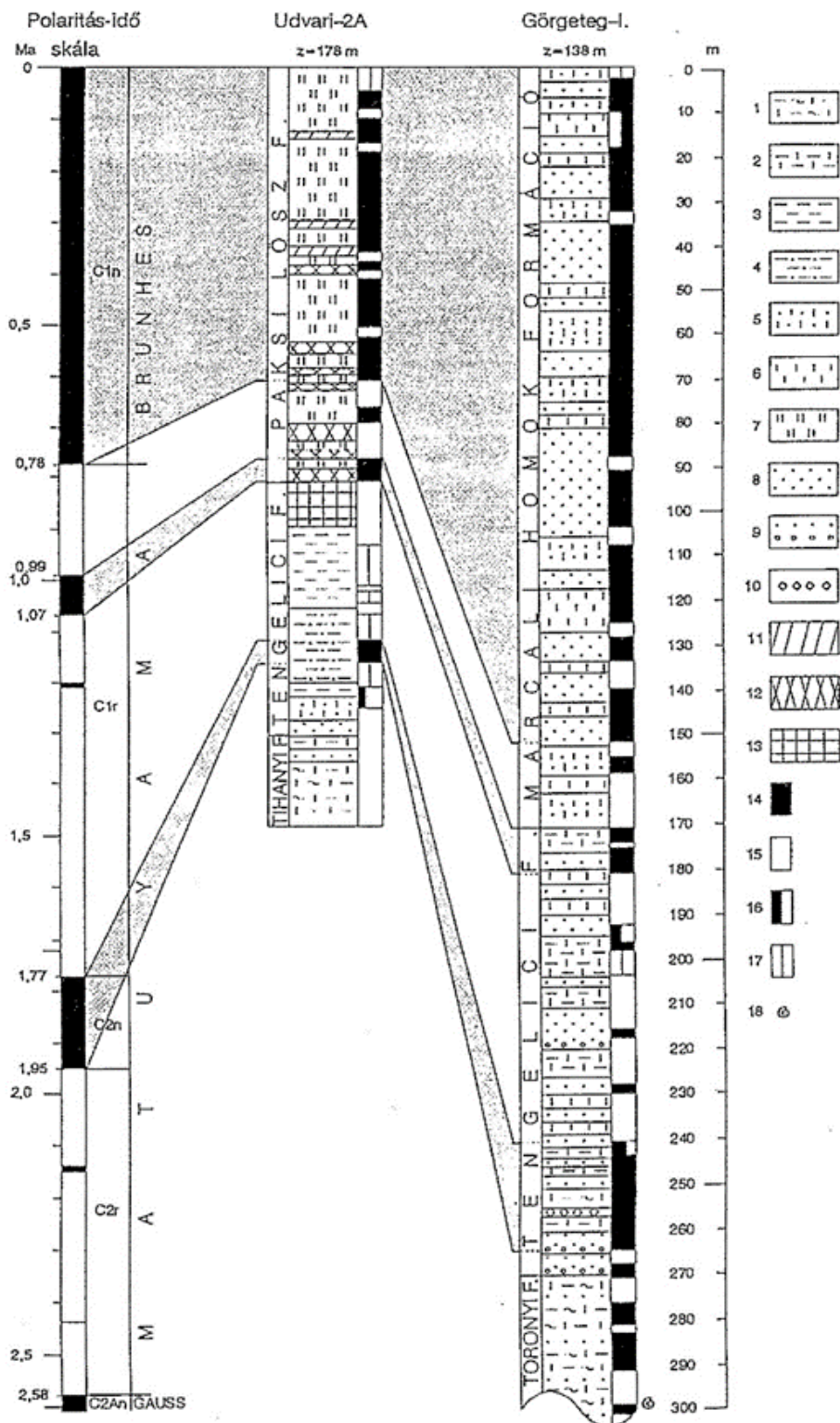
üledékek közül a területen viszonylag nagy mennyiségben fordul elő futóhomok. Átmeneti jellegű képződmény a fluvioeolikus homok, amelyet eredetileg a pleisztocén kori folyók szállítottak a területre, s amely a későbbiek során a szél hatására áthalmazódott, s a fenti futóhomoknak, valamint a holocén futóhomokok jelentős részének is anyagszolgáltatója.

A pleisztocén folyóvízi képződmények a terület jelenkori felépítése szempontjából igen fontosak, bár felszíni elterjedésük viszonylag kicsi. Jelentőségük abban áll, hogy – mint a fentiekben már szerepel – nagy mennyiségű anyagot szolgáltatott a terület negyedkori feltöltéséhez, részben eredeti települési jellegeiket megőrizve, részben áthalmazott formában. Szintén igen fontosnak kell tekinteni azt a szerepet, amelyet a negyedkori képződmények korbeosztásában játszanak a folyóvízi üledékek, hiszen a folyóteraszok korozása számos helyen közelebb hozta a rájuk települő üledékek korproblémáinak megoldását is. Ide kell sorolni a számos vízkutató fúrásban is harántolt dunavölgyi homokos-kavicsos képződményeket, amelyek – a vízkutató fúrások tanúsága szerint – legalább két szintben kimutathatók [5-4][5-9]. A folyóvízi homok (kavics) néven elkülönített képződmény-együttes idősebb része felszínen csak kevés helyen fordul elő. A pleisztocén kavicsra a Duna-völgyben az egyik legnagyobb tömegű dunai üledék, a folyóvízi homok települ, helyenként helyettesíti is a kavicsot.

A negyedidőszaki képződmények korbesorolásában elég sok a bizonytalansági tényező. Ezt a bizonytalanságot is tükrözi azon képződmények pleisztocén-holocén besorolása, amelyek nem hordoznak magukban elég bizonyítékot a keletkezés korára nézve, illetve azokat, amelyek képződése nem szakadt meg a pleisztocén-holocén határon. Ezek lehetnek a löszhöz hasonló kőzetlisztek, kőzetlisztes homokok, részben szélfújta, részben folyóvízi eredetűek. A löszterületeken már a lösz képződése idején is, és a későbbi időszakokban is jelentős felszínmozgási folyamatok játszódtak le. Az egyértelműen pleisztocén korú lejtőképződmények, mivel nagyrészt a löszképződés közben, az akkori morfológiai ugrópontokon jelentek meg, ismét lösz alá kerültek, általában a lösz-összleten belül kerülnek ismertetésre. Ugyanakkor azokon a lejtőkön, amelyek a pleisztocén folyamán, illetve végén alakultak ki, részben a pleisztocénben, részben a holocénben jöttek létre elsősorban lösz anyagú lejtőüledékek. Az mondható el róluk, hogy kőzetanyaguk keletkezési idejét tekintve pleisztocén, de a képződési folyamat maga, az áthalmazás, s az ezzel kapcsolatos szerkezeti átrendeződés holocén korú.



5.1.1.3.1-1. ábra: Az Udvari-2A fúrás lösz-rétegsorának párhuzamosítása a mágneses polaritás és a tengeri oxigénizotóp skálákkal [5-7]



Jelmagyarázat: 1. kőzetlisztes agyagmárga, 2. agyagos kőzetliszt, 3. agyag, 4. agyagos homok, 5. homokos kőzetliszt, 6. kőzetliszt, 7. lösz, 8. homok, 9. homokos kavics, 10. bentonit, 11. a fiatal löszsorozat paleotalajhorizontjai, 12. az idős löszsorozat paleotalajhorizontjai, 13. a Tengelici Formáció paleotalajhorizontjai, 14. normál polaritású szakasz, 15. fordított polaritású szakasz, 16. kevert polaritású szakasz, 17. nem történt paleomágneses mintavétel, 18. pleisztocénnél biztosan idősebb csigafauna első előfordulása

5.1.1.3.1-2. ábra: Az Udvari-2A és a Görgeteg-I fúrás rétegsorának párhuzamosítása a polaritás-idő skála felhasználásával [5-7]

5.1.1.3.2. HOLOCÉN KÉPZŐDMÉNYEK (0-11,7 EZER ÉV)

A kutatási terület nagy részét holocén üledékek borítják. A holocén folyamán a terület legjelentősebb üledékképző tényezője a Dunához kapcsolódó folyóvízi tevékenység volt. A folyók által szállított anyag áthalmazásában a szél és a morfológiai hatások, helyben való átalakulásában a tavi-mocsári környezetek kialakulása a legjelentősebb tényező. Nem hagyható figyelmen kívül az emberi tevékenység környezet-átalakító hatása sem, bár a térképezés során csak az egészen elkülönült, jelentős vastagságú antropogén üledékek kerültek feldolgozásra [5-12]. A holocén kori futóhomok mind a Duna-völgyben, mind a Dunától Ny-ra jellegzetes, maximálisan 3 méter vastagságú képződmény. A pleisztocén kori futóhomoktól szemcséinek valamivel erőteljesebb kerekítettsége mellett az különíti el, hogy jelenleg is mozgásban van.

A folyóvízi képződmények legfiatalabbika a friss öntés (allúvium). A holocén képződmények között a legváltozatosabb közettani összetételű, legjelentősebb felszíni elterjedésű képződménycsoport a folyóvízi üledékeké. A területet szinte megfelelő Duna a pleisztocén végén, a holocén elején foglalta el közelítőleg jelenlegi medrét, s a szabályozásig tetszése szerint, a szabályozás óta pedig ellenőrzöttén ugyan, de jelentős tömegű üledéket rakott le a térképezési területen. Ezen kívül a kisebb folyók és patakok mentén is kialakultak hasonló képződmény-együttesek, melyek keletkezési ideje szintén a holocénben rögzíthető. A Sió-Kapos, illetve a Sárvíz völgyében a finomabb szemű törmelékanyag az uralkodó, annak ellenére, hogy a szállítási távolság kisebb, mint a Duna esetében. Ennek oka elsősorban az, hogy a lehordási terület közetei között több a mállásra hajlamos üledékes képződmény. Az anyag részben a Középhegységből származik. A folyóvízi szállító tevékenység lanygulása, illetve a természetes vagy mesterséges állóvizek kialakulása helyenként tavi-mocsári üledékképződési környezet létrejöttét eredményezte. E közegben is többféle képződmény alakult ki. Ezek közül az egyik legjellemzőbb, bár általában kis vastagságú üledék a mésziszap. Rossz lefolyású, mocsarasodó területeken a Duna-völgyben a mésziszap felett megindult a tőzegképződés, mely elsősorban a Duna-völgy K-i, a Duna-Tisza-közi hátsággal határos részein nagyobb felszíni kiterjedésű képződmény. A mocsári-állóvízi üledékképződés másik jellegzetes terméke az agyagos kőzetliszt. Sajátossága abban rejlik, hogy minden előfordulásában felismerhető, vagy legalábbis feltételezhető az anyag löszterületről való származása. Sárgásszürke, limoniteres-foltos, mészkonkréciókat is tartalmazó rétegei elsősorban ott figyelhetők meg, ahol a lehordási terület löszből, vagy lösz-jellegű üledékekből áll. A szikes képződmények elsősorban a Duna-völgy É-i részének jellegzetes üledékei. A szikesek nagy, lapos táblákat alkotnak, nyáron kiszáradnak, megrepedeznek. A földtani térképeken általában ritkán kerül ábrázolásra a területen végzett emberi tevékenység üledékképzési eredménye. A lakott települések környezetében helyenként jelentős mennyiségű hulladék halmozódik fel, amelynek egy része hivatalosan nem minősülő szemétkerakó helyeken, viszonylag jelentős vastagságban rátelepül az idősebb képződményekre. Pusztahencse közelében olyan előfordulása is megfigyelhető volt, ahol a szemétkerakó helyek elsősorban környezetvédelmi szempontból érdekesek, bár rekultiváció esetén építésföldtani jelentőségűvé válhatnak. Az ember üledékképző tevékenységének másik fontos típusa a viszonylag nagy területeken megtalálható mesterséges feltöltés, amely a paksi telephely térségében ér el jelentősebb vastagságot (TBJ II. [5.1.3-3. táblázat](#)).

A telephelyvizsgálat során 19 fúrás mélyült le a holocén képződményekből indulva a negyedidőszak és a pannóniai képződmények határának harántolása, a negyedkori és felső-pannóniai képződmények egymáshoz való viszonyának jobb megértése érdekében. A fúrások közül egy nem érte el ezt a határt, a többiben pedig jól észlelhető üledékhézag, diszkordancia van a negyedidőszaki és a felső-pannóniai képződmények között. A Tengelici Formációt e

fúrások közül 10 érte el, s megtalálható még két mélyfúrásban és az árok-előkészítő fúrások közül négyben is.

5.1.3. Földtani fejlődéstörténet

A területen a medencealjzatot a Mecsek-környéki területekről ismert, granitoid képződmények, valamint a Görcsönyi-hátság területéről ismert muszkovit-biotit gneisz alkotja. Erre a metamorf aljzatra a jelenlegi ismeretek szerint először a perm időszakban kerültek üledékek. A folyóvíz által szállított anyag oxidatív környezetet jelző vörös homokkőves kifejlődésben található meg.

E perm vörös homokkőves összletre folyamatos átmenettel települ a transzgresszív alsó- és középső-triász rétegsor. Kezdetben még ebben is a folyóvízi jelleg és a vörös szín az uralkodó, csak magasabb szintjeiben jelennek meg előbb a zöld, majd a szürke, reduktívabb jellegű üledékek. A delta-sekélytengeri, majd lagúnás kifejlődéseket hiperszalin képződmények követik, később pedig a tengeri viszonyok állandósulnak.

Az újabb jelentős mértékű üledékképződéssel járó ciklus kezdő szakasza, a felső-triász üledéksor a területen nem ismert, azonban részben a tengelici, részben a tolnanémedi jura kifejlődések fekvőjében feltételezhető jelenléte.

A jura időszakra utaló kevés adat az üledékek kifejlődésében a mecsekihez hasonló, teresztrikus képződési körülmények szerepét látszik megerősíteni. Nem kizárt, hogy a medencealjzatban a mecseki kőszéntelepes összletnek megfelelő képződmények is megtalálhatók.

Helyenként kevés, a kréta időszaki vulkáni tevékenységre és egyidejű üledékképződésre utaló adat is ismert a területen. A kréta időszak és a miocén közötti hosszú időszakokban üledékképződésre utaló nyomok nincsenek. Ekkor a jelentős szerkezeti átrendeződéshez nagymértékű szárazföldi lepusztulás is társult.

A miocén elejétől kialakuló mély üledékgyűjtő vályúkba először durva törmelékes, teresztrikus üledéksor rakódott, amelyre intenzív vulkáni tevékenységet jelző képződménysor települt. Több szintben jelennek meg viszonylag közeli kitörési centrumokra utaló, változó összetételű vulkanit és vulkanoszediment képződmények. A vulkáni képződmények lerakódását helyenként csökkentsósvízi, édesvízi fáciesű üledékek betelepülése szakítja meg.

A középső-miocén folyamán a folyamatosan teret hódító tenger nyíltvízi és parti fáciesei is megjelennek a területen. Előbbit a foraminiferás agyagmárga, utóbbit a lajtamészko és a szenes agyag betelepülések jelzik. A későbbi időszakban a medence mélysége tovább csökkent, s egyidejűleg megszűnt a kapcsolata a távolabbi üledékgyűjtőkkel. Előbb hiperszalin, helyenként bepárlódó lagúnás üledékképződési viszonyok, majd fokozatos kiédesedés a jellemző.

Bár a vízzel borítottság állandó volt, az üledékképződési körülmények az egész Kárpát-medencére kiterjedő jelentős változásokon mentek át. A korábbi vízcsere, amely a Kárpátokon kívüli területekkel addig kölcsönös volt, előbb egyoldalúvá vált, majd meg is szűnt. Az elzáródott és fokozatosan csökkenő sótartalmú beltengerben előbb agyagmárgás képződmények rakódtak le, majd a beáramló durvább törmelékanyagot a beltő áramlásai szétteregték.

Ezt követően a Pannon-tóban előbb a hullámbázis alatti, nagyobb parttávolságot jelző képződmények, később sekélyebb vízi, a hullámbázis által már időnként felkavart és újraülepített üledéksorok rakódtak le.

A felső-pannóniai képződmények keletkezése idején tovább csökkent az üledékgyűjtő mélysége, de a vizsgált területen mocsári körülmények nem alakultak ki. A felső-pannóniai

legvégének üledékei a területről hiányoznak, a pleisztocén rétegsor mindenütt hiányos pannóniai üledékekre települ.

A negyedidőszak folyamán a legjellemzőbb üledékképződés a löszképződés volt, melynek termékei több szintben és kifejlődésben ismertek a területen. A klimatikus és szélenergetikai körülmények változásának függvényében nagy mennyiségű finom homok és kőzetliszt került a területre, amelyet a melegebb időszakokban talajképződés szakított meg. A lösz-paleotalaj sorozat jól korrelálható a globális klímacyklusokat mutató tengerioxigén-izotóp görbével. A pleisztocén végén a területen megjelent a Duna, s mint építő és romboló erő, meghatározójává vált a terület nagy része üledékképződési viszonyainak. A terület mai domborzati képezének kialakulását az egykor és jelenleg működő geomorfológiai folyamatok magyarázzák (TBJ II. [5.1.3-1. ábra](#)).

5.1.3-1. táblázat: Az FKP végrehajtása során lemélyített mélyfúrásokban harántolt képződmények

Kor - formáció	PAET-26	PAET-27	PAET-29, 29/1, 29P	PAET-30	PAET-34, 34P	PAET-35, 35/1
Qh	0,80					
Qp-h	1,90				14,65	
Qp				38,80		
Pl-Qp ₁ Tengelici	13,70	26,0				
Pa ₂ Újfalui	448,80	356,9	597,00	209,41	399,95	
Pa ₁₋₂ Algyői		416,3		477,00	568,48	
Ms-Pa ₁ Endrődi	500,60			515,82	675,64	847,70
Pa ₁₋₂ Békési				523,00		
Ms Tinnyei		433,7	636,85			
Mb Lajtai		480,8	723,60		699,50	879,20
Mk Budafai						915,40
M ₁ Mecseki			1951,33		1224,9	
Mo Szászvári		919,05			1526,20 1786,70 1832,95	1518,76
Mo Gyulakeszi					1499,20 1546,17 1832,46	
K ₁				586,69		
J ₁		839,2				
T ₂				565,20		
T ₁				601,33		
Pz	560,00				1867,80	

Rövidítések: Qh= Holocén; Qp-h= Pleisztocén-holocén; Qp= Pleisztocén általában; Pl-Qp₁= Pliocén–alsó-pleisztocén; Pa₂= Felső-pannóniai; Pa₁₋₂= Alsó–felső-pannóniai; Ms-Pa₁= Szarmata–alsó-pannóniai; Pa₁₋₂= Alsó–felső-pannóniai; Ms= Szarmata; Mb= Bádén; Mk= Kárpáti; M₁=alsó-miocén; Mo= Ottnangi; J= Jura; Pz=Paleozoikum

5.1.3-2. táblázat: Az FKP végrehajtása során lemélyített sekélyfúrásokban harántolt képződmények

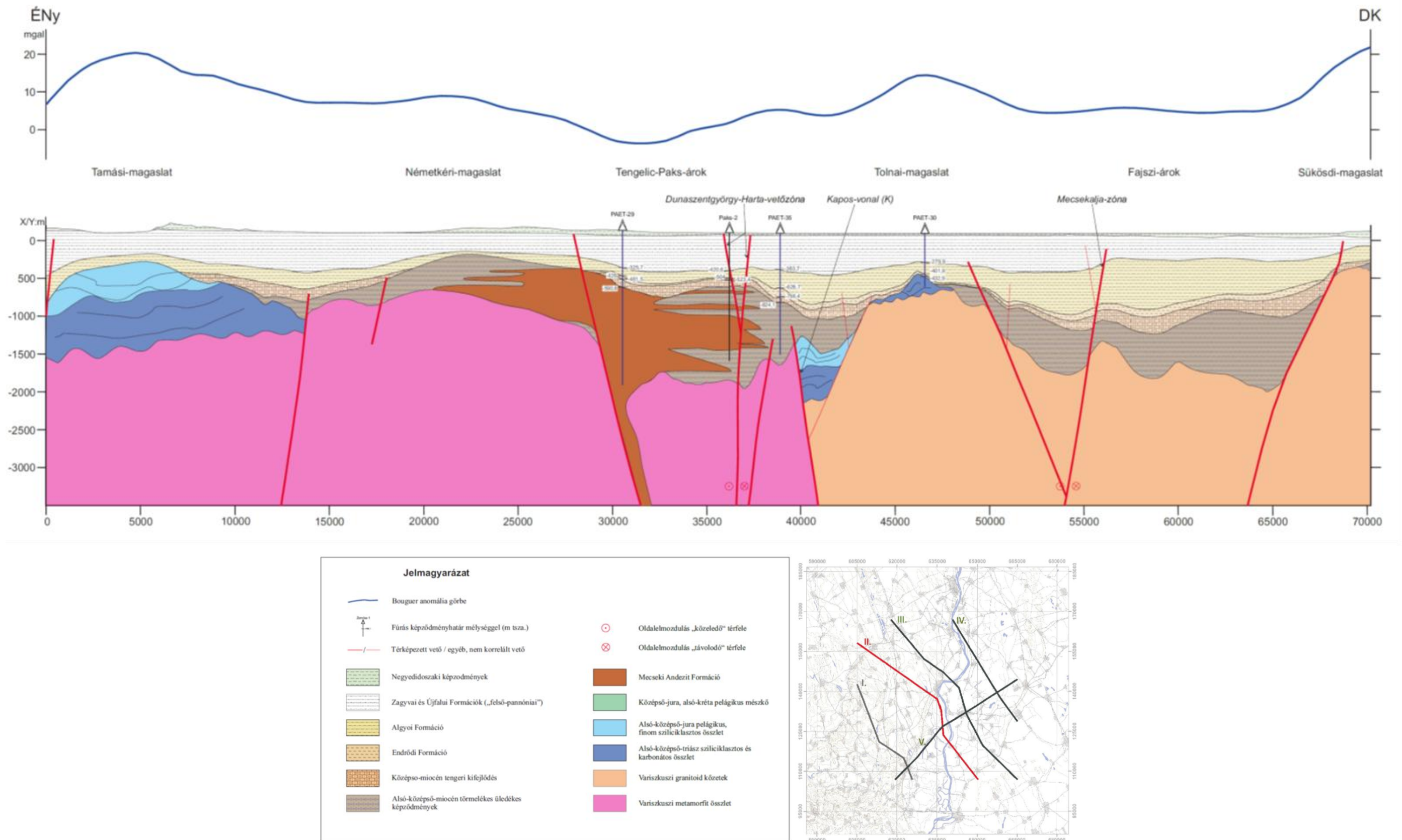
	PAET-1	PAET-2	PAET-3	PAET-4	PAET-6	PAET-7	PAET-8	PAET-9	PAET-10	PAET-11	PAET-12	PAET-13	PAET-15	PAET-17/1	PAET-18	PAET-20	PAET-21	PAET-22	PAET-23
Qh	0,75	1,20	0,20	1,70	0,75	0,70	0,20	1,20		0,41	2,25	0,9	0,4	0,55	0,62	3,55	2,05	3,7	2,34
Qp-h						10,7			92,9			29,15	86,05		30,6	81,6		12,2	
Qp	58,30	51,0	53,40	11,35	57,00	19,8	9,15	85,25		73,60	47,40			78,75			38,2	86,9	62,0
PI-Qp ₁ Tengelici	101,5	61,90	62,35	2,10		27,3		97,0		78,80				80,4			62,55		71,79
Pa ₂ Újfalui		100,0	101,5	100,0	100,0	100,0	101,5	101,5	100,00	101,50	100,00	101,5	100,0	100,00	100,00	100,0	100,0	100,0	101,50

Rövidítések: Qh= Holocén; Qp-h= Pleisztocén-holocén; Qp= Pleisztocén általában; PI-Qp₁= Pliocén–alsó-pleisztocén; Pa₂= Felső-pannóniai

5.1.3-3. táblázat: Az FKP végrehajtása során lemélyített telephelyi földtani fúrásokban harántolt képződmények

	I-6-D	II-2-D	II-6-D	III-6-D	IV-6-D	IV-2-D	V-6-D
Qh	3,70	6,90	5,45	5,60	7,15	4,60	28,05
Qp-h	27,60	27,60	26,20	28,50	28,00	25,80	7,00
Pa ₂ Újfalui	130,00	131,50	131,45	131,50	130,10	130,00	130,00

Rövidítések: Qh= Holocén; Qp-h= Pleisztocén-holocén; Pa₂= Felső-pannóniai



5.1.3-1. ábra: Földtani szelvény ÉNy–DK irányban, amely a kutatási terület fő rétegtani egységeit és a vetőket mutatja

5.2. Geofizika

5.2.1. A telephely környezetének geofizikai és tektonikai jellemzése

A paksi telephely és környezete tektonikai viszonyainak hiteles megismerése érdekében az elmúlt 25 év során több alkalommal is szükség volt a geofizikai és geológiai adatok integrált feldolgozására, s ezúton a tudomány mindenkori csúcs-szintjén álló tektonikai modell megalkotására.

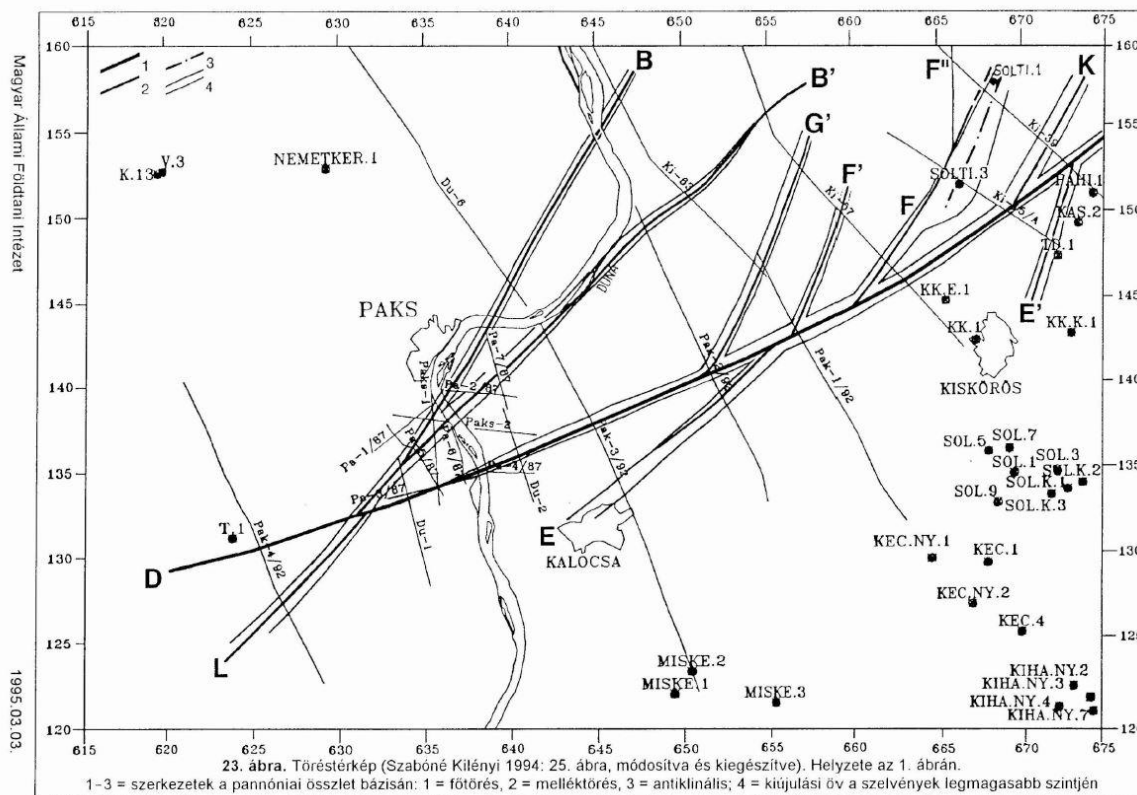
5.2.1.1. Tektonikai helyzetkép a telephely vizsgálat kezdetét megelőzően

Az 1980-as évek második felében végzett célirányos szeizmikus szelvényezések és fúrások alapján már a 1990-es évek elején világossá vált, hogy "...Paks alatt húzódik át DNY-ÉK-i irányban az ország medencealjzatának legnagyobb jelentőségű töréses öve..." [5-23]. Ugyanerre a következtetésre jutottak más tanulmányok is [5-24][5-25], sőt az újabb ipari adatokat is figyelembe vevő feldolgozás [5-26] a korábbi térképezéseket megerősítve adta meg a vizsgált terület szempontjából fontos Kapos-vonal és az abból kiágazó vetőágak lefutását (TBJ II. 5.2.1.1-1. és 5.2.1.1-2. ábra).

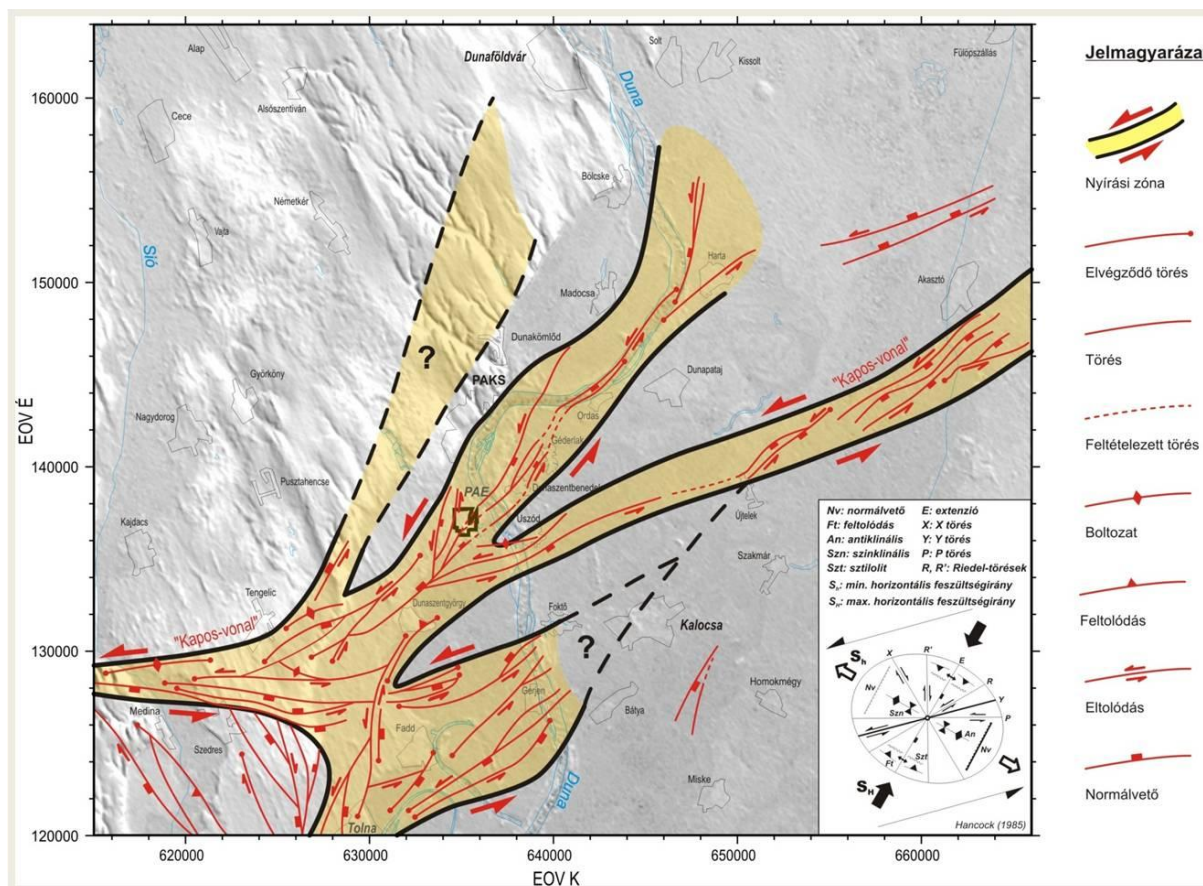
Az elemzések és értékelések során ellentétes vélemények a terület neotektonikai aktivitásának kérdésében alakultak ki. Az álláspontok alapvetően a vetők működési korának és a felszíni elvetés képességének (kapabilitás) megítélésében különböztek. Két markánsan ütköző vélemény jelentős publicitást kapott, amikor egyes szakértők megkérdőjelezték a tektonika negyedidőszaki aktivitását alapvetően a szeizmikus szelvények alapján, amelyekeken leképezési és feldolgozási hibákat véltek felfedezni [5-27]. Mások a leképezés és feldolgozás hibáinak általánosítását szakszerűtlennek tartották és amellet érveltek, hogy a nagyfelbontású vízi szeizmikus mérések (TBJ II. 5.2.1.1-3. ábra) bizonyítják a tektonikai aktivitás folytatódását a negyedidőszak során [5-28].

Az ellentétes értelmezés lehetősége valójában abból adódott, hogy sem a geológiai térképezéssel és fúrásokkal, sem pedig geofizikai mérésekkel a terület legfiatalabb (negyedidőszaki) képződményeit ért deformációk nem voltak jól leképezhetők. Figyelembe véve a vetőkkel markánsan érintett pannóniai rétegek és az azt fedő vékony negyedidőszaki összlet közötti több millió éves időrétegtani hiányt, a szerkezetek korának megítélése, s ezúton a vetődések menti oldalirányú elmozdulás mértékének a meghatározása komoly kihívást jelent mind a mai napig a kutatás számára.

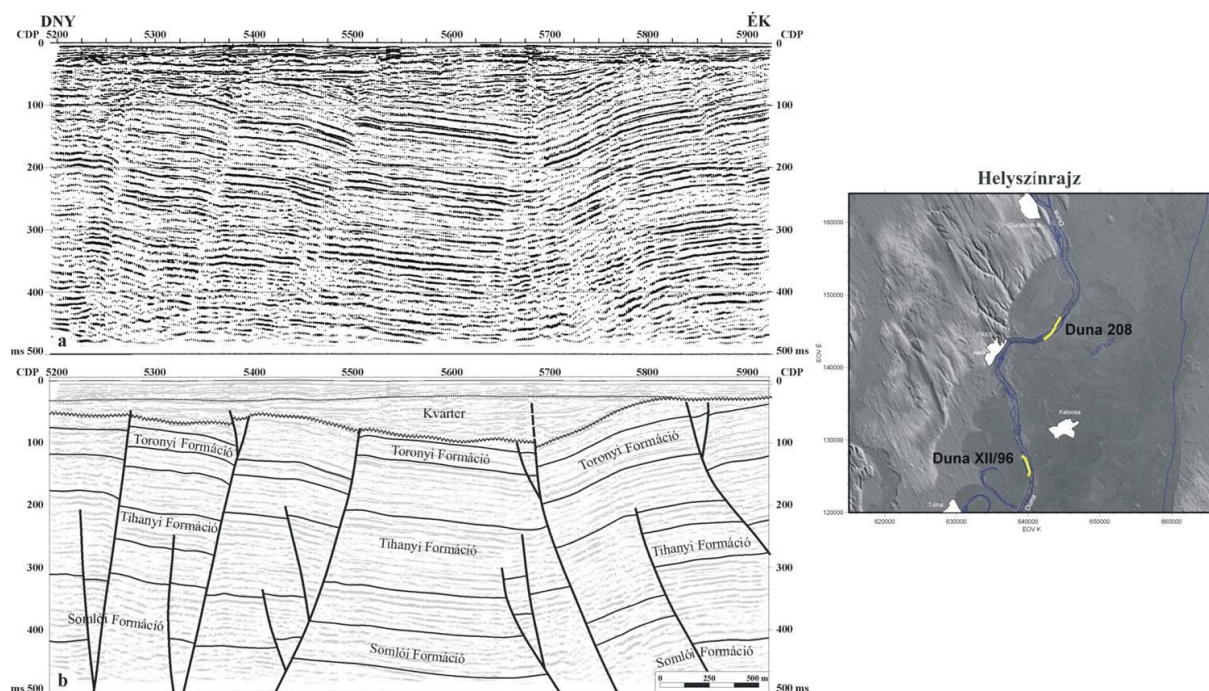
Az 1990-es évek közepén a brit Ove Arup & Partners International cég vizsgálatai [5-29] során arra a megállapításra jutott, hogy a telephely alatti pannóniai képződményeket feldaraboló törészóna nagy valószínűséggel nem tekinthető aktívnek. Azonban a kis valószínűséggel bekövetkező események lehetőségének adekvát kezelése miatt a vetőműködés negyedidőszaki felújulásának valószínűségét 10%-nak tételezték fel a probabilisztikus földrengés-veszélyeztetettség analízis során.



5.2.1.1-1. ábra: Vetők térképe az 1990-es ismeretek szerint [5-23]



5.2.1.1-2. ábra: Vetők térképe a 2005-ös ismeretek szerint [5-26]



5.2.1.1-3. ábra: A fiatal (negyedidőszaki) tektonikai aktivitás lehetőségét mutató Duna-208 jelű archív vízi szeizmikus szelvény [5-28]

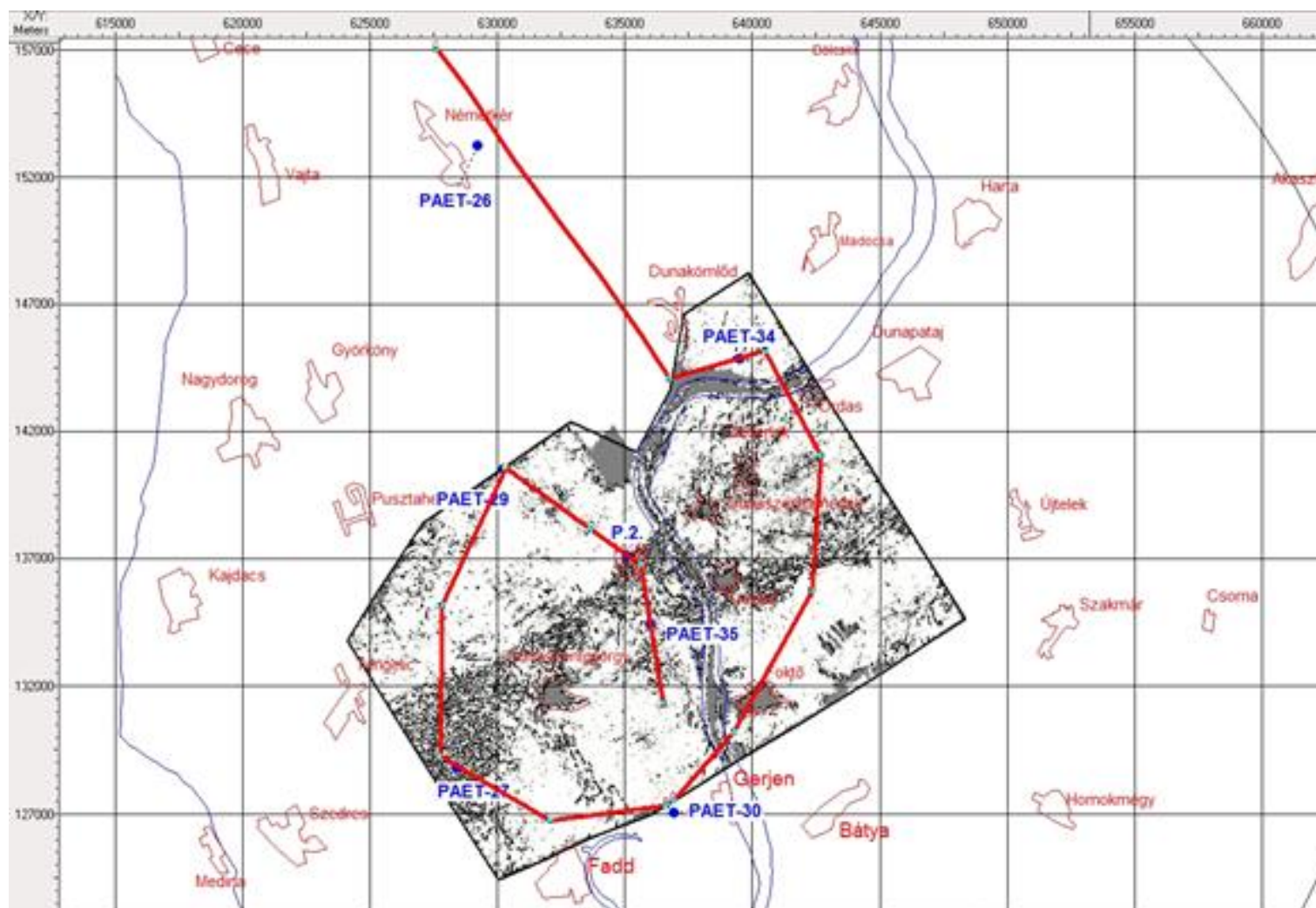
5.2.1.2. A telephelyvizsgálat keretében született új adatok és eredmények

5.2.1.2.1. A 3D SZEZMIKUS MÉRÉS ÉS KITERJESZTETT ÉRTELMEZÉS

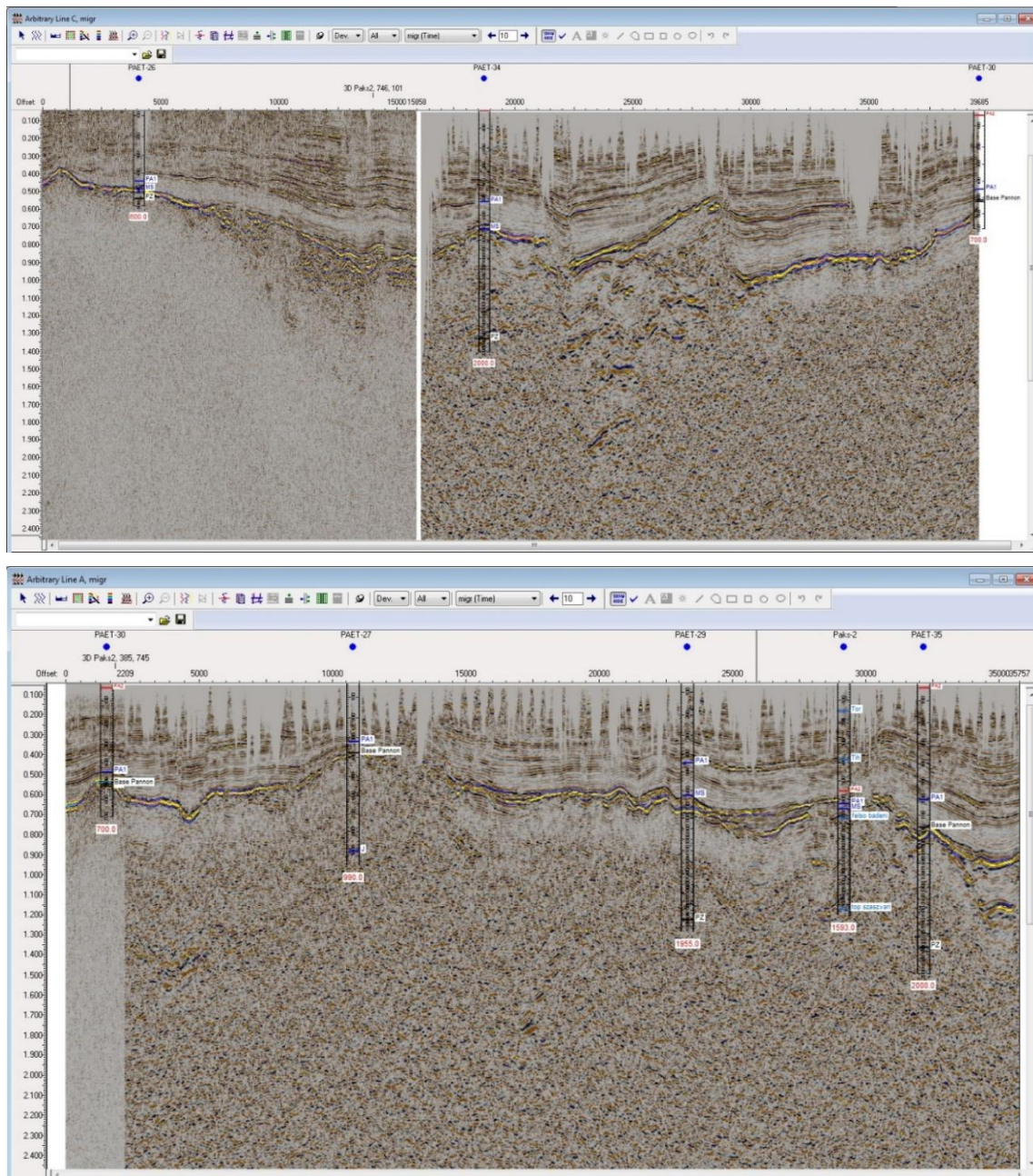
A 3D mérés területét mutatja a TBJ II. [5.2.1.2-1. ábra](#). Ezen kék jelöléssel az új fúrások (PAET-26, -27, -29, -30, -34 és -35) elhelyezkedése, piros vonallal pedig egy a következő ábrákon ([5.2.1.2.1-1. a és b ábra](#)) bemutatásra kerülő, a fúrásokat összekötő “szlalom-vonal” helyszínrajza látható. Ezen túlmenően nagy jelentősége van a 3D mérési területen belül látható sötétszürke sávoknak, amelyek a 3D adattömbből számított koherencia-kocka 450 ms időmélységben képzett metszetét mutatják. Ezek alapvetően azokat a sávokat jelölik ki, ahol vetődések jelenléte miatt az egyes csatornák közötti hasonlóság (koherencia) megváltozik [[5-30](#)][[5-31](#)].

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a területet bonyolult szerkezetű vetőzónák szabdalják, amelyek egyszerűsített képét a korábbi értelmezések jól vázolták fel (TBJ II. [5.2.1.1-1.](#) és [5.2.1.1-2. ábra](#)).

A TBJ II. [5.2.1.2.1-1. a ábra](#) a szlalom-vonal első felét mutatja, amely a 3D mérés területén kívüli PAET-26 fúrástól indul, egy 2D vonal mentén éri el a 3D adattömböt, amelyen keresztül haladva köti össze a PAET-34 és -30 jelű fúrásokat. A szelvény jól illusztrálja azt, hogy a 3D mérés jelentősen jobb leképezést nyújt, elsősorban az aljzatra. Ugyanakkor a 3D adatfelvétel területén a fiatal vetők is markánsan kirajzolódnak. A szlalom vonal 25 000 és 27 000 méter szakaszán a fővető (Kapos-vonal), míg a 22 000 és 25 000 méter közti szakaszán a vető Ordas irányába történő kiágazása látható.



5.2.1.2-1. ábra: A 3D szeizmikus mérés területe és az 5.2.1.2.1-1. a és b ábrában bemutatott, az új fúrásokon áthaladó szlalom-vonal helyszínrajza

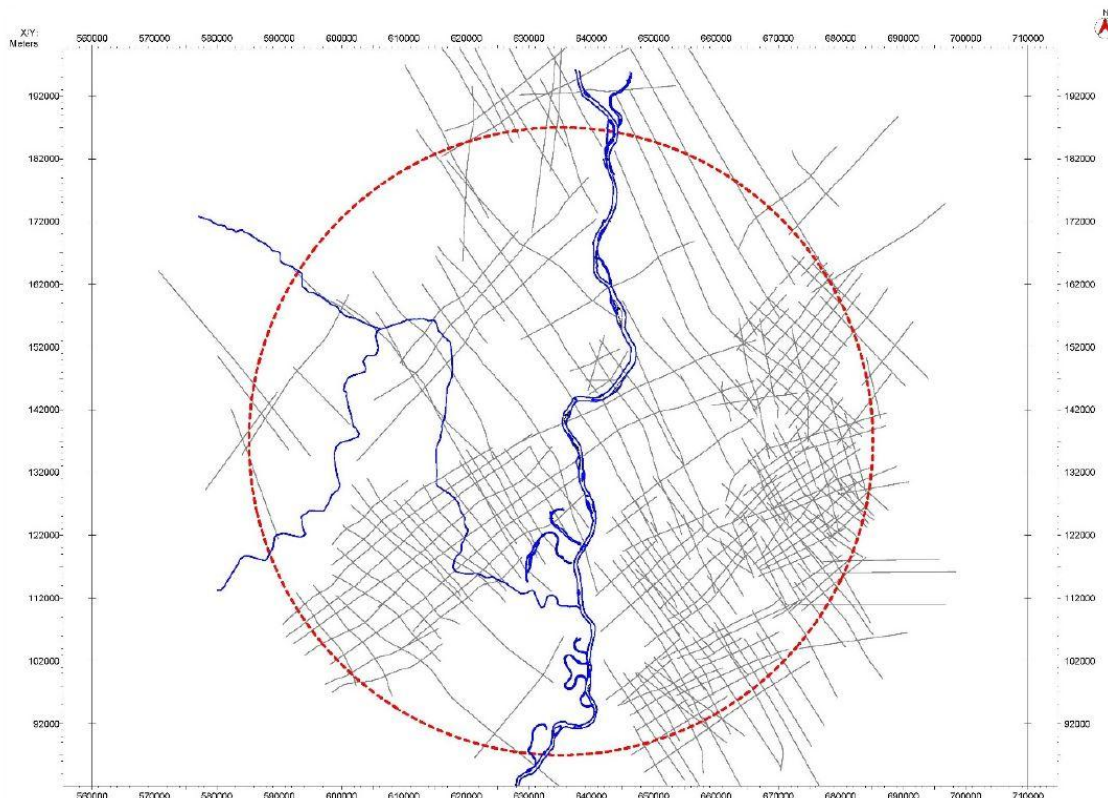


5.2.1.2.1-1. a és b ábra: A szlalom-szelvény első és második szakasza

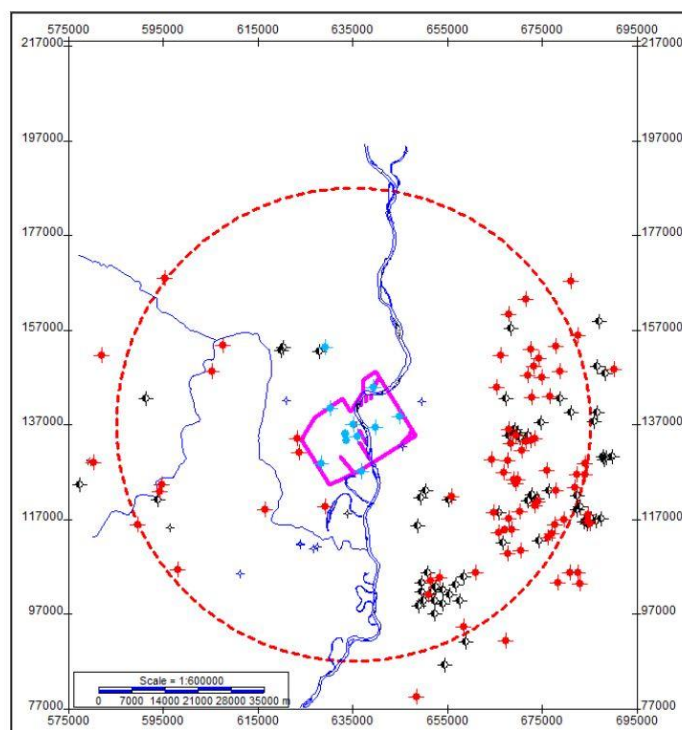
A TBJ II. [5.2.1.2.1-1. b ábra](#) a szlalom vonal visszakanyarodó folytatását mutatja, amely a PAET-27, -29, ezt követően a régi Paks-2 és az új PAET-35 jelű fúrásokat köti össze. Ugyanazt a vetőzónát kétszer is átszeli, a 27-es és a 35-ös fúrások közelében.

A 3D szeizmikus mérések eredményeinek értelmezése a vizsgált telephely 50 km-es sugarú körrel kijelölt, kiterjesztett környezetére lett elvégezve. A felhasznált 2D szeizmikus szelvényeket és fúrásokat a TBJ II. [5.2.1.2.1-2.](#) és [5.2.1.2.1-3. ábrák](#) mutatják.

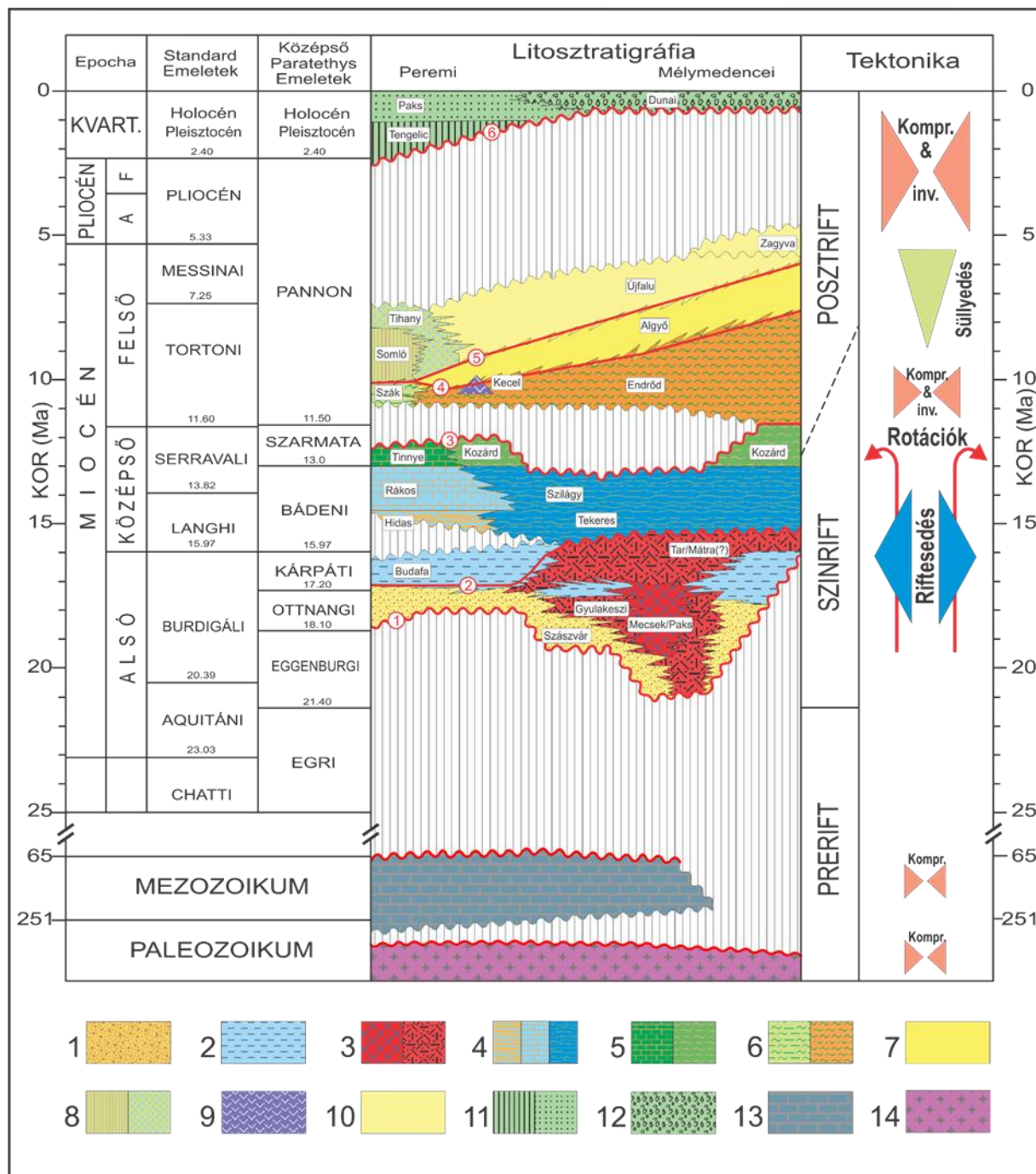
A térképezés célja a fő rétegtani egységek határának követése és az ezeket elnyíró vetők térbeli rendszerének meghatározása volt. Az időszelvényeken végrehajtott értelmezés után a kapott térképek sebesség információk alapján mélységskálára lettek átranzformálva, annak szigorú figyelembevételével, hogy az értelmezett réteghatárok egyezzenek meg a fúrásokban megismert tényleges réteghatárokkal. A térképezett fő rétegtani egységek definícióját és a választás rétegtani-tektonikai indoklását a TBJ II. [5.2.1.2.1-4.](#) és az [5.2.1.2.1-5. ábra](#) illusztrálja [[5-71](#)].



5.2.1.2.1-2. ábra: A szeizmikus értelmezéshez felhasznált szelektált 2D szeizmikus szelvények nyomvonala

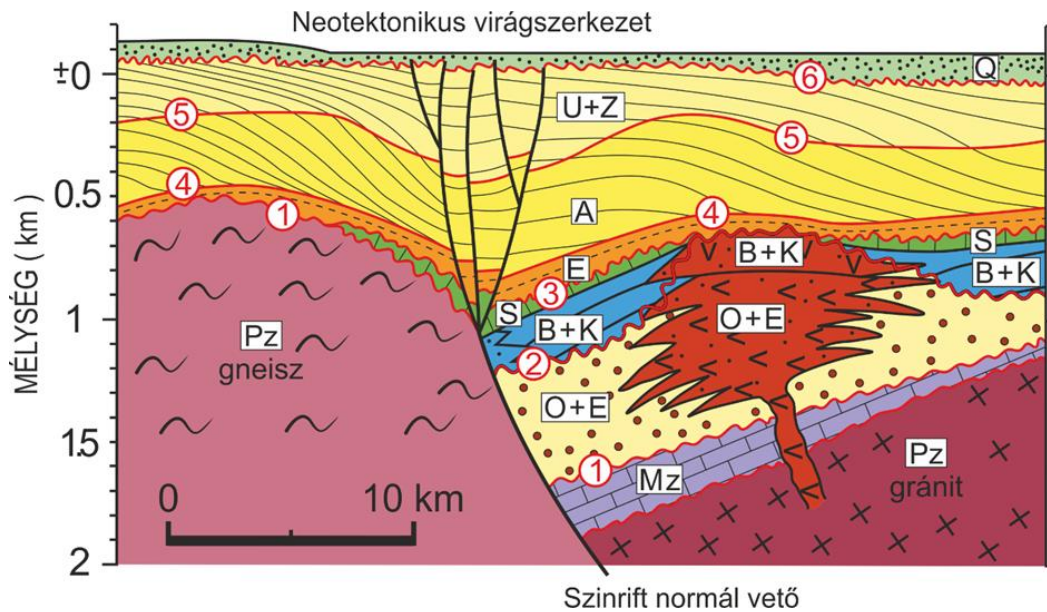


5.2.1.2.1-3. ábra: Az értelmezéshez felhasznált fúrások helyszínrajza. Fekete körök az alapinformációkat tartalmazó kutakat, a piros körök a mélyfúrási geofizikai szelvényekkel is rendelkező kutakat, míg a kék jelek a paksi új szerkezetkutató fúrásokat mutatják



1. tavi-folyóvízi képződmények 2. abráziós képződmények 3. szubvul-káni andezit, illetve riolit- és riodácit ártufa 4. tengerparti szenes-márgás képződmények és biogén mészkövek, illetve nyíltvízi aleurolitos-márgás és agyagmárga 5. brakkvízi biogén mészkő és homokos agyagmárga, mészmárga 6. tavi medenceperemi márga és nyíltvízi agyagmárga-mészmárga („alsó-pannon”) 7. tavi progradáló és aggradáló selflejtő képződmények („alsó-pannon”) 8. medenceperemi és mocsári agyagmárga, homok, lignit rétegek („felső-pannon”) 9. Keceli Bazalt Formáció 10. delta és alluviális síkságon képződött agyagmárga, aleurolit és homokkő („felső-pannon”) 11. Negyedidőszaki lösz-paleotalaj sorozat (Paksi Formáció) és alatta települő vörösagyag (Tengelici Formáció) 12. Felső-pleisztocén–holocén folyóvízi homok és kavicsos homok 13. Permo-mezozoos képződmények 14. Paleozoos kristályos kőzetek.

5.2.1.2.1-4 ábra: A kutatási terület képződményeinek áttekintő időrétegtani diagramja. A számozott (1-6) piros vonalak a 3D földtani modellben regionálisan térképezett horizontok időrétegtani helyzetét adják meg



A térképezett horizontok a következő határfelületek ill. unkonformitások: (1) a medencealjzat teteje, (2) M1 törmelékes miocén tető, (3) M2 tengeri miocén tető, (4) Endrőd tető, (5) Algyő tető, (6) Kvarter talp.

Q = negyedidőszaki képződmények; U+Z = „felső pannon” Újfalvai és Zagyvai Form.; A = „alsó pannon” Algyői Form.; E = mélymedencei pelitekből felépülő „alsó pannon” Endrődi Form.; S = szarmata képződmények; B+K = tengeri partszegélyi és nyíltvízi bádeni és kárpáti rétegek; O+E = alsó-miocén ottngai és eggenburgi törmelékes összlet; K+B = kárpáti Tari Dácittufa és bádeni Mátrai Andezit Form.; O+E = ottngai(?) és eggenburgi Gyulakeszi Riolituffa és Mecseki/(Paksi) Andezit Form.; Mz/Pz = mezozoos, illetve paleozoos aljzat.

5.2.1.2.1-5. ábra: A kutatási terület sematikus tektonosztatográfiai szelvénye és a 3D földtani modellben térképezett geológiai horizontok (1-6) definíciója

A szeizmikus és fúrási anyagok értelmezése alapján a terület tektonikai stílusának és eseményeinek története (tektonosztatográfia) a következőkben foglalható össze (TBJ II. 5.2.1.2.1-4. ábra).

Közel 20 millió évvel ezelőtt, a korai miocénben kezdődött el az akkor még a Belső-Dinaridákhoz kapcsolódó, változatos topográfiájú Tisza-Dácia térség riftesedése. A mezozoos-paleozoos aljzaton (1. unkonformitás) létrejövő tektonikus árkokat (TBJ II. 5.2.1.2.1-6. ábra) a nagy reliefenergiájú környezet lepusztulásával keletkezett tavi-folyóvízi törmelékes üledékek töltötték fel (Szászvári Formáció). Ezt a folyamatot a riftesedéshez kapcsolódó jelentős mértékű hőáram-növekedés és kéregolvadás miatti magmatizmus (Mecseki Andezit Formáció) kísérte, savanyú magmás láva kiömlésével és nagytömegű riolitos-dácitos vulkáni törmelék explóziójával (Gyulakeszi Riolituffa Formáció). Ennek eredményeként az idősebb aljzatra vastag szárazföldi törmelékes és vulkanoklasztikus sorozat települt, ami jellegzetes kaotikus reflexiós képe alapján szeizmikus szelvényeken általában jól elhatárolható az ezt követő, jól rétegzett tengeri üledékes kőzetektől. Az alsó riolituffák azonban nem határolhatók el a középső riolituffáktól (Tari Formáció), mert gyakran összefogazódva települnek és a határuk szeizmikusan nem jelölhető ki. Ezért a törmelékes üledékes sorozat tetején kijelölhető 2. unkonformitás felület értelemszerűen a vulkanoklasztikus képződmények tetején lett követve.

A kárpáti emelet elején a terület süllyedése olyan mértékűvé vált, hogy kapcsolat jött létre a Paratethys-tengerrel. A tengeri térhódítás általánossá vált és kezdeti partszegélyi fáciesű üledékek (Budafai Formáció, ld. TBJ II. 5.1.1. fejezet) mellett a bádeni során igazi pelágikus márgák képződtek regionális elterjedésben (Tekeresi és Szilágyi Formáció). Ezt követően a környező hegységek emelkedése miatt a tengeri kapcsolatok beszűkültek, majd megszűntek.

Ekkor képződtek a brakkvízi szarmata képződmények (Tinnyi és Kozárdi Formáció). A szarmatát követő időszakban az emelkedés és lepusztulás áterjedt a teljes medencére, sőt, kompressziós feszültségtérben tektonikai inverzió zajlott. Ennek következtében alakult ki a Pannon-medence üledékes összletének legmarkánsabb unkonformitása (3. jelű határfelület). Ez egyben a középső-miocén tengeri üledékes kőzetek felső határa is, mert ettől kezdődően alakult ki és virágzott fel a Pannon-tó.

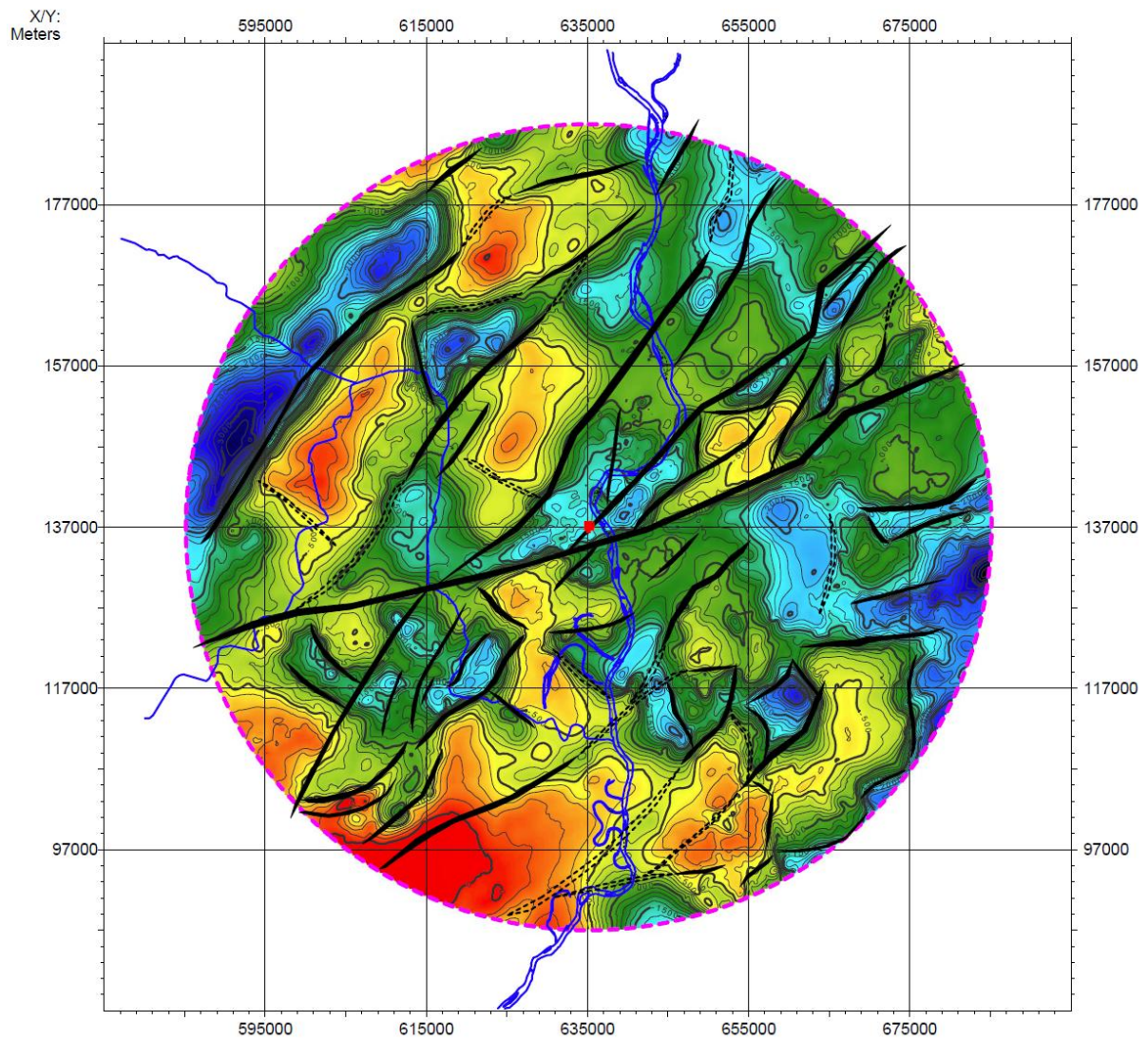
A Pannon-tó kialakulását az izolált medence gyors süllyedése alapozta meg. Ekkor egy tagolt topográfiájú, helyenként akár 1 000 méter mélységet elérő medencében az Endrődi Márga képződött, amelyik változó vastagságú lepelként fedte be a medence aljzatát, kivéve azokat a területeket, amelyek szigetként emelkedtek ki a tóból. Szeizmikus szelvényeken az Endrődi Márga teteje a mélyfúrás geofizikai szelvények és a furadék leírások alapján jól azonosítható (4. jelű határfelület). Érdekes jellegzetessége a területnek az ebben az időben képződött keceli bazaltvulkán, amelyet több fúrás is feltárt, és a szeizmikus szelvényeken térképezhető módon kirajzolódik.

Ezt követte a medence fokozatos feltöltődése a Paleo-Duna és Paleo-Tisza folyórendszerek által szállított nagytömegű sziliciklasztikus törmelékkel. A feltöltődés ÉNy-i, ill. ÉK-i irányból progradált D felé és a Pannon-medence szerbiai részén fejeződött be a pliocén során. Az előrehaladó és épülő lejtő előterében általában gravitációs eredetű turbidit testek alakultak ki, amelyek a viszonylag nagyobb mélységű medencékben akumulálódtak. A paksi kutatási terület a poszt-szarmata kiemelkedést követően környezetéhez viszonyítva lassan süllyedt, így aljzatmagaslat maradt, amelyet elkerültek a turbidites üledékfolyások. Az Endrődi Márgára közvetlenül a progradáló Algyői Formáció települ (TBJ II. [5.2.1.2.1-5. ábra](#) 5-ös felülete), amelynek szeizmikus és karotázs szelvények alapján szerkesztett tetőtérképét a TBJ II. [5.2.1.2.1-7. ábra](#) mutatja.

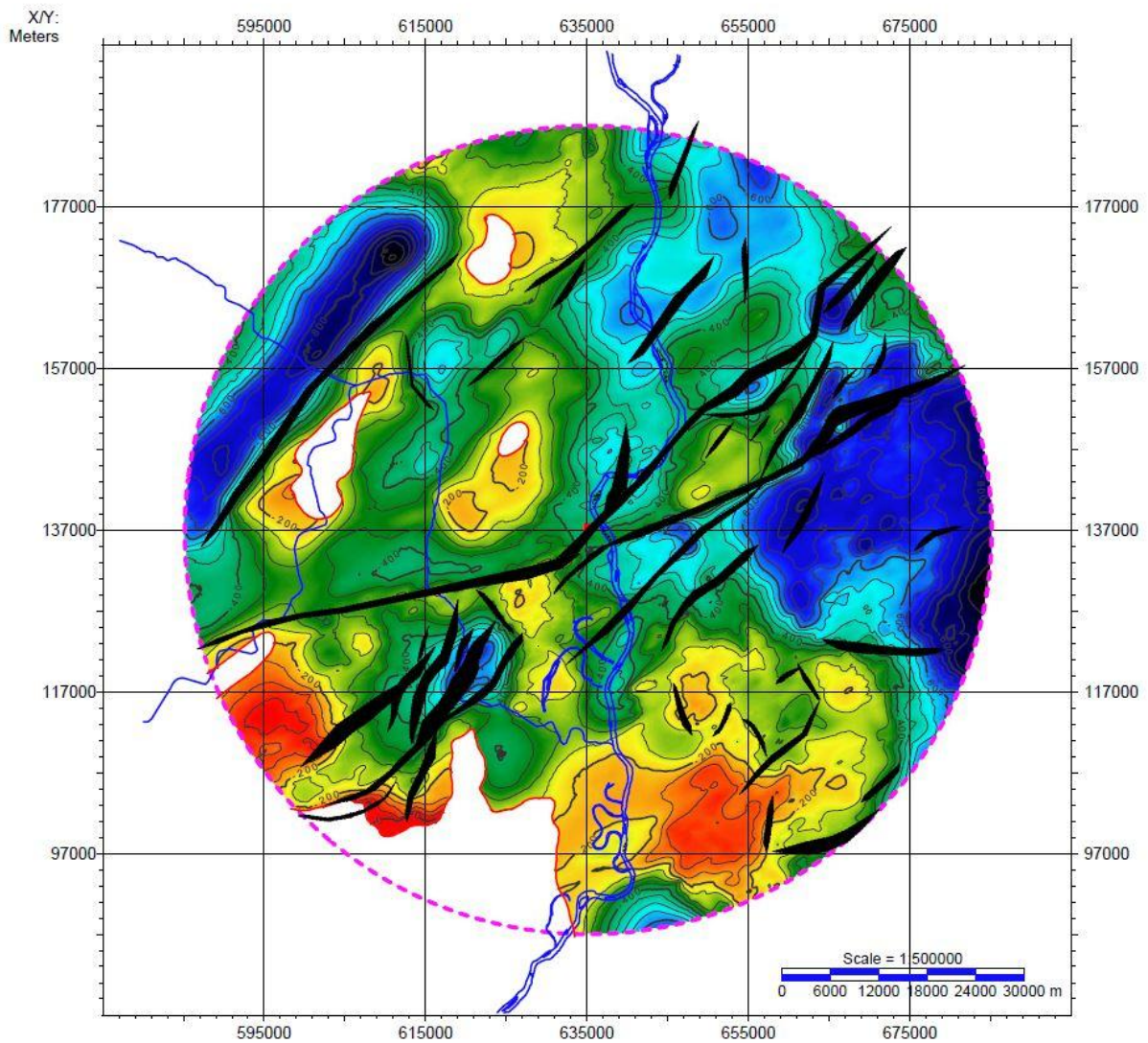
Ezt követően a feltöltött területeken a medence süllyedése egyensúlyban volt az üledék felhalmozódással. Ekkor a delta- és alluviális síkságon az Újfalui és Zagyvai Formáció ritmikusan váltakozó homokos-agyagos üledékei képződtek (ld. TBJ II. [5.1.1. fejezet](#)).

A pliocén elejétől kezdődően kompressziós inverzió indult meg, amely jelenleg is tart. A szélesebb paksi területen jelentős lepusztulás zajlott, amely a negyedidőszaki képződmények talpán kijelölhető regionális unkonformitás felületet hozta létre. Ennek mélysége 30 és 100 méter között változik. A neotektonikus inverzió során jelentős vertikális mozgások mellett a pannon üledékes kőzeteket harántoló virágszerkezetek jöttek létre, amelyek gyakran a miocén korú szerkezetekhez kapcsolódnak.

A 3D szeizmikus mérés és kiterjesztett értelmezés alapvető ismeretekkel gazdagította a terület fejlődéstörténetére vonatkozó tudást. Ezek közül legfontosabb a regionális kiterjedésű, fiatal tektonikai aktivitás eredményeképpen létrejött oldalelmozdulásos „virágszerkezetek” térképezése. A telephely 300 km² területű környezetében végzett 3D szeizmikus mérések igazolták és pontosították a korábbi kutatások alapján felvázolt fiatal vetőrendszereket, amelyek a szeizmikusan leképezett pannon rétegeket teljesen harántolják. Bizonyítást nyert, hogy a fiatal vetők balos oldalelmozdulással létrejött virágszerkezetek és a medence kialakulását inicializáló középső-miocén tektonikai elemek felújulásaiként jöttek létre.



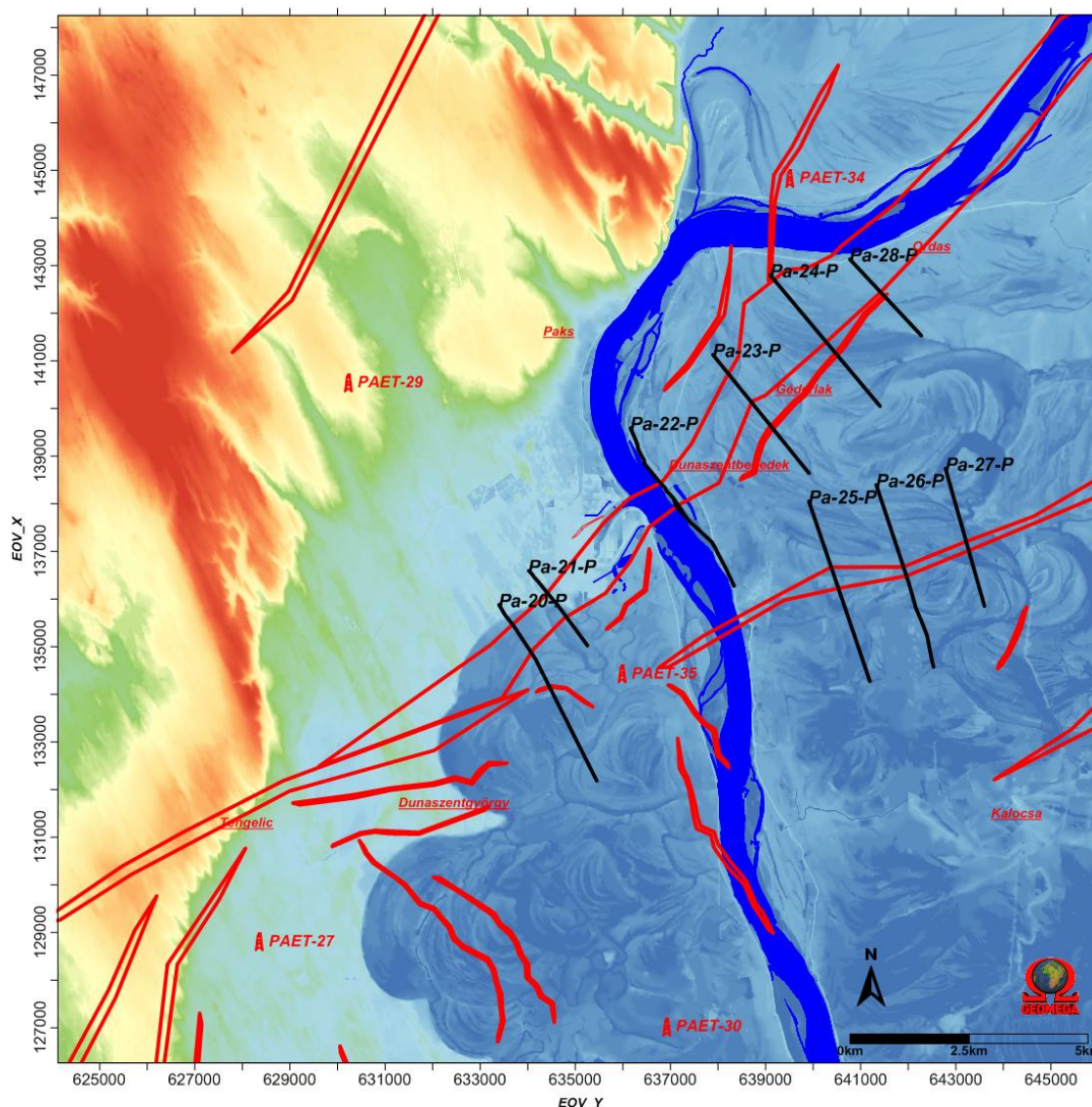
5.2.1.2.1-6. ábra: Az aljzat mélységtérképe és tektonikai vonalai [5-30]



5.2.1.2.1-7. ábra: Az Algyői Formáció tetejének mélységtérképe a fiatal vetők feltüntetésével [5-30]

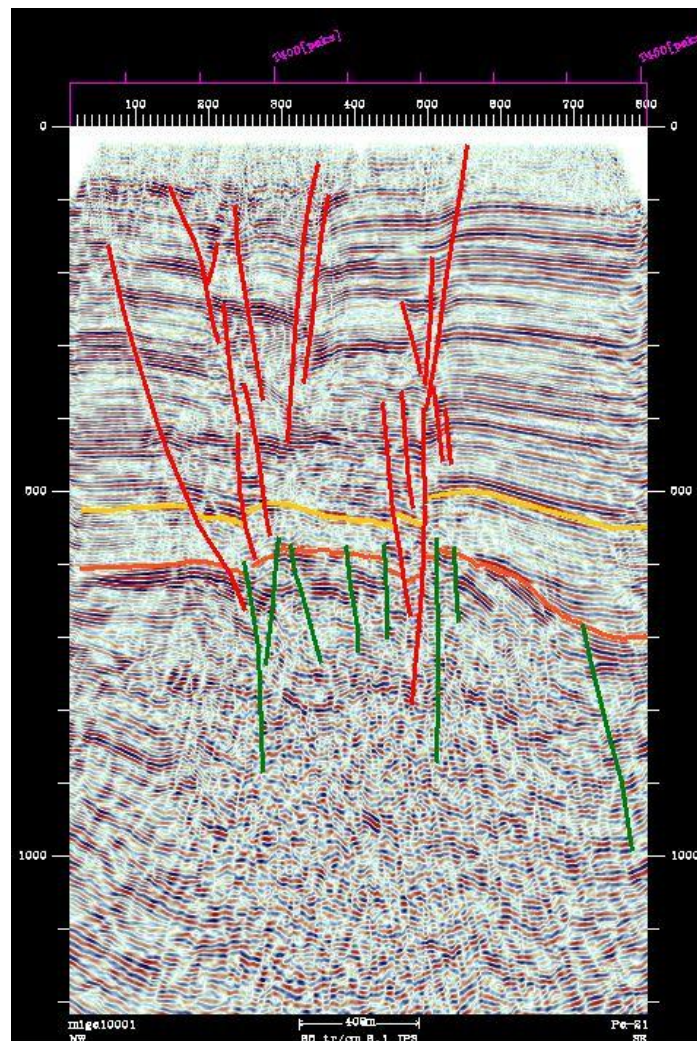
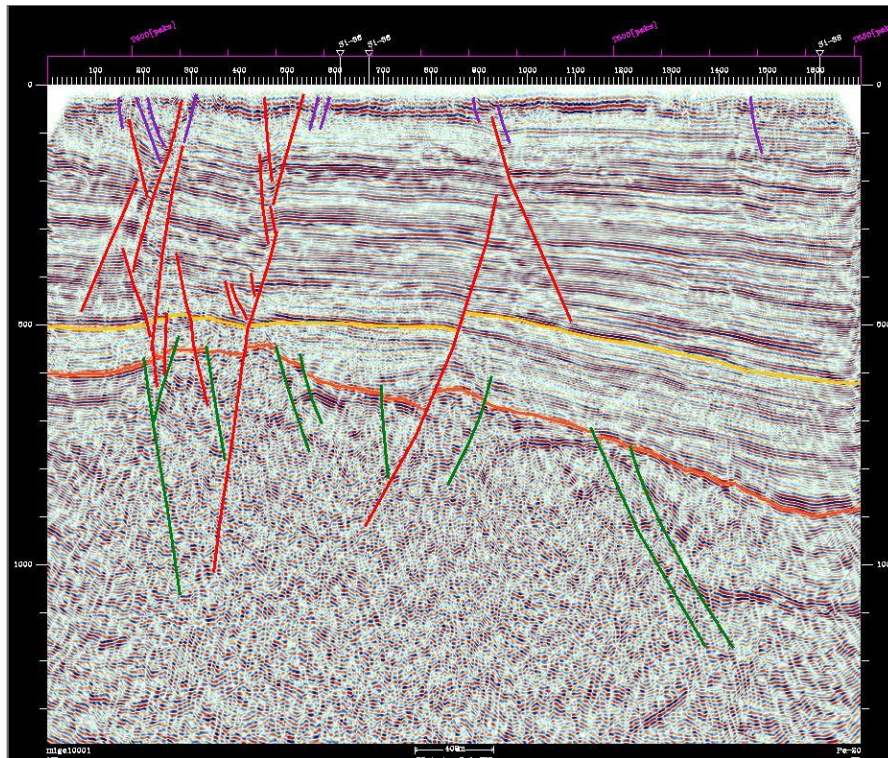
5.2.1.2.2. P-HULLÁM REFLEXIÓS SZEIZMIKUS SZELVÉNYEZÉS A FELSZÍNKÖZELI MÉLYSÉGTARTOMÁNY NAGYFELBONTÁSÚ LEKÉPEZÉSÉRE

Az [5-32] alapján készült a TBJ II. 5.2.1.2.2-1. ábrán látható szelvényezési helyszínrajz, amely 9 db szelvényt mutat (Pa-20-28), együttesen 30 km összhosszúságban. Ezen túlmenően az ábra a kiterjesztett szeizmikus értelmezés alapján (TBJ II. 5.2.1.2.1-7. ábra) piros vonallal lehatárolva a felszín közelébe hatoló vetők sávját is jelzi. A D-i vetőszegmensnek a „Kaposvonalat” jelzik, az ÉNy irányú kiágazást pedig Dunaszentgyörgy-Harta-vetőnek nevezik. Látható, hogy a szelvények célirányosan a vetők megismerésére lettek tervezve.

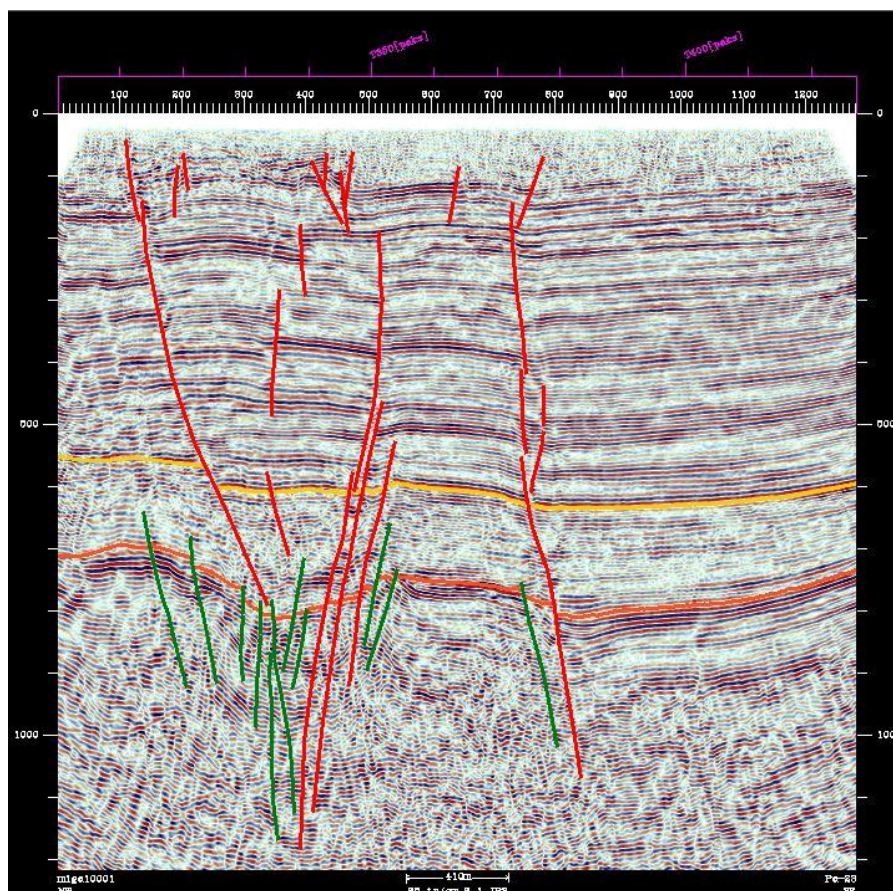
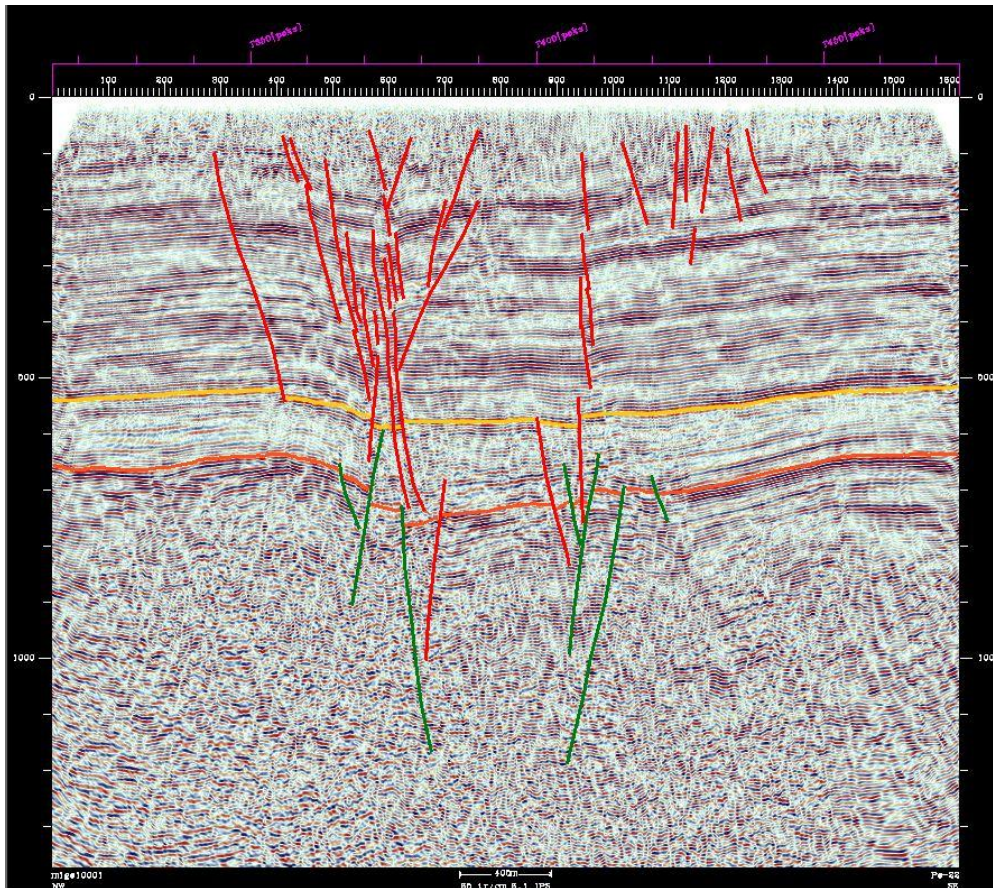


5.2.1.2.2-1. ábra: A szárazföldi P-hullám szeizmikus szelvények (fekete vonalak) helyszínrajza a fiatal vetők felszínre vetített sávjaival (piros poligonok)

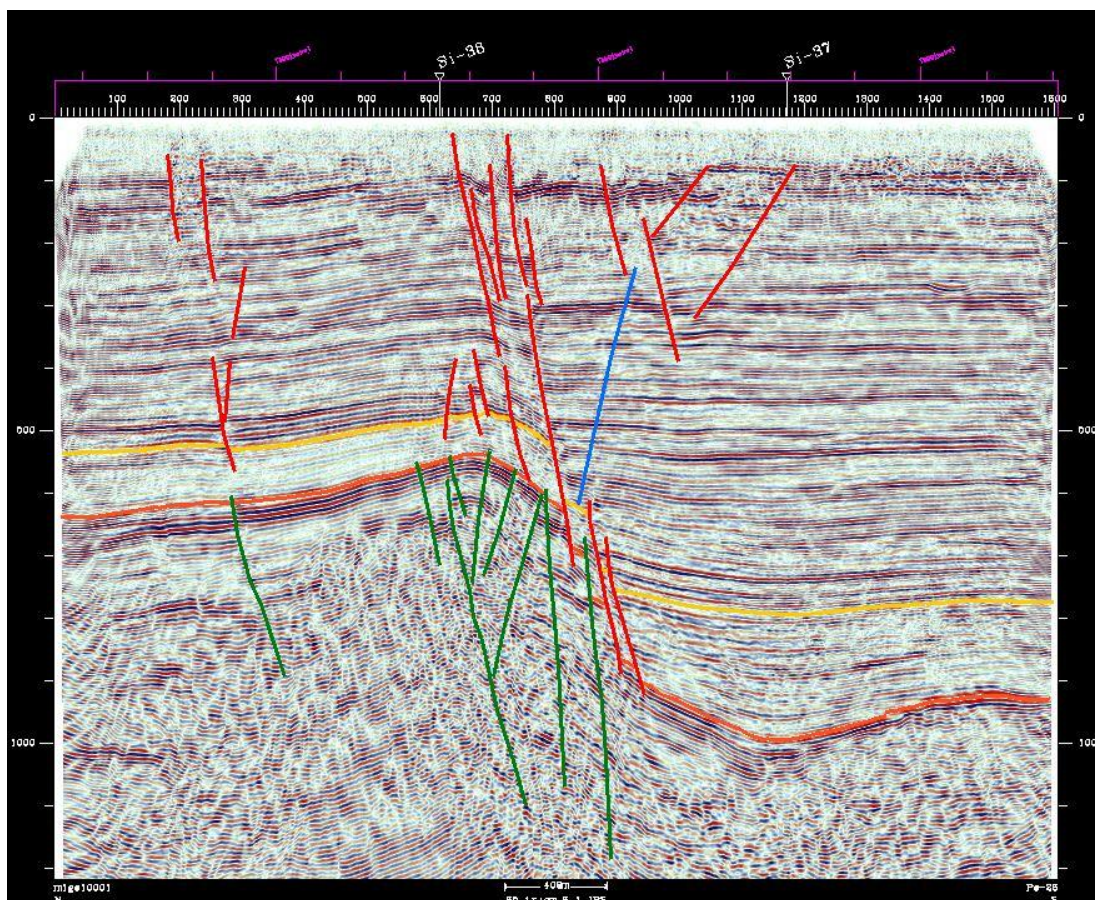
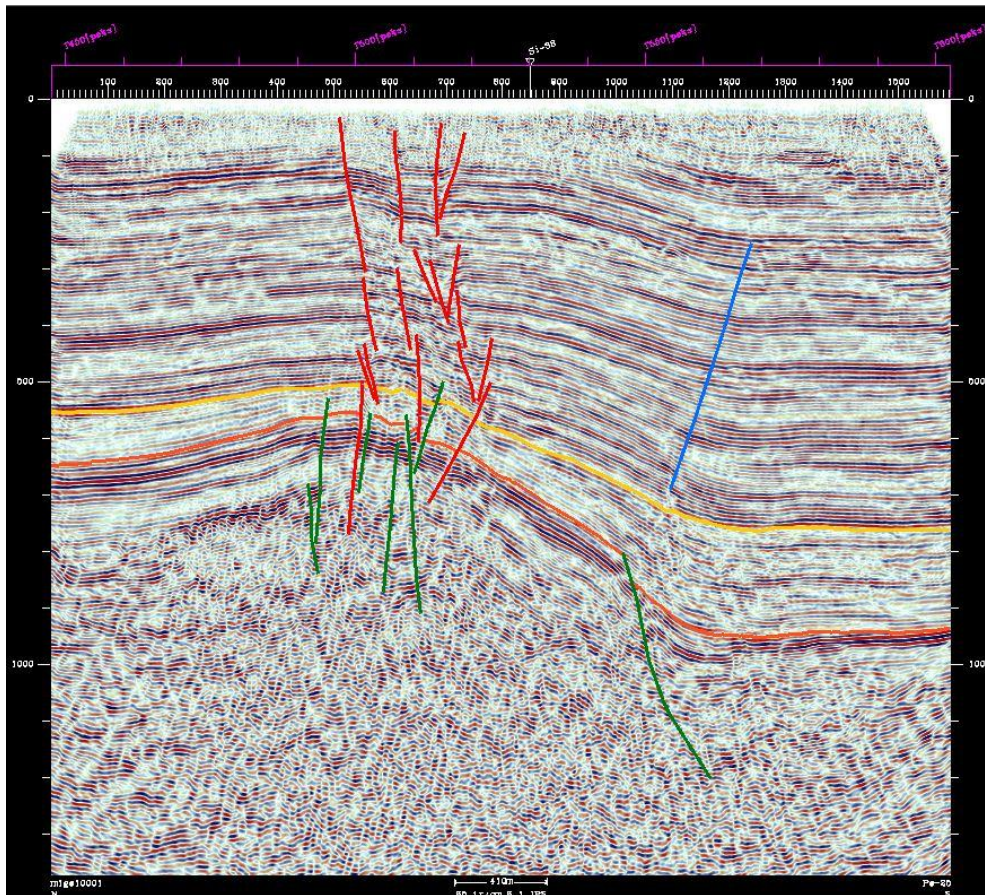
A következő ábrák illusztrációként 6 db értelmezett P-hullám szelvényt mutatnak, amelyek közül 2 db a Duna jobb partján, a telephelytől DNy-ra (TBJ II. 5.2.1.2.2-2. a és b ábra), 2-2 db pedig a Duna bal partján a fővető (TBJ II. 5.2.1.2.2-3. a és b ábra), ill. az Ordas irányába kiágazó mellékvető (TBJ II. 5.2.1.2.2-4. a és b ábra) felett helyezkedik el. Az értelmezett szelvényeken narancssárga színű horizont a középső-miocén összlet tetejét (a pannon bázisát), míg sárga az Algyői Formáció tetejét mutatja. A piros és zöld színű vonalak pedig a fiatalabb, ill. idősebb (pannon, ill. középső-miocént harántoló) vetőket jelzik.



5.2.1.2.2-2. a és b ábra: A Pa20 és Pa21 jelű értelmezett szelvények



5.2.1.2.2-3. a és b ábra: A Pa22 és Pa23 jelű értelmezett szelvények



5.2.1.2.2-4. a és b ábra: A Pa25 és Pa26 jelű értelmezett szelvények

A szelvények mélységskálája ms-ban van megadva, de a közel állandó 2 000 m/s sebesség miatt a pannonban 100 ms jó közelítéssel 100 m-nek felel meg. A horizontális skálán lévő értékek sem egyszerű távolságok, hanem a mérések technikai kivitelezéséből adódó ún. "közös mélységi pontok (CDP)". A valódi távolságot a szelvények legalján, középen megadott 400 méter hosszú szakasz mutatja.

A Pa20 jelű szelvény (TBJ II. [5.2.1.2.2-2. a ábra](#)) mentén a középső-miocén összlet felszíne (3. jelű unkonformitás, TBJ II. [5.2.1.2.1-4.](#) és [5.2.1.2.1-5. ábra](#)) 550-900 ms között jelölhető ki. Az összletet erősen töredezett képződmények alkotják a horizontális szelvényen 200-500 CDP pontok között, ahol kijelölhető egy a középső-miocén során létrejött szerkezet. Ennek látványos felújulását észlelhetjük olyan oldalelmozdulásos vetőrendszerként, amely a teljes pannon összletet harántolja. A szelvény legtetején (30-60 ms között) lévő reflexióköteg minden bizonnyal a pannon rétegsor tetejét jelzi és tektonikus érintettsége kétségtelen. Hasonló, de kevésbé markáns szerkezet észlelhető 900-1200 CDP pontok között is.

A Pa21 jelű szelvény (TBJ II. [5.2.1.2.2-2. b ábra](#)) az előzőtől 1000 m-re ÉK-re, vele párhuzamosan halad és ugyanazt a szerkezetet képezi le. Az idősebb miocén képződmények felszabdalt felszíne 600-700 ms tartományban észlelhető. A pannont harántoló virágszerkezetek több ágban is a felszín felé hatolnak és deformálják a 60-70 ms mélységig leképezett felső pannon rétegeket is.

A Pa22 jelű szelvény (TBJ II. [5.2.1.2.2-3. a ábra](#)) a Duna bal partján képezi le a fiatal virágszerkezet K-i folytatását. A pannon bázisa ismét 600-700 ms között jelölhető ki és ennek a középső részén széles, fiatal tektonikus zóna rajzolódik ki. A virágszerkezet az előző példákhoz hasonlóan újra egy idősebb miocén tektonikai zónában gyökerezik. A fiatal tektonika felszín felé való felhatolása markáns, de a fiatal tektonikai aktivitás korának pontos meghatározását a módszer felszínközeli (0-50 m) leképezésének korlátai határozzák meg.

A Pa23 jelű szelvény (TBJ II. [5.2.1.2.2-3. b ábra](#)) kb. 2 500 m-rel ÉK-re halad a Pa22 jelűtől. A középső-miocén képződmények felszíne a 700-800 ms időtartományban húzódik és vetők szabdalják. A fiatal virágszerkezet ehelyütt is széles (1 600-1 800 m), de egyszerűbb felépítésű.

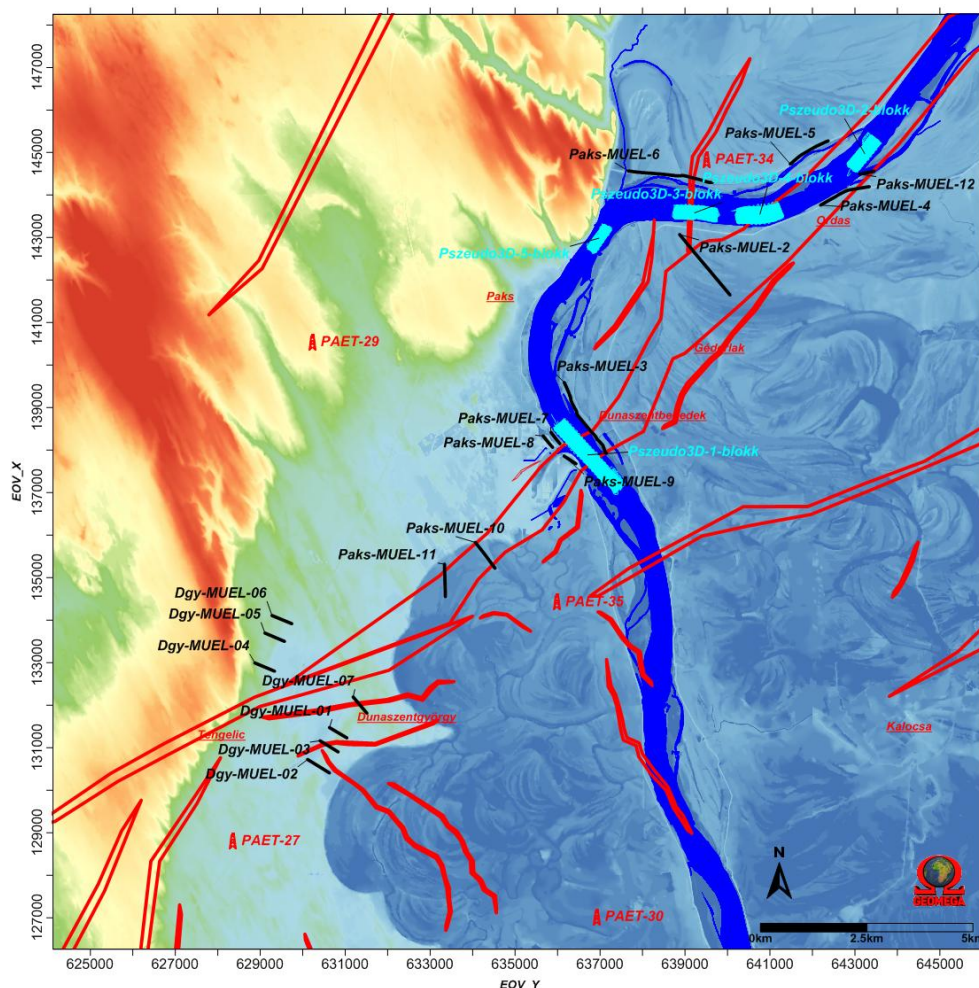
A Pa25 jelű szelvény (TBJ II. [5.2.1.2.2-4. a ábra](#)) a kutatási terület DK-i negyedében vizsgálja a terület szerkezeti felépítését. Az idősebb miocén képződmények felszíne 550-950 ms között azonosítható. Felszínét idősebb és fiatalabb tektonikai elemek szabdalják. Utóbbiak ismét a leképezett legfelső rétegekig (kb. 100 ms-ig) hatolnak fel.

A Pa26 jelű szelvény (TBJ II. [5.2.1.2.2-4. b ábra](#)) a Pa25 jelűtől kb. 1 500 m-rel keletebbre mutatja a terület szerkezeti felépítését. A középső-miocén képződmények felszíne É-on 550 ms mélységtől emelkedik, majd egy nagy vető mentén 900-1 000 ms közé süllyed. Ezen elvetés a középső-miocénben és a pannonban aktív törések együttes hatására jött létre. Az Algyői Formáció felszíne esetén ezen tektonikai zónában 250 ms-os elvetés azonosítható. A pannon üledékek szeizmikus rétegszerkezeti képe, beleértve az alsó-pannon képződmények vastagságát, a tektonikai zóna két oldalán teljesen más, ami jelentős oldalelmozdulásra utal. A szerkezeti elemek némelyike a legfiatalabb leképezett képződményekben is azonosítható.

A speciálisan tervezett P-hullám szeizmikus szelvényezés kiváló minőségben valósult meg és a vártak megfelelően a felszíntől számított 40-80 ms futási időnek megfelelő mélységig (40-80 m) a terület rétegszerkezetének nagyfelbontású leképezését adta. Ennek alapján megállapítható, hogy a 3D és ipari szeizmika alapján levezetett tektonikai kép (TBJ II. [5.2.1.2.1-6.](#) és [5.2.1.2.1-7. ábra](#)) hiteles és lényegesen gazdagodott a nagyfelbontású sekélygeofizikai kutatásokkal. A speciális P-hullám reflexiók mérések legfontosabb eredménye tektonikai szempontból az, hogy a fiatal vetőrendszerek a teljes pannon rétegsort harántolják, és felhatolnak a pannon összlet tetejéig, ami egy erőziónan lepusztult felület.

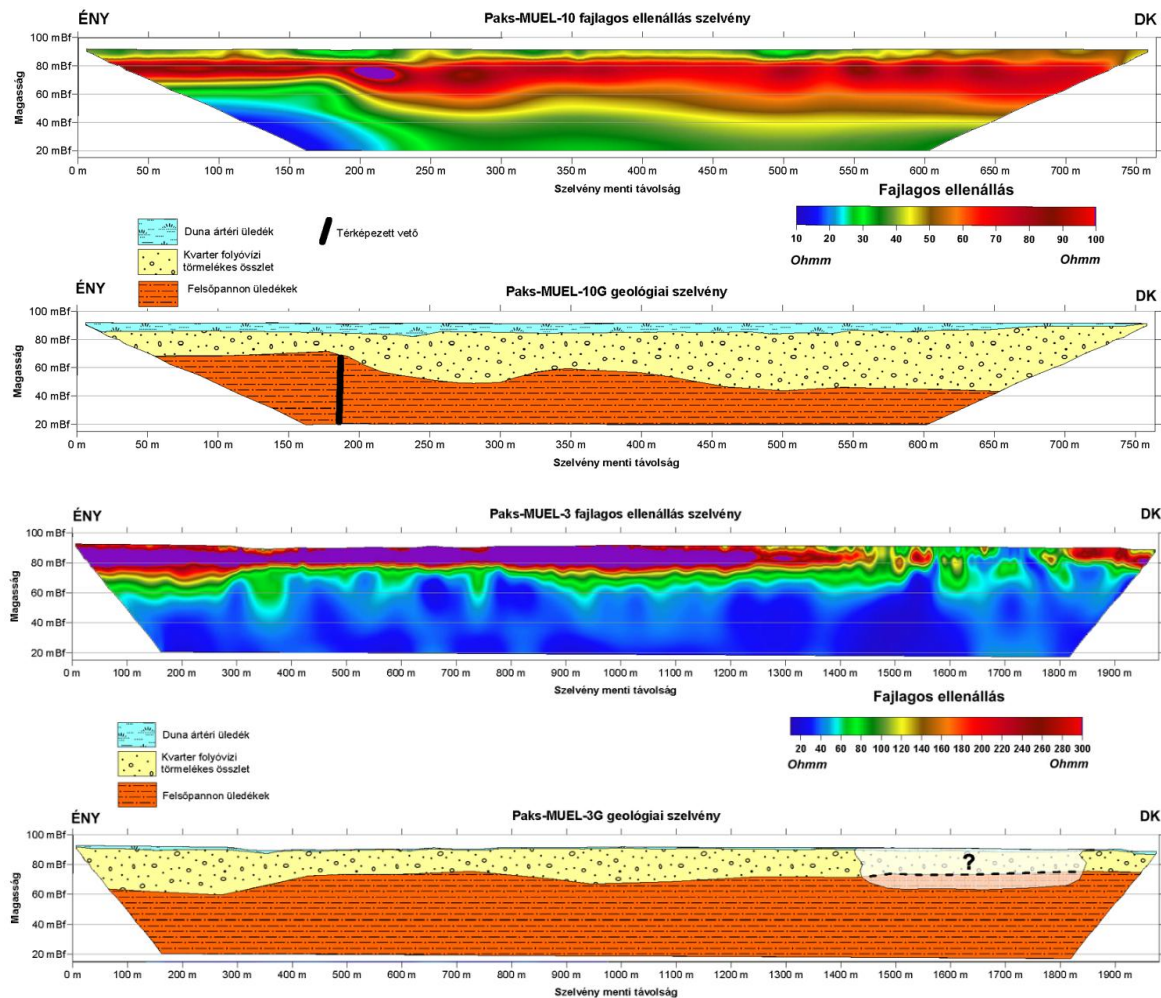
5.2.1.2.3. MULTIELEKTRODÁS GEOELEKTROMOS ÉS PSZEUDO-3D VÍZI SZEIZMIKUS MÉRÉSEK

A sekélymélységű tartomány további vizsgálata ezzel a két mérési módszerrel valósult meg. A multielektrodás geoelektromos (MUEL) tomográfias szelvényezés szárazföldi területen tudja leképezni a kőzetek elektromos fajlagos ellenállásának változásait, elvben a fizikai felszíntől néhányszor 10 m-es mélységig. A vízi szeizmikus mérésre a kutatási területen a Duna kínált jó lehetőséget, hiszen a térképezett vetők harántolják a folyó medrét (TBJ II. [5.2.1.2.2-1. ábra](#)). Speciális egycsatornás eszközzel, nagyfrekvenciás hanghullámok segítségével és néhány méteres szelvényközzel felvételezve a mederfenéktől néhány méter mélységig „pszeudo-3D” leképezés valósítható meg. Időigénye és technikai kivitelezésének bonyolultsága miatt ilyen sűrűségű felvételezést csak limitált terjedelemben lehet megvalósítani, ezért a mérésre alkalmasan kiválasztott, különálló blokkokban került sor. A MUEL és pszeudo-3D mérések jelentései [[5-33](#)][[5-34](#)] alapján összeállított helyszínrajz a TBJ II. [5.2.1.2.3-1. ábrán](#) látható.



5.2.1.2.3-1. ábra: A multielektrodás geoelektromos szondázások (MUEL-2-12) és a pszeudo-3D vízi szeizmikus mérések helyszínrajza (1-5 mérési blokkok), valamint a fiatal vetők felszínre vetített poligonja

A TBJ II. [5.2.1.2.3-2. a ábrán](#) lévő MUEL-10 szelvény azért fontos, mert a telephely DNy-i sarkánál lévő, és a nagyfelbontású szeizmikus szelvényen (TBJ II. [5.2.1.2.2-2. a ábra](#)) markánsan megnyilvánuló törésvonal legfelső részét képezi le. Látható, hogy a fajlagos ellenállás szelvényen a 0-200 méter közötti szakaszon más az elektromos struktúra, mint a szelvény további (DK-i) részén és a változás egy szűk zónában következik be. Ezt egy olyan vető hatásaként lehet értelmezni, ami kb. 10 méter mélységig megközelíti a felszínt.

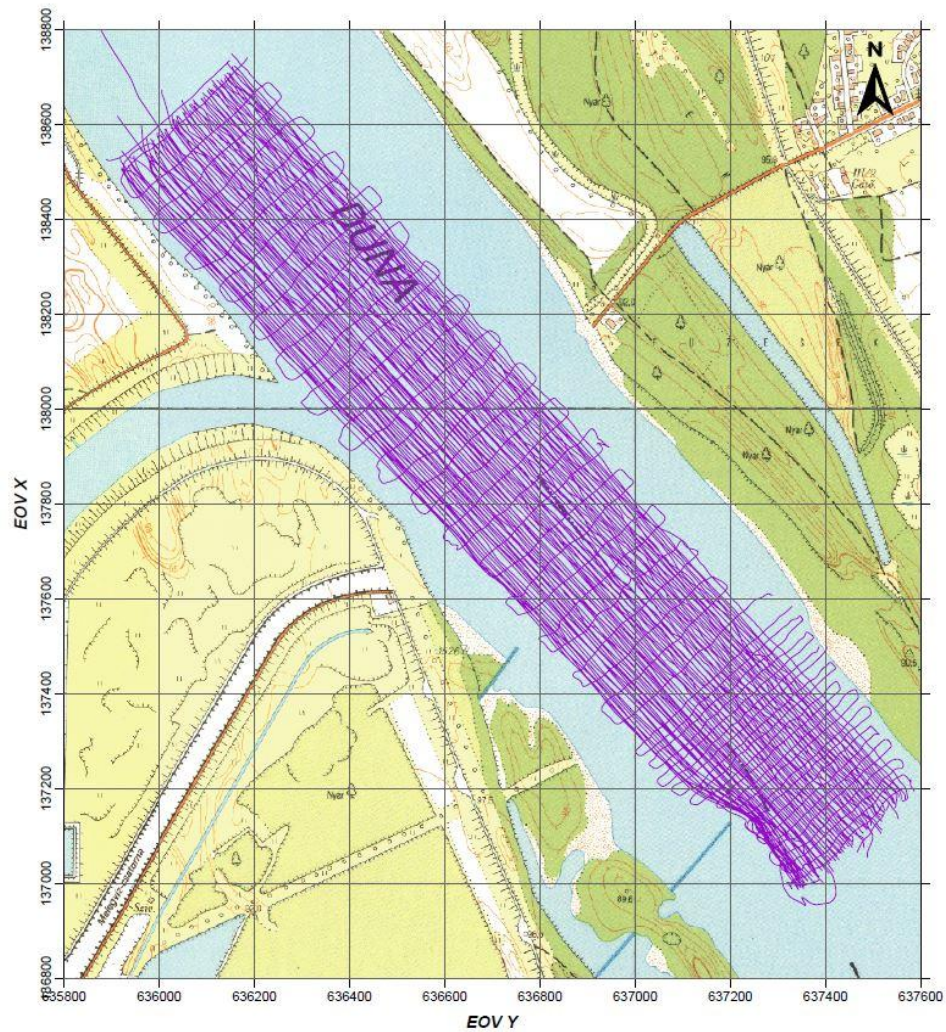


5.2.1.2.3-2. a, b ábra: A MUEL-10 és -3 multielektrodás geoelektromos szelvények

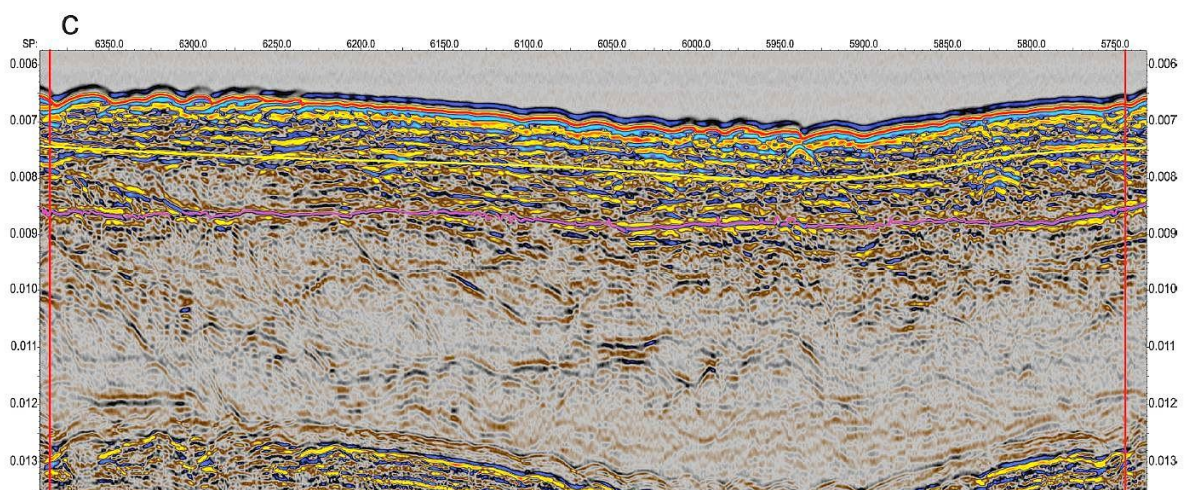
Hasonlóan fontos a MUEL-3 jelű szelvény is (TBJ II. [5.2.1.2.3-2. b ábra](#)), ami ennek a vetőzónának a folytatását vizsgálja közvetlenül a Duna bal partján. A negyedidőszaki folyami kavics nagy fajlagos ellenállással (160-260 ohmm) és 10-15 méter vastagsággal, zavartalannak mutató réteggént követhető a 0-1 400 méter szelvényszakaszon. Ezt követően egy erősen zavart szerkezetű zóna következik, amelyik szinte a felszínig látszik felhatolni.

A TBJ II. [5.2.1.2.3-3. ábra](#) az 1. számú vízi szeizmikus mérési terület részletes helyszínrajzát mutatja, amely közvetlenül a telephely melletti Duna szakaszon fekszik. A folyás irányú mérési vonalak 2 130 m, a keresztirányú vonalak pedig egyenként 350 méter hosszúságúak. A mérés teljes területe 0,75 km².

A TBJ II. [5.2.1.2.3-4. ábra](#) egy szelvényt mutat a pseudo-3D adatrendszerből. A szelvényen 6,2 és 6,5 ms vertikális futási időnél jelentkezik a mederfenék. Ez 1 450 m/s vízbeni hanghullám terjedési sebességgel számolva 4-5 méter közötti vízmélységet jelent. A buckás felszín a mederfenéken kialakuló hullámfodrokat (dűnéket) mutatja nagy horizontális torzítással. A szelvényen az aljzati többszörös („szellemreflexió”) 12,5 ms értéknél jelentkezik, és ez adja meg a jól leképezhető tartomány alsó határát. Ebben az esetben ez a mederfenék alatt kb. 6 m-es mélységet jelent. A szelvényen számos és viszonylag bonyolult geometriájú reflektor figyelhető meg, amelyek a mai és az ősi Duna által lerakott és időszakosan áthalmozott folyóvízi üledékes képződmény belső struktúráját mutatják. Megállapítható, hogy a vízi szeizmikus mérés ténylegesen a felszínközeli tartomány felépítését mutatja különösen nagy (deciméteres) felbontással. Ezért alapvető fontosságú eszköz annak kimutatására, hogy a rétegszerkezetet szisztematikusan elnyíró vetők fellelhetők-e ebben a kis mélységben is.



5.2.1.2.3-3. ábra: A pseudo-3D 1. mérési blokkot felépítő vízi szeizmikus szelvények hálózata

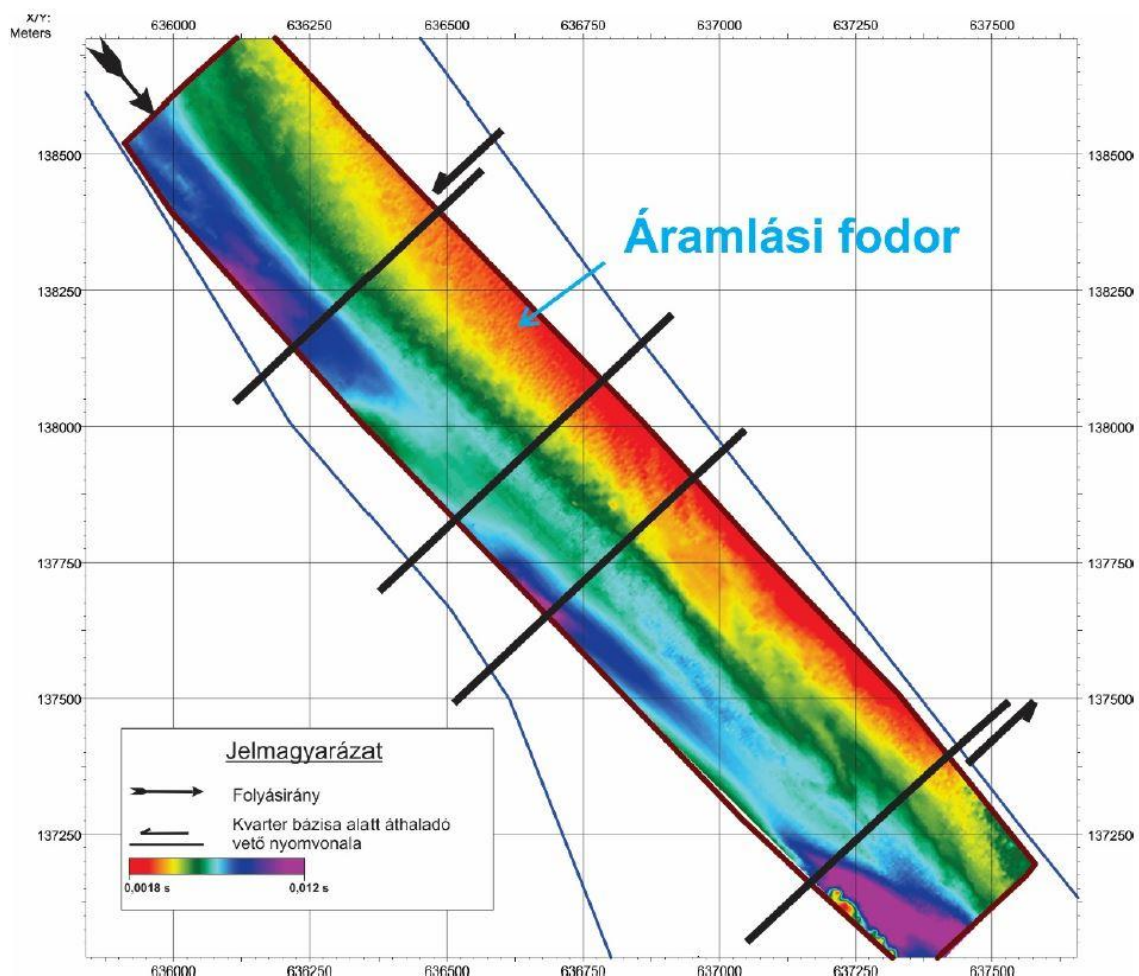


5.2.1.2.3-4. ábra: Minta vízi szeizmikus szelvény az 1. mérési blokk tektonikusan nem zavart részéről

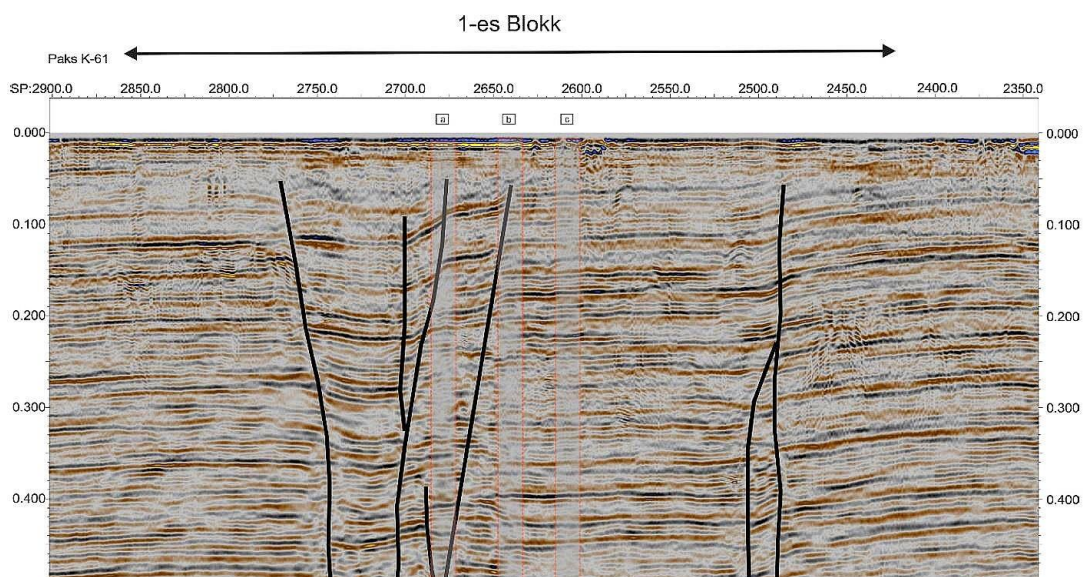
A TBJ II. [5.2.1.2.3-5. ábra](#) az 1. mérési blokkra megszerkesztett mederfenék mélység térképet mutatja a szeizmikus szelvények futási idő skáláján. A TBJ II. [5.2.1.2.3-6. ábrán](#) egy ezen a folyószakaszon korábban mért többcsatornás és mélybehatolású vízi szeizmikus szelvény (Duna-6/96) látható. Ennek tetején szerepel az 1. mérési blokk helyzete és erről a szelvényről rávetítették a mederfenék térképre a mélybehatolású térképen markánsan kirajzolódó vetők lehetséges metszsvonalát. Ezt négy vastag fekete vonal jelzi a TBJ II. [5.2.1.2.3-5. ábrán](#). Fontos kérdés, hogyan mutatkoznak meg ezek a mélybeli vetők a vízi szeizmikus szelvényeken. A TBJ II. [5.2.1.2.3-6. ábra](#) felső részén jelölt a, b és c helyeken kiválasztott vízi szeizmikus szelvény részleteket rendre a TBJ II. [5.2.1.2.3-7. a, b ábra](#) és az [5.2.1.2.3-4. ábra](#) mutatja. Ezek közül az a és b szelvények vetők felett, míg a c szelvény tektonikusan zavartalan helyen halad.

A vetőzónák fölött futó két nagyfelbontású szelvényen (TBJ II. [5.2.1.2.3-7. a és b ábra](#)) a folyóvízi üledékek szeizmikus képe bonyolult hullámképpel jellemezhető, de töréses tektonika nem látható rajtuk. Ezen túlmenően a bonyolult hullámkép nagyon hasonló a tektonikusan nem érintett helyen mért szeizmikus szelvény (TBJ II. [5.2.1.2.3-4. ábra](#)) struktúrájához, vagyis a bonyolult hullámkép kialakulása üledékföldtani, és nem tektonikus eredetű.

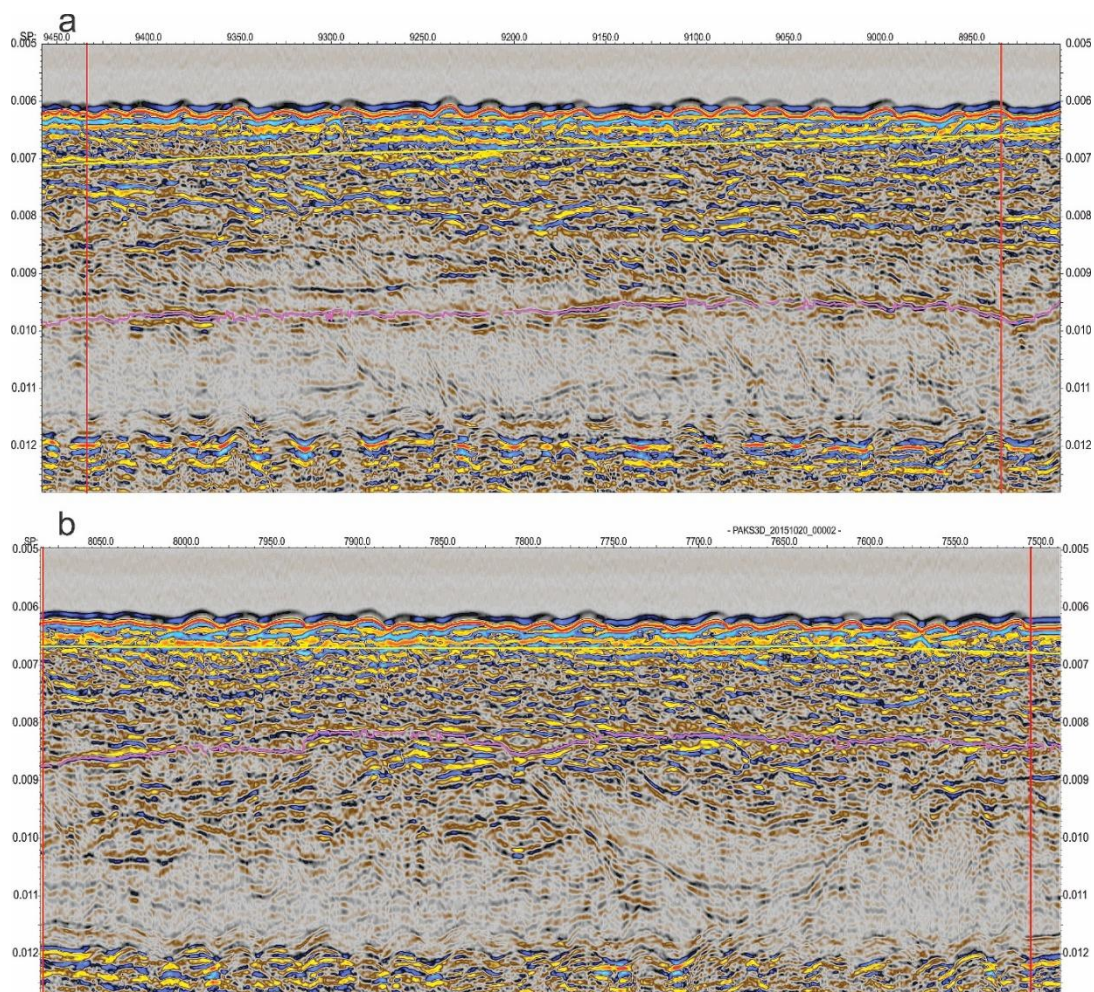
A nagyfelbontású vízi szeizmikus szelvényekkel leképezhető, a felszíntől 5-10 méter mélységig terjedő tartományban (azaz a negyedidőszaki rétegek felső részén, holocén) vetők nem mutathatók ki.



5.2.1.2.3-5. ábra: A mederfenék szeizmikus időtérképe az 1. mérési blokk területén

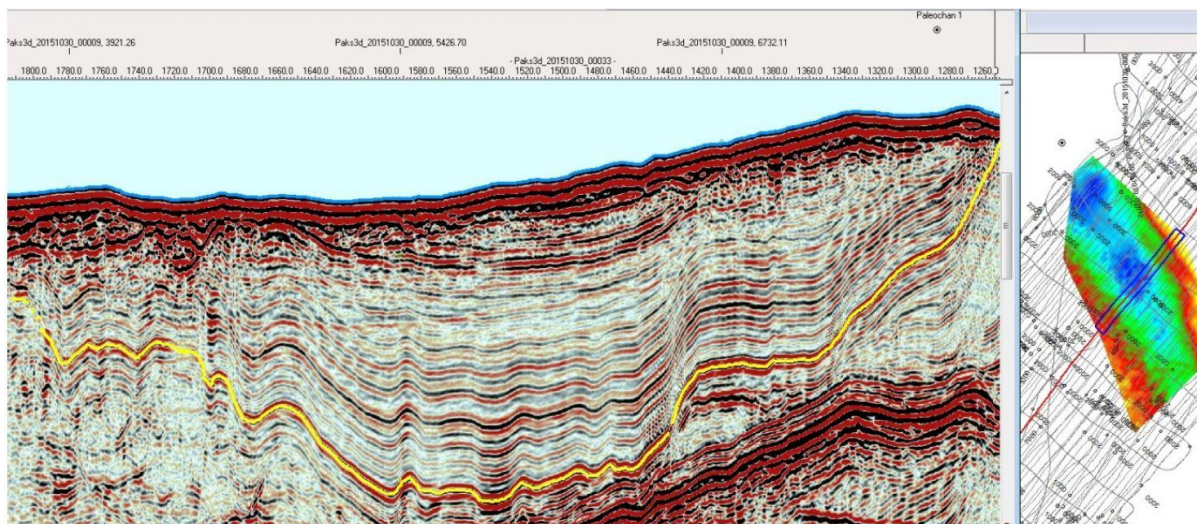


5.2.1.2.3-6. ábra: Az 1. mérési blokkal párhuzamosan haladó archív többsatornás vízi szeizmikus szelvény (Duna-6/96), amely a felszín közelébe hatoló vetődéseket mutat. Az a, b és c szakaszok nagyfelbontású vízi szeizmikus szelvények helyeit mutatják



5.2.1.2.3-7. a és b ábra: Az 5.2.1.2.3-6. ábrán jelölt a és b nagyfelbontású szelvények, melyek vetődések felett helyezkednek el

Vannak azonban a negyedidőszaki tektonikai aktivitásnak más megnyilvánulásai a paksi telephely környezetében, amelyet a vízi szeizmikus szelvényezés segítségével lehetett kimutatni a 2. mérési blokk területén. A TBJ II. [5.2.1.2.3-1. ábrán](#) látható, hogy ez a mérési blokk a legészakibb és ott helyezkedik el, ahol a Duna medre alatt halad a vetődés Dunapataj és Harta között. Ezen a területen sem található a sok száz szeizmikus szelvény között olyan, amelyiken felszínre hatoló vető lenne észlelhető. A blokk ÉNy-i részén azonban egy a mai folyót ferdén keresztelő paleo-meder mutatható ki (TBJ II. [5.2.1.2.3-8. ábra](#)), amelyet egy kb. 130 méter széles és 4 méter mély egykori folyóág hozott létre. Ennek különlegességét az adja, hogy a néhány száz vagy ezer éve felhagyott medret (morotvát) kitöltő agyagos-iszapos üledékek jellegzetesen hullámosra deformált, gyűrődéses-csúszásos szerkezetet mutatnak, jóllehet eredetileg teljesen vízszintesen települtek. Ilyen szerkezeteket földrengéshullámok hatására bekövetkező vízkiszökés és közetváz összeomlás okoz, és erre utalóan szeizmiteknek hívják. A jelenség egy olyan paleo-földrengést jelez, amelyik a terület szeizmikus veszélyeztetettsége szempontjából számba veendő, de nem szerepel a historikus események katalógusában.

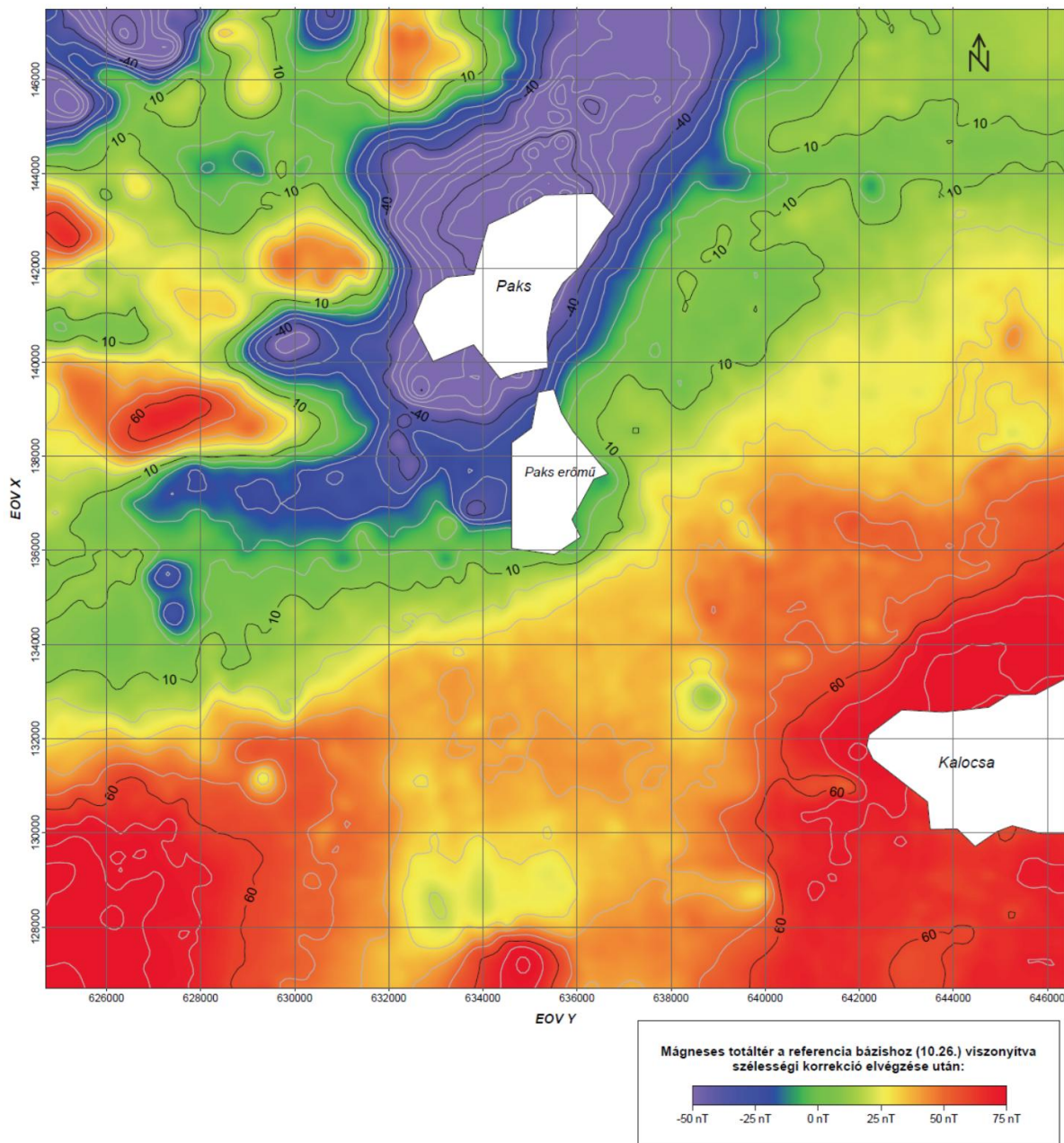


5.2.1.2.3-8. ábra: A 2. mérési blokkban leképezett egykori folyómeder, amelynek eredeti vízszintesen települt üledékeit paleo-földrengés deformálta (szeizmit)

5.2.1.2.4. MÁGNESES MÉRÉSEK ÉS MAGNETOTELLURIKUS SZONDÁZÁSOK

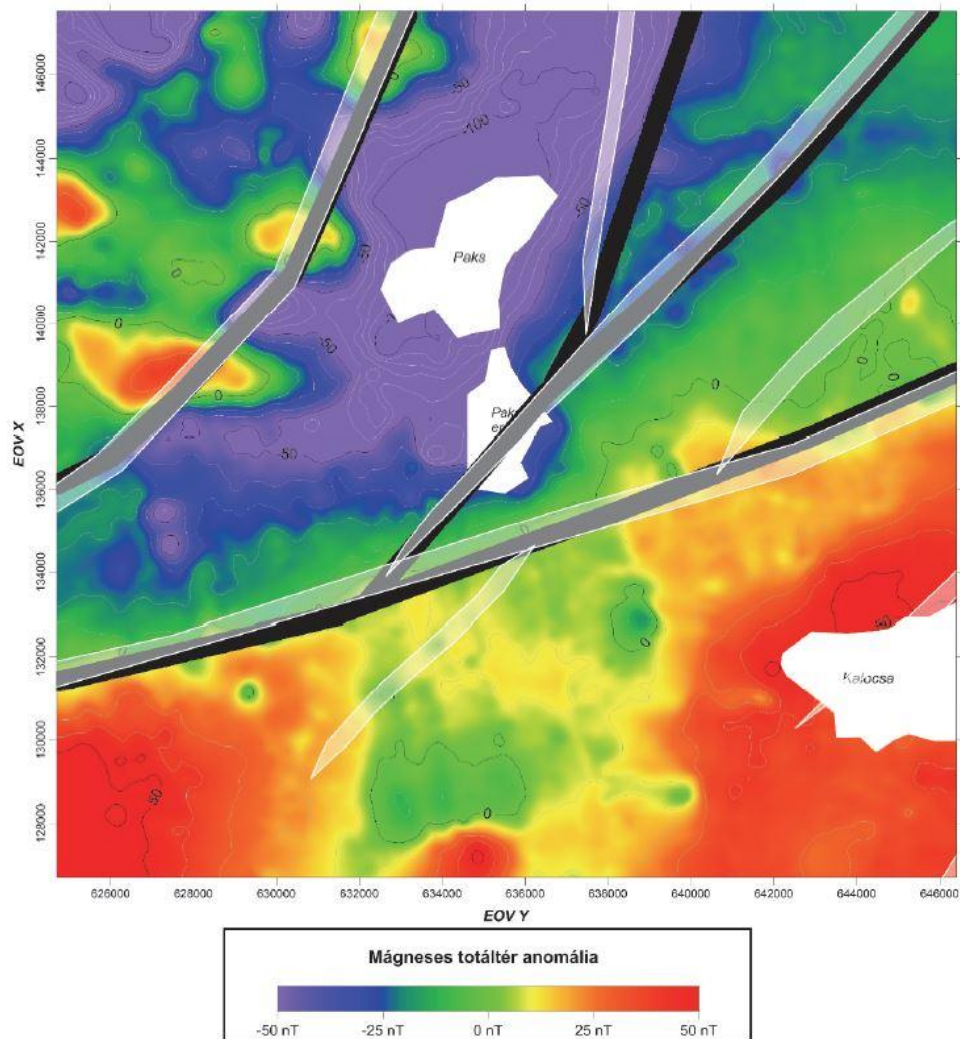
A vetős szerkezetek felszínközeli geometriájának pontos megismerése mellett nagyon fontosak a mélyebb kéregtartományok irányába történő vizsgálatok is, hiszen a földrengések a medencealjzattól 10-12 km mélységig terjedő rideg kéregrészen pattannak ki. Ebben a tartományban már nem szétágazó virágszerkezetekkel, hanem azok beszűkült szárával kell számolni.

A medencealjzaton települt alsó- és középső-miocén képződmények nagy részét a kutatási területen vulkáni kőzetek alkotják (TBJ II. [5.2.1.2.1-5. ábra](#)). A PAET-29/1 jelű fúrás (TBJ II. [5.2.1.2-1. ábra](#)) például 1 200 méter vastagságban haladt ilyen kőzetekben és mégsem érte el az aljzatot. Hazai tapasztalatok szerint ezek a vulkanitok, főleg a bennük lévő magmás kőzetek miatt erős remanens mágnesezettséggel rendelkeznek, így elterjedésük felszíni mágneses mérésekből számított anomália-térképek segítségével jól nyomozható. Ennek megfelelően lett végrehajtva a közel 1 000 km szelvényhosszúságú mágneses felmérés a vizsgált területen [5-35], amelyből a TBJ II. [5.2.1.2.4-1. ábrán](#) látható totál intenzitás anomália térkép lett szerkesztve.



5.2.1.2.4-1. ábra: Mágneses totáltér anomália térkép

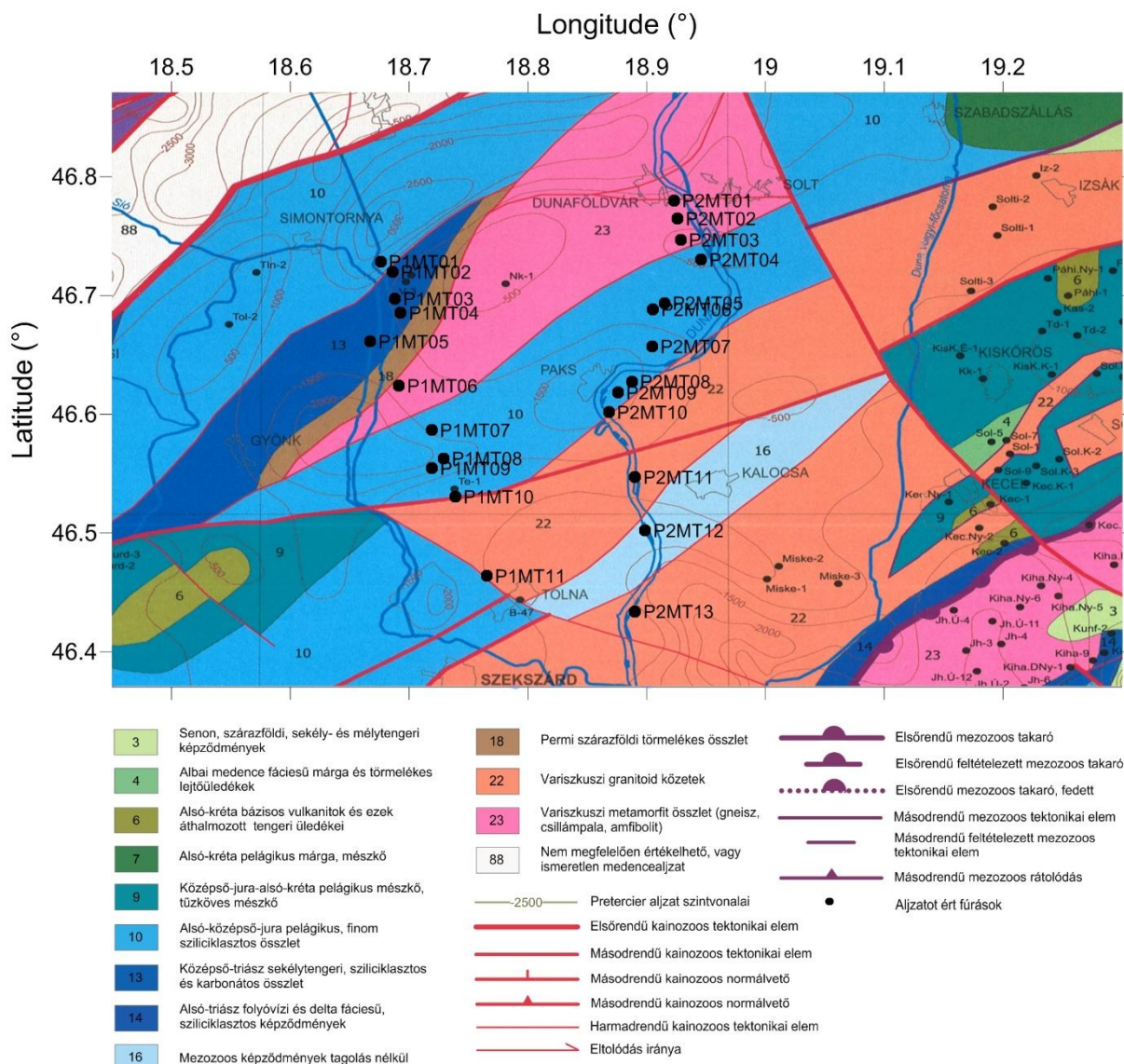
A térkép DK-i térfelére egy nagy pozitív anomáliájú területet mutat, amelyik viszonylag éles határral elvégződik, és Paks városa körül kulmináló nagy negatív anomáliának ad helyet. A telephely ennek a negatív anomáliájú területnek a peremén helyezkedik el. Az elnyúlt paksi anomália ÉNy-i szélén több kisebb kiterjedésű, de erős pozitív anomália látható, amely egy újabb mágneses övet jelez. Mivel az anomáliákat okozó ható testek vulkanitok, a mágneses térkép önmagában arra utal, hogy ellentétes polaritással mágnesezett hatók oldalelmozdulásos tektonika révén kerültek egymás mellé a vulkáni tevékenység befejeződése után. Ezek a vetők megegyeznek a szeizmikus térképezéssel meghatározottakkal, amint azt a TBJ II. [5.2.1.2.4-2. ábra](#) mutatja. Ebből az következik, hogy a szeizmikusan megismert aljzati vetők reprezentatívak és lefelé közel vertikálisan folytatódnak.



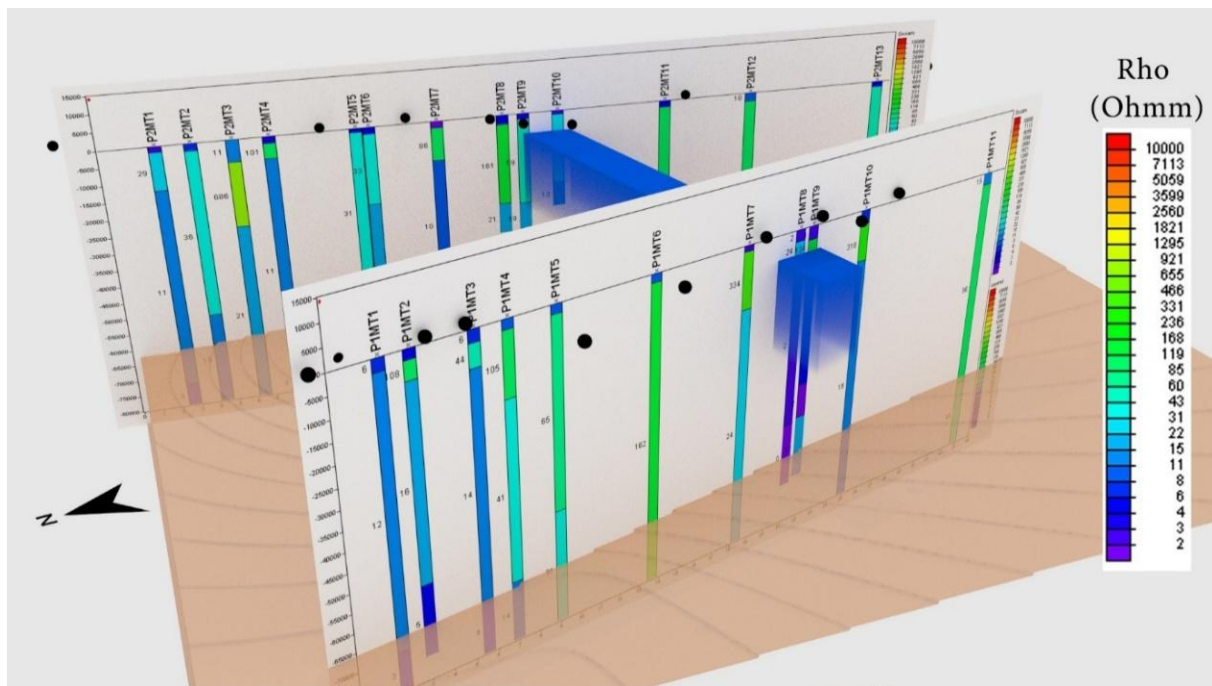
5.2.1.2.4-2. ábra: A mágneses anomália térkép alapján kijelölt vetők (fekete) és az aljzatban értelmezett vetők nyomvonala (fehér)

A magnetotellurikus szondázások alapján [5-36], ilyen jellegű következtetésre kívántak jutni a felsőkéregnek arra a tartományára, ami a szeizmogén zóna. Két szelvény lett kijelölve, amelyek áthaladnak a paksi vetőrendszer felett (TBJ II. 5.2.1.2.4-3. ábra). A P1 szelvény Simontornyáról indul és 11 db szondázási ponttal Tolna határában ér véget. A P2 szelvény a Duna vonalát követve 13 szondázási pontot foglal magába Dunaföldvár és Fajsz között. Az egyes szondázási pontokon az elektromos és mágneses térkomponensek a 25-10 000 s tartományban voltak regisztrálva és a mérések egy ponton 3 napon keresztül folytak. A szondázások 1D és 2D algoritmusok segítségével lettek invertálva és értelmezve.

A paksi vetőrendszerhez elektromosan jól vezető dajk kapcsolódik, ami vertikálisan véges kiterjedésű és mélysége 7-8 km-től legfeljebb 10-20 km-ig terjed (TBJ II. 5.2.1.2.4-4. ábra). Ez a geometria jól egyezik a Pannon-medencében másutt (pl. a Rába-vonal mentén) észlelt jól vezető dajkok mélységével. Külföldi esettanulmányok alapján a nagy vezetőképesség valószínű oka köpenyeredetű ionos fluidumok benyomulása a vetőzónába.



5.2.1.2.4-3. ábra: A magnetotellurikus szondázási pontok (P1MT1-11 és P2MT1-13) elhelyezkedése Magyarország medencealjzat térképén



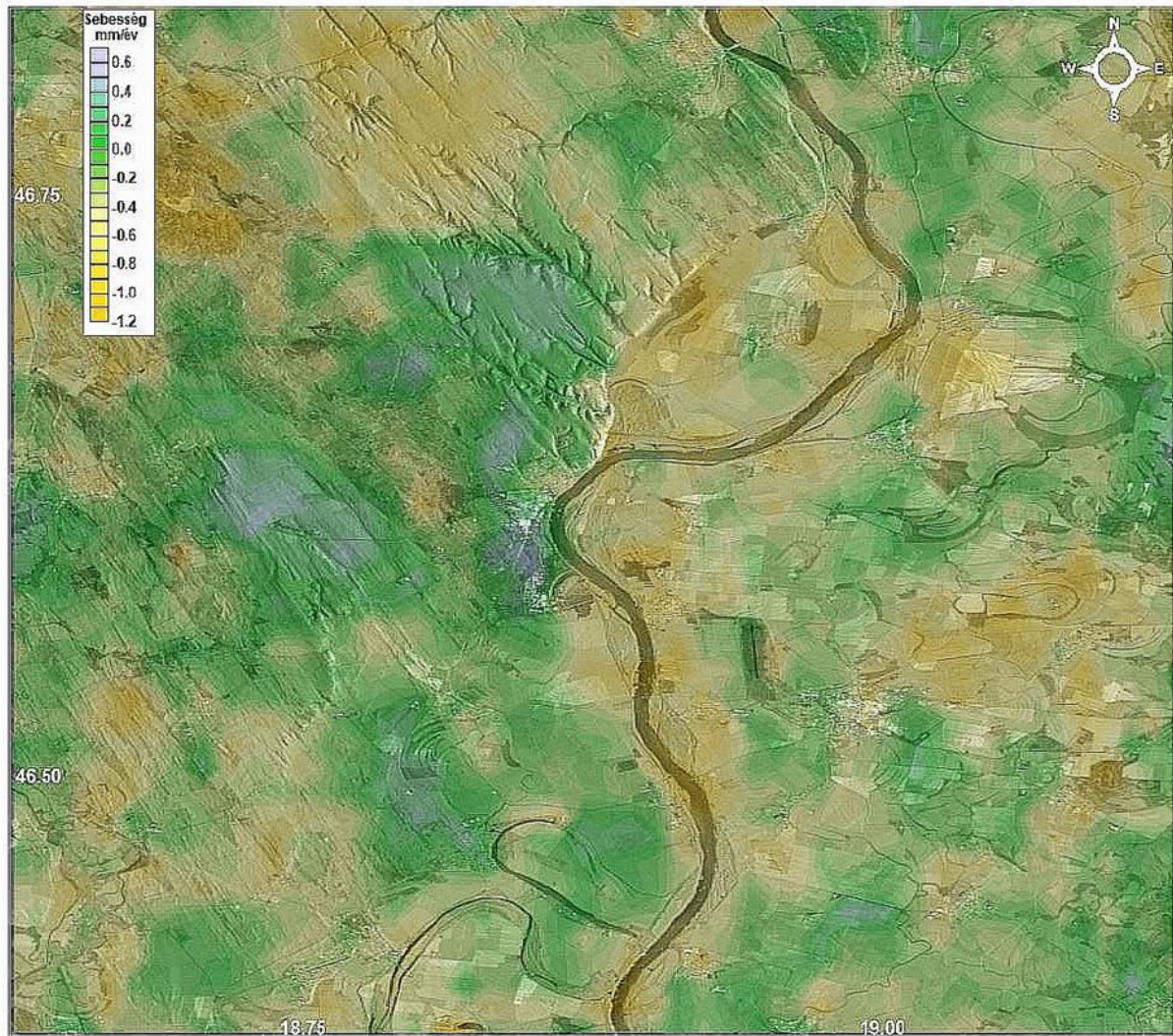
5.2.1.2.4-4. ábra: A P1 és P2 szelvény szondázási pontjaiban meghatározott fajlagos ellenállás oszlopok és a komplex értelmezés alapján meghatározott, a paksi vetődésekhez kapcsolódó jól vezető dájék (kék színnel jelölve). A lazacszínű felület az asztenoszféra felszínét jelöli

5.2.1.2.5. ŰRGEODÉZIAI MÉRÉSEK TEKTONIKAI ÉRTELMEZÉSE

Egy adott terület recens mozgásvizsgálatának legfontosabb eszköze az űrgeodézia, amely radar-interferometriás mérésorok összehasonlítása, valamint stabil GPS-hálózatok rendszeres újramérése alapján úgy regionális, mint helyi skálán alkalmas horizontális és vertikális kéregmozgások nagy pontosságú meghatározására.

Az [5-38] számú jelentés az állandó szórópontú műholdradar-interferometriás stabilitás- és mozgásvizsgálat adatfeldolgozásáról, kiértékeléséről és értelmezéséről szól. A műholdradar-interferometriás stabilitás- és mozgásvizsgálat eredményei hatalmas adatrendszeren alapulnak. Négy műhold, két repülési irány, két különböző frekvencia és négy különböző időintervallum (1992 és 2011 között), közel kétszáz időpont észleléseit és azokból származtatott többszáz ezer pontra 20 millió mozgásinformációt és ezek kombinációit tartalmazza. Az adatbázisok lineáris regresszióval számított sebességei alapján interpolált sebességtérképek készültek a szélesebb kutatási területre. A térképek a kismértékű (inszignifikáns) mozgásokat zölddel, a relatív süllyedéseket sárgás, az emelkedéseket pedig kékes színekkel jelölik. A TBJ II. [5.2.1.2.5-1. ábrán](#) látható térkép szerint a területen a függőleges mozgások nagyon kicsik és eloszlásuk foltszerű. Tektonikai elemekkel való korreláció nem ismerhető fel, beleértve a geofizikai kutatások alapján térképezett és a felszínközelségbe hatoló fiatal vetőket is.

A GPS mérések kiértékelése során [5-37] az országhatáron kívüli adatok főként a közép-európai (CEGRN) állomások méréseiből származnak, míg a Pannon-medencében az ennél is pontosabb MGGA adatok az elsődlegesek. Az MGGA a legprecízebben állandósított 100%-ban közvetlen kéregkapcsolattal rendelkező, kényszerközpontos országos lefedettségű geodinamikai GPS ponthálózat. Az MGGA rendelkezik messze a legpontosabb idősorokkal és kéregmozgás sebességekkel. 1991 óta megszakítás nélkül két évente szigorú, szisztematikus szélső pontosságú mérési kampányai vannak.



5.2.1.2.5-1. ábra: C-sávú (4-8 GHz) aperturaszintézises műholdradar interferometriás adatok alapján interpolációval számított színekódolt sebességtérkép

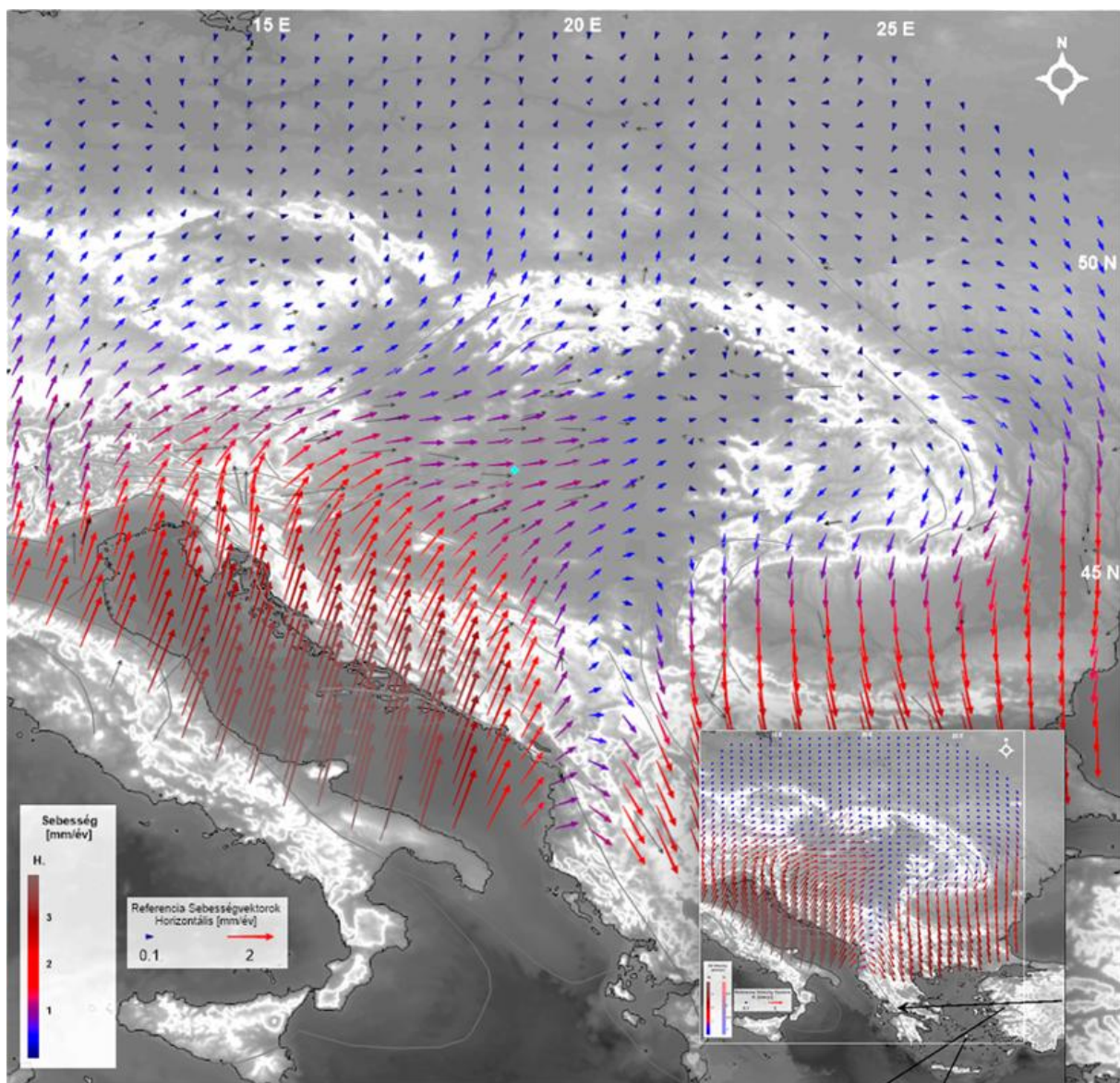
A kéregmozgások eredményei szilárd megszorítást jelentenek a telephelyen lehetséges kéregdeformációkra. A közel negyedszázados MGGGA és a két évtizedes CEGRN mérések alapján készült el Közép-Európa jelenkori kéregmozgás-térképe, amely a kvázi stabil Észak- és Kelet-Európa referencia rendszerében adja meg a terület kéregmozgás sebességeit (TBJ II. [5.2.1.2.5-2. ábra](#)).

A GPS-es kéregmozgás-sebességtérképről egyértelműen látható, hogy a közép-európai tektonika meghatározó egysége az Adria mikrolemez. Az Adria mikrolemez óramutató járásával ellentétes rotációt végez a Nyugati-Alpokban lévő Euler-pólus körül. Az Adria és a Cseh-masszívum közötti alpi ütköző zónából kipréselt kéregdarab (a korábbi Alcapa blokk) 1,2-1,6 mm/év sebességgel mozog keleties irányba. Adria rotációja a dinári fronton DK-i irányú kompressziót eredményez, de ez az irány az egykori Tisza-egység irányában markánsan ugyancsak keleties irányítottágúvá válik, mégpedig az északi egységhez hasonló sebességgel. A GPS-adatok egyértelműen azt mutatják, hogy a területen térképezett vetők mentén számottevő jelenkori oldalelmozdulás nincs, a két nagyszerkezeti egység egymáshoz képest lényegében nem mozog, vagy ez a mozgás a 0,1 mm/év szint alatt van.

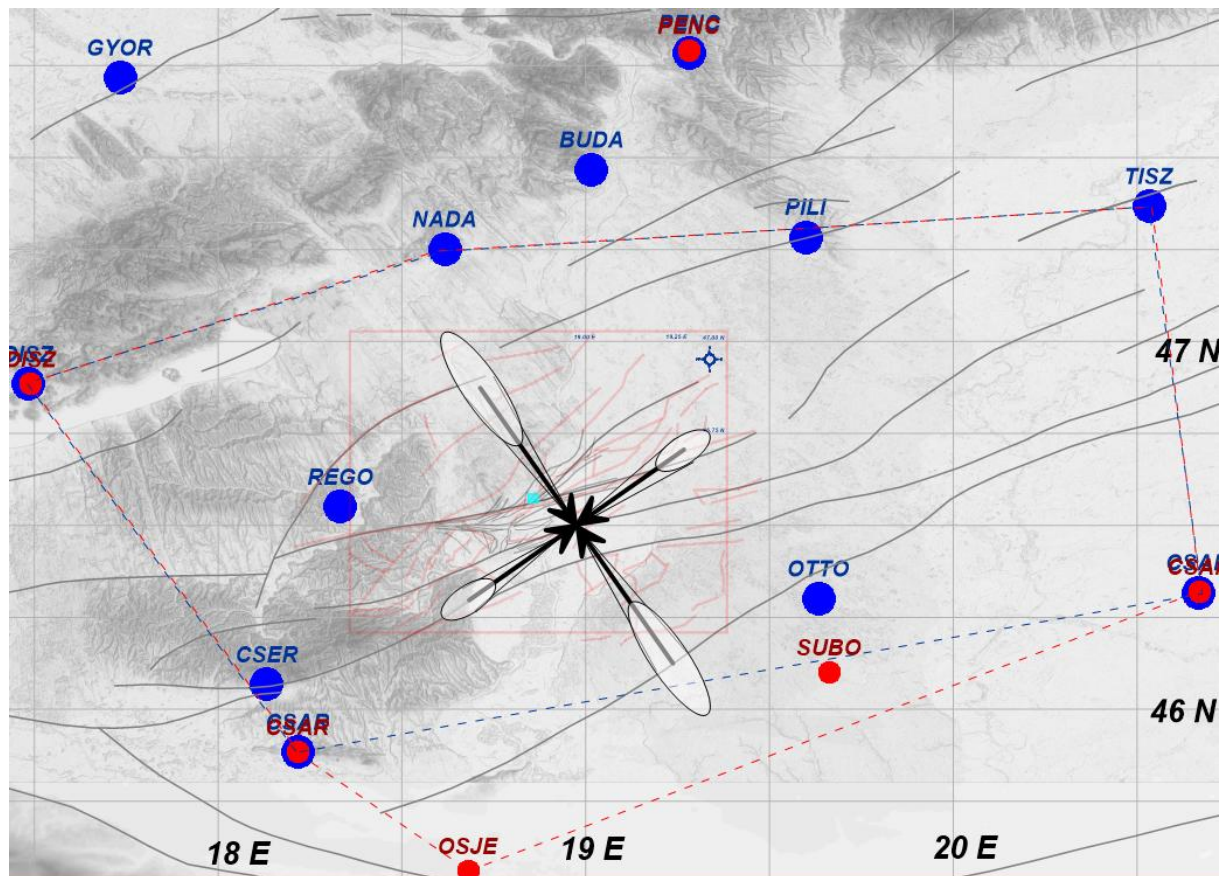
Az ürgeodéziai mérések integrált értelmezése szerint az egész közép-magyarországi terület egységesen kompressziós deformációs állapotban van, melynek deformációs ellipsziséjét

a TBJ II. [5.2.1.2.5-3. ábra](#) mutatja. A deformációs sebességek 3,7 és 2,9 ppb/év nagyságúak az ÉNy-DK, illetve az erre merőleges ÉK-DNy-i irányok mentén. Ez Paks környéki 60 km-es bázistávolságra vetítve 0,22 mm/év, illetve 0,17 mm/év nagyságú deformációt jelent.

Ha összevetjük a Pannon-medence Adria által hajtott mozgásait az Alpi-Mediterrán térség más területeivel, akkor világosan megmutatkozik, hogy a Pannon-medence, különösen annak központi része, a térség legnyugodtabb tektonikai provinciája. A környező alpi, dinári, balkáni, égei és anatóliai területeken a Pannon-medencebeli mozgásoknál 1-2 nagyságrenddel nagyobb mozgásokat határoznak meg a hasonló űrgeodéziai vizsgálatok.



5.2.1.2.5-2. ábra: Közép-Európa jelenkori kéregmozgás-sebességtérképe geodinamikai GPS hálózatok mérései alapján. Fekete vektorok az adott GPS állomás tényleges sebességét mutatják, a színes vektorok az ezek alapján interpolációval számított sebességmezőt



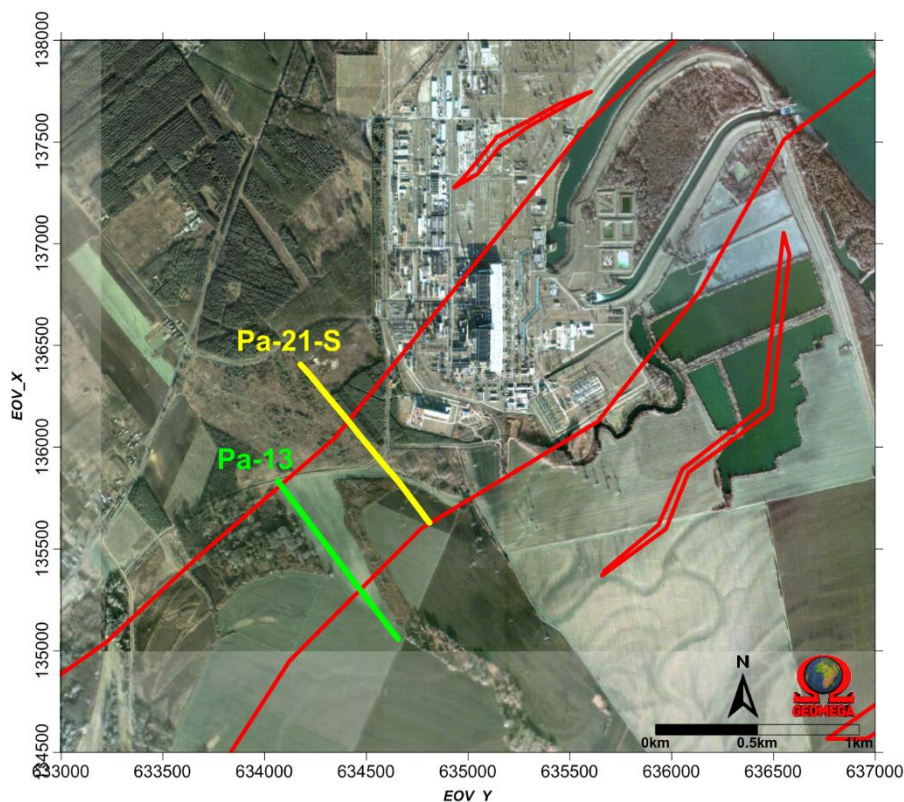
5.2.1.2.5-3. ábra: Deformációs sebességek ($3,7 \text{ ppb/év}$ -35 ± 3 fokos azimut, valamint $2,9 \text{ ppb/év}$ és 95% -os konfidencia szintjei ($0,72 \text{ ppb/év}$ és $0,36 \text{ ppb/év}$) a telephely környezetében. A kék szaggatott vonallal jelzett alhálózat csak MGGA, a pirossal MGGA, CEGRN eredményei között nincs szignifikáns eltérés

5.2.1.2.6. A GEOFIZIKAI ADATOK SZINTÉZISE ÉS A FÖLDTANI MODELL MEGALAPOZÁSA

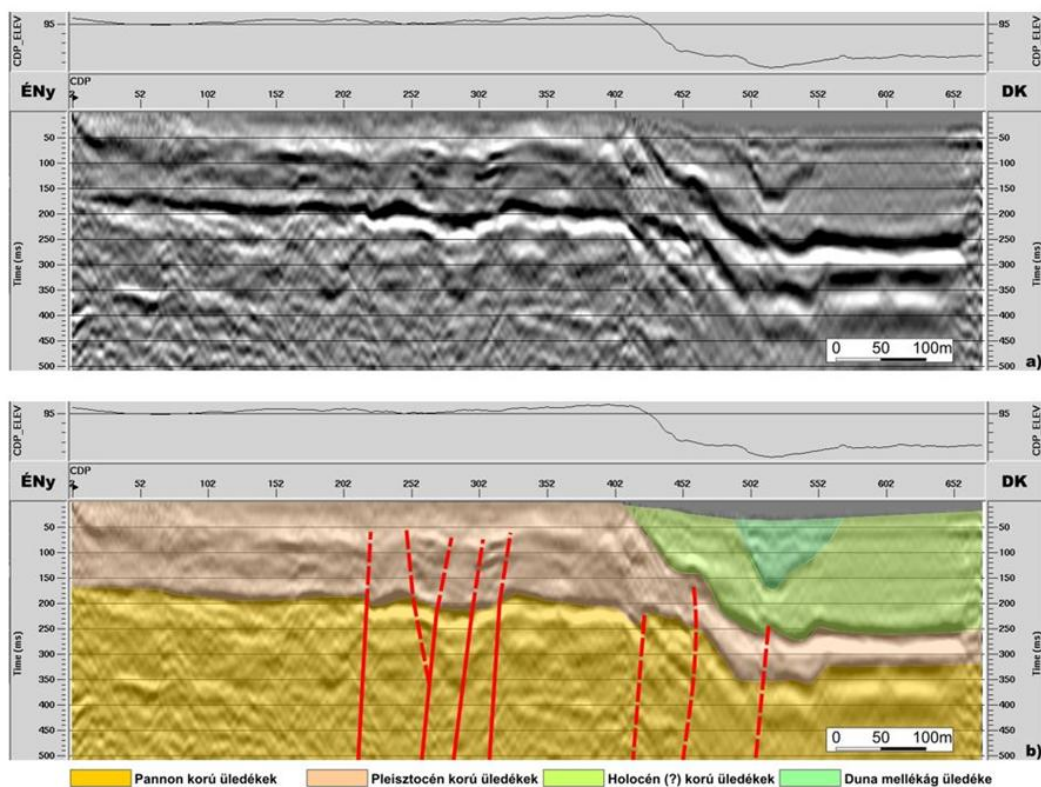
A telephelyen belül elvégzett geofizikai mérések területi térképezésre (EM mérések) és szelvény menti felmérésekre (GPR, MUEL, P-refrakció, S-sekélyreflexió) bonthatók. A szelvény menti geofizikai mérések közül a MUEL, P-refrakció és S-sekélyreflexió célja az egyes fúrési pontok közti térrész geofizikai feltárása volt, ezért nyomvonalai az FKP-ban megadott öt geotechnikai fúrési szelvény mérhető szakaszai mentén, valamint az azok közti területet lefedő mérési hálóban lettek kijelölve. Amennyire a felszíni terepviszonyok és az egyes geofizikai mérések kivitelezéséből adódó korlátok engedték, a különböző mérési módszerekkel végzett mérések ugyanazon szelvénynyomvonalak mentén kerültek kivitelezésre.

A vizsgálatok alapján megállapítható volt, hogy a telephely déli részén, a teljes pannon rétegsort vető harántolja, amely a DNy-ÉK-i irányú vetőzóna északi pereme (TBJ II. [5.2.1.2.6-1. ábra](#)).

A geofizikai szintézis [5-72] számot ad arról, hogy a sekélyfelszíni tartomány (0-50 m) leképezése érdekében került sor kísérleti jelleggel S-hullám reflexiók szelvényezésekre, amelyet a korábbi nagyfelbontású P-hullám szelvényekhez kapcsolódó négy szelvény (Pa-21-S, Pa-22-S, Pa-23-S és Pa-25-S) mentén végeztek el. Az S-hullám szeizmikus szelvények alapján (pl. TBJ II. [5.2.1.2.6-2. ábra](#)) a kvarter-pannon határ, sőt a kvarter összlet alsó tartományai (kora- és középső-pleisztocén) vetőkkel szabdalnak, amelyek a mélyebb tartományokban megismert balos oldalelmozdulásos vetők felszín felé való folytatódását jelentik.



5.2.1.2.6-1. ábra: A telephely DK-i térfelén áthaladó vetőzóna és az azt szegélyező két vetőpikkely (piros poligonokkal határolt tartományok) és a Pa-21-S szeizmikus, valamint a Pa-13 archív szelvény helyzete



5.2.1.2.6-2. ábra: A Pa-21-S-Geomega S hullám szeizmikus szelvény értelmezetlen (a) és értelmezett (b) változata. A folytonos piros vonal vetőt, a szaggatott piros vonal feltételezett vetőt jelöl

A geofizikai szintézist a telephely 60x60 km-es környezetére vonatkozó földtani modellépítés megkezdése követte [5-71]. A létrehozott modell két kulcsfontosságú térbeli adatrendszerrel ad meg: a kiválasztott és megszerkesztett geológiai horizontokat, valamint a kapcsolódó vetőrendszereket (TBJ II. [5.2.1.2.1-5. ábra](#)). A modell egyesíti a projekt keretében korábban elvégzett, 2D és 3D szeizmikus adatrendszerek integrált értelmezésén alapuló mélyföldtani térképezés eredményeit, valamint az újonnan szerzett földtani ismereteket (fúrások, térképezés, stb.). Ezek földtanilag és geometriailag konzisztens 3D adatrendszereket képviselnek, valamint meghatározó jelentőségűek a telephelykutató szeizmotektonikai, vízföldtani és geodinamikai modellezési feladatai szempontjából is.

Ebből következően a 3D modell kialakításának egyik célját e modellszámítások megalapozása és kiszolgálása jelentette a telephely 60x60 km-es környezetében. Tekintettel az elvégzendő modellszámítások idő- és számításigényének reális keretek között tartására, a kialakított 3D modell a megismert tényleges geológiai-tektonikai valóság célorientáltan egyszerűsített változatát képviselte. Ugyanakkor hangsúlyozandó, hogy elkerülte a túlzott leegyszerűsítést, hiszen az egyrészt hátrányosan befolyásolná a különböző modellszámítások eredményeit, másrészt alkalmatlanná válna a terület földtani-szerkezeti adottságainak és a fejlődéstörténeti fő eseményeinek adekvát jellemzésére. A kutatási terület neotektonikai eseményeinek és fejlődéstörténetének minél pontosabb megismerése fontos a telephely és környezete tektonikai stabilitásának és földrengés-veszélyeztetettségének megítélése szempontjából. Ezek alapján a 3D földtani-tektonikai modell harmadik legfontosabb célja a neotektonikai megfigyelések megalapozása, valamint a mélyföldtani szerkezeti elemekkel való összefüggések feltárása volt.

A 3D földtani modellt alkotó geológiai határfelületek 60x60 km kiterjedésű, telephely középpontú területre lettek megszerkesztve. A mélység-gridek felbontása egységesen 200 m. E felületek felhasználásával készültek el a térképezett egységek vastagságtérképei.

A kialakított 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 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 dőlésszöveget alkalmazták. Ugyanakkor hangsúlyozni kell, hogy a mélységi kiterjesztés során a korábbiaknál lényegesen több koncepcionális jellegű szerkezeti állásfoglalást kellett meghozni, hiszen a nagyobb mélységekben a vetők, illetve kölcsönös geometriai viszonyuk közvetlenül már nem voltak észlelhetők. Fokozottan vonatkozik mindez a geodinamikai modellezéshez szükséges, 12 km mélységig kiterjesztett vetőkre.

A 3D numerikus vetőmodellezés során összesen 41 vetőfelület megépítésére került sor, amelyek mindegyike egyedi azonosítót kapott. A vetők térképi kataszterét, perspektivikus nézetét és az aljzati morfológiai elemekkel való kapcsolatát a TBJ II. [5.2.1.2.6-3.](#), [5.2.1.2.6-4.](#) és [5.2.1.2.6-5. ábrák](#) mutatják.

A kutatási terület meghatározó szerkezeti eleme a pre-kainozoos aljzatban csapás mentén mintegy 100 km hosszan követhető, KÉK–NyDNy-i irányítottságú „Kapos-vonal”. Ezen meghatározó elem szerkezeti jellegei alapján egy északi dőlésű nyugati és egy déli dőlésű keleti vetőszakaszra bontható, amelyek az átfedő zónában egymással sátoztetőszerűen érintkeznek. Míg a vonal keleti szegmense igen markáns neotektonikai aktivitást mutat, addig a nyugati szakasz neotektonikusan kevésbé aktív a vizsgálati területen.

A kutatási terület szerkezeti képében összességében uralkodóak a közel ÉK–DNy-i irányú, ugyancsak meredek dőlésű (70–90°) vetőrendszerek, amelyek lényegében az összes

3D modellbe integrált geológiai horizont térképein jól észlelhetők, és egyben a főbb aljzatmorfológiai elemek határait képezik.

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 nagyfokú hasonlósága azt jelzi, hogy a pannon rétegsort harántoló vetők dominánsan a korábban keletkezett aljzati vetők felújulásával jöttek létre. Ugyanakkor az aljzati vetők csapás mentén nem feltétlenül teljes kiterjedésükben, hanem csak egyes szakaszaikon újulnak fel.

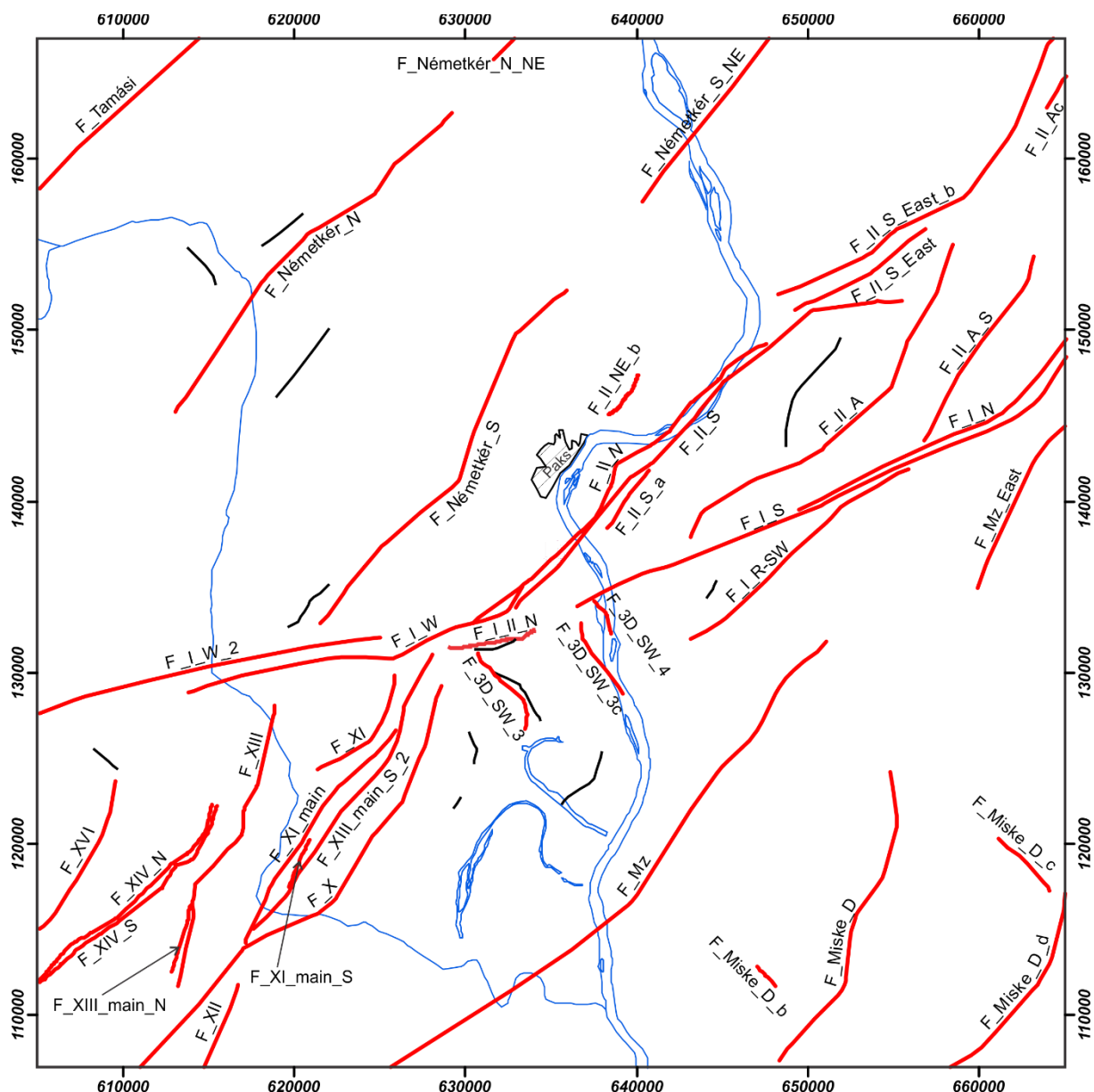
A meghatározó szerepű ÉK–DNy-i vetők közül a projekt szempontjából jelentőségében mindenképp kiemelkedik a Kapos-vonalból Dunaszentgyörgynél ÉK-i irányba kiágazó és a telephely alatt, illetve annak D-i előterében elhaladó Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna, amely a Kapos-vonal K-i szakaszával együtt a kutatási terület legintenzívebb neotektonikus aktivitást mutató szerkezeti eleme. Tipikus „virágszerkezetet” mutató belső struktúrájuk és a kapcsolódó másodlagos formaelemek (Riedel-törések) alapján balos oldaleltolódásnak minősíthetők. Szerkezeti jellegeiben 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. Ez a vetőrendszer neotektonikai aktivitás szempontjából egységes, Bonyhád–Dunaszentgyörgy–Harta vetőrendszernek tekinthető (TBJ II. [5.2.1.2.6-6. ábra](#)).

A projekt keretében elvégzett különböző földtani-geofizikai vizsgálatok egyik legalapvetőbb kérdését az jelentette, hogy a neotektonikus aktivitást mutató vetők vajon felhatolnak-e a legfiatalabb negyedidőszaki rétegekbe, és ha igen, ott milyen deformációt idéznek elő. A neotektonikus vetők közül is értelemszerűen kulcsfontosságú a telephely alatt és annak déli előterében húzódó Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna. A vetőzóna belső szerkezetének és neotektonikai aktivitásának részletes vizsgálatára a telephely környezetében számos nagyfelbontású felszíni geofizikai módszerrel (2D P- és S-hullám reflexiók szeizmikus szelvényezés, geoelektromos tomográfia, pszeudo-3D vízi szeizmikus mérések) szisztematikus kutatás valósult meg. Kulcsfontosságúnak mutatkozott a Pa-21-S hullám szelvényen látható vetőkép (TBJ II. [5.2.1.2.6-2. ábra](#) és felnagyított részlete az [5.2.1.2.6-7. ábra](#)), mert ez arra mutatott, hogy a vetődés a negyedidőszaki képződmények felszínközeli tartományát is érinthette.

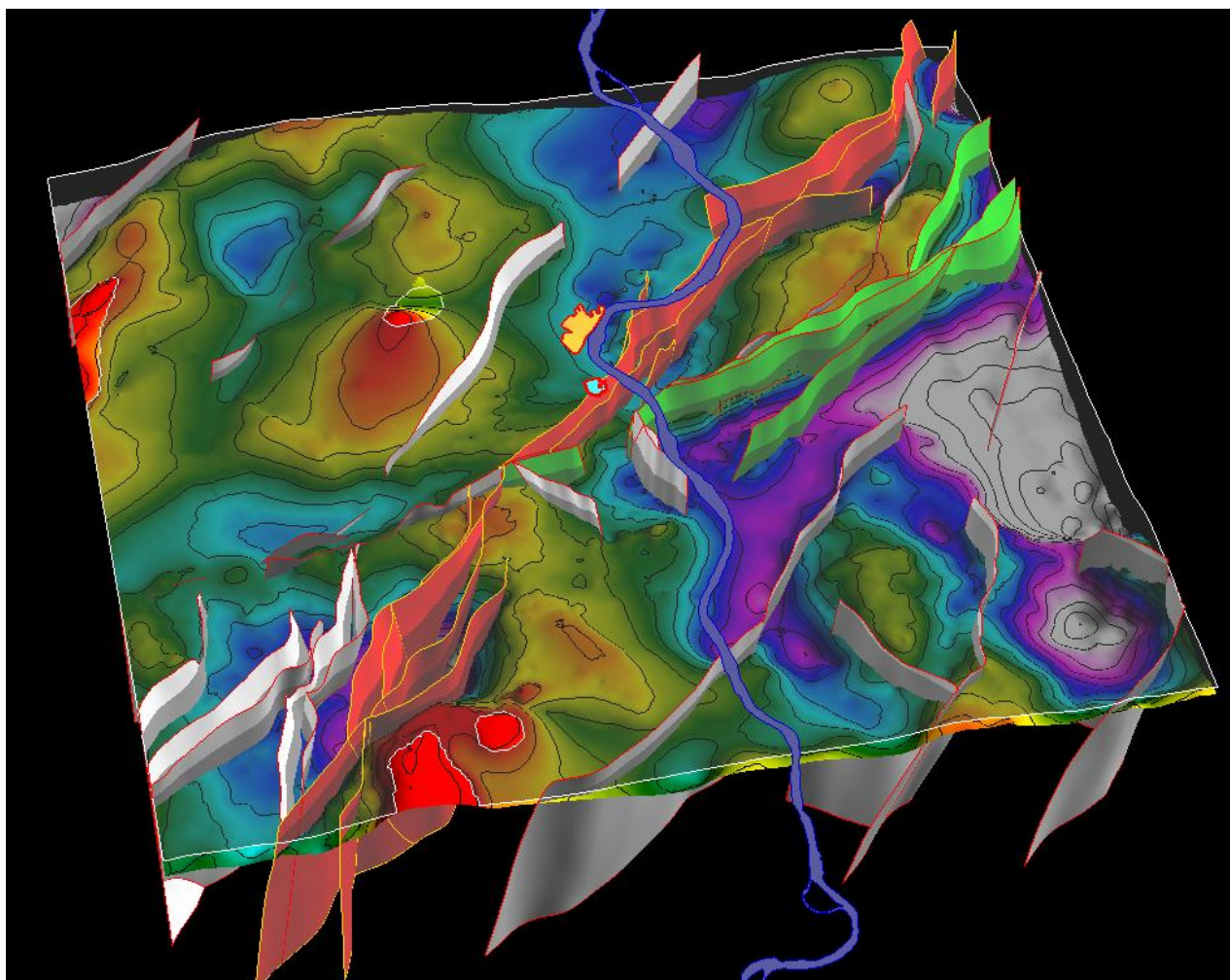
A szeizmikus szelvény alapján 7 db sekélyfúrás (Pa-21-E1,-A, -B, -D1, -C, -F3 és -G4, TBJ II. [5.2.1.2.6-7. ábra](#)) lett megvalósítva, és az alsóbb (20 m-nél mélyebb) szakaszokon magminta vételre volt lehetőség. Meglepően egyértelmű eredmények és kézenfekvő tektonikai értelmezés született, amit a Tengelici Vörösagyag megléte, ill. hiánya tett lehetővé (TBJ II. [5.2.1.2.6-8. ábra](#), TBJ II. [5.1.1. fejezet](#)). A Tengelici Vörösagyag tektonikus érintettségét a maganyagban talált vetőkarcok egyértelművé tették. Ezt követően két szakaszon (Pa-21-I és -II) került sor a humuszréteg eltávolítása után 2 méter mély árok kialakítására 12 méter és 84 méter hosszúságban (TBJ II. [5.2.1.2.6-7. ábra](#) és [5.2.1.2.6-8. ábra](#)). A hosszú árokban talált felszínközeli anomális szerkezetek helyét a TBJ II. [5.2.1.2.6-7. ábrán](#) a kék sávba rajzolt piros vonalak mutatják. Ezek közül a leglátványosabb „tölcsér-szerkezet” az árok közepén (43,7 m-nél) lett feltárva (TBJ II. [5.2.1.2.6-9. ábra](#) és [5.2.1.2.6-10. ábra](#)) és transztenziós virágszerkezetként értelmezve.

A földtani-geofizikai kutatások eredményeit összefoglalva megállapítható, hogy a fokozatos megismerés elvét követő kutatás lehetővé tette a vizsgált területet harántoló vetők geometriájának részletes meghatározását. A vizsgálatok fontos eredménye, hogy a tektonikai aktivitás korintervalluma is megbízhatóan ismertté vált. Az S-hullám szeizmikus szelvények alapján a negyedidőszaki üledékekben kijelölhető szerkezeti indikációk speciális

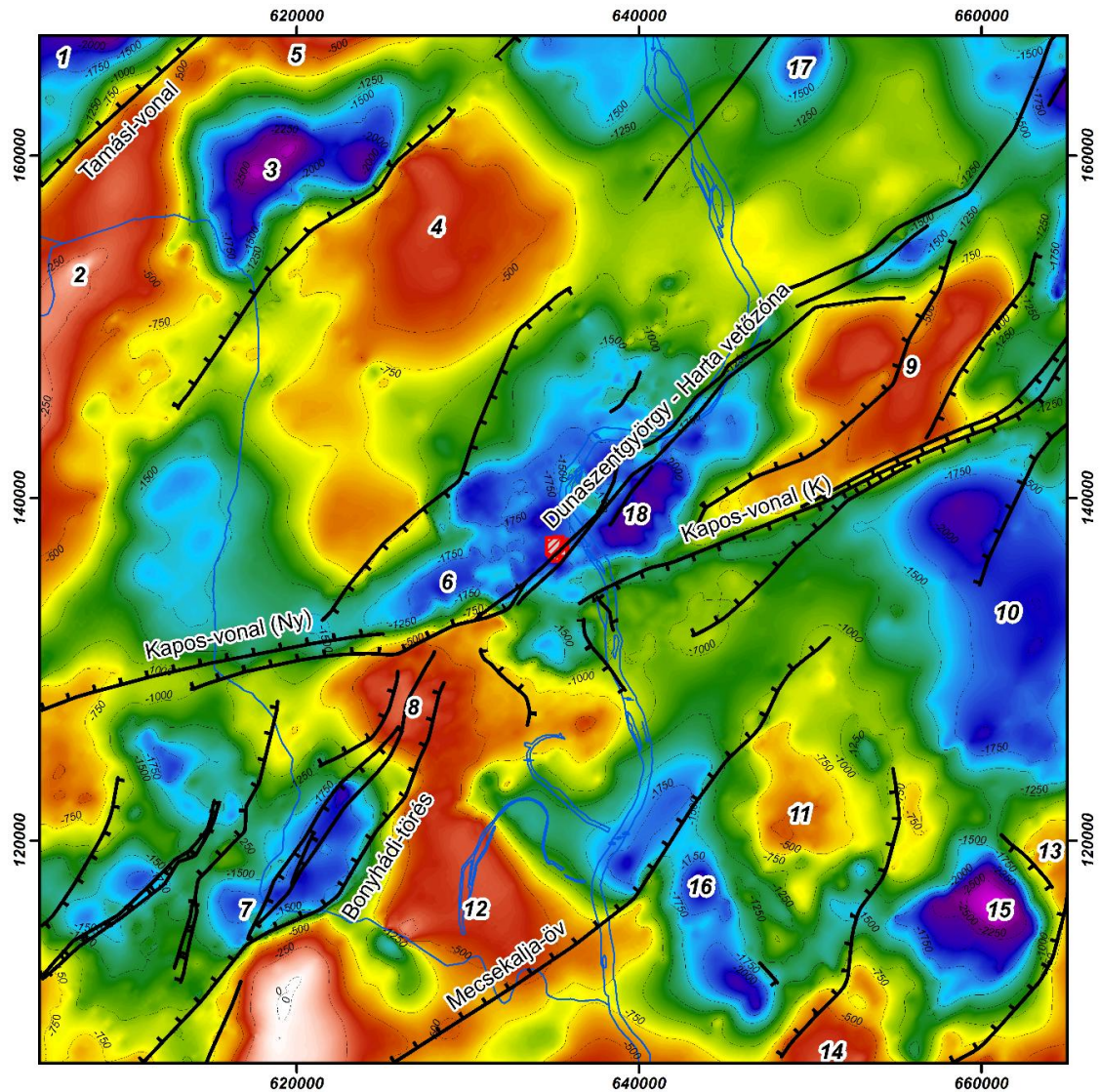
sekélyfúrásokkal, valamint árkolással kerültek kimutatásra, s eszerint felszín közeli, aktív tektonikával kell számolni a szélesebb kutatási területen. Az aktív tektonika lehetőségét a szeizmológiai analízis és a szeizmikus forrásmodellek is alátámasztják (ld. TBJ II. [5.3.2.2.2. fejezet](#)).



5.2.1.2.6-3. ábra: A kutatási területen azonosított vetők áttekintése. Piros vonalak: 3D numerikus vetőmodellel rendelkező vetők, fekete vonalak: egyéb, kisebb vetők

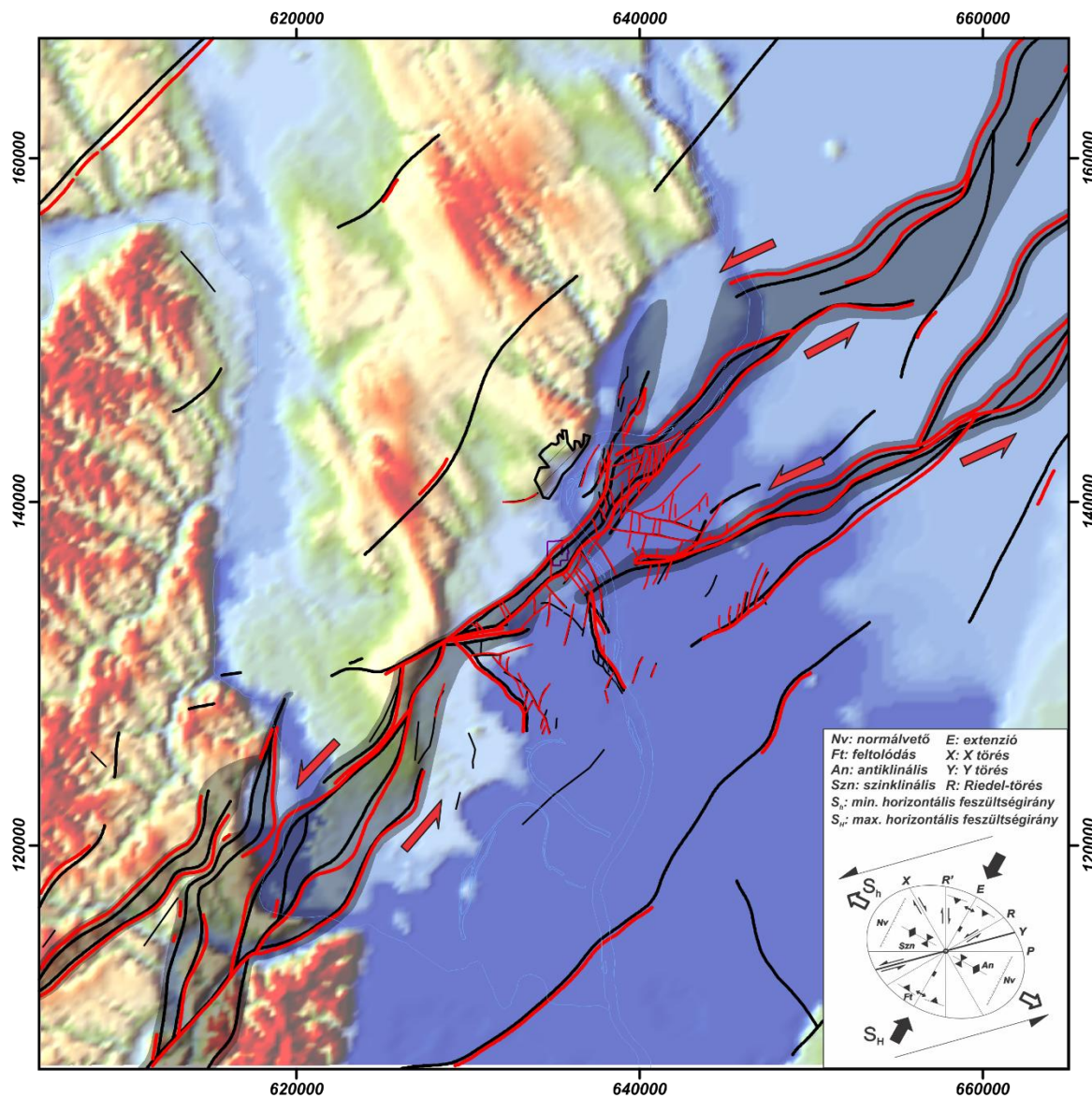


5.2.1.2.6-4. ábra: A 3D földtani modell vetőfelületeinek perspektivikus nézete DDK felől a pannon fekü (színezett) és az Algyői Formáció tetejének (transzparens) horizontjaival. A pirossal jelölt vetők a Bonyhád-Dunaszentgyörgy-Harta, míg a zölddel jelölt vetők a Kapos-Kelet neotektonikus deformációs zónát jelölik



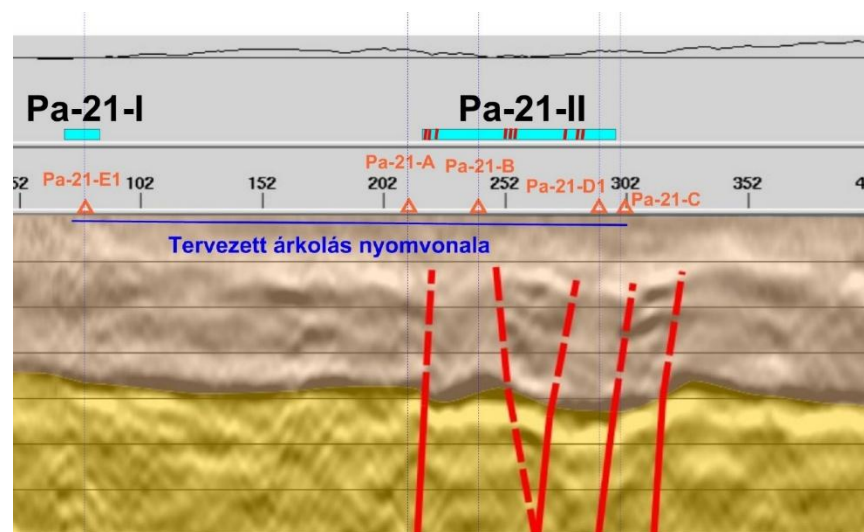
5.2.1.2.6-5. ábra: A kutatási terület és tágabb környezetének főbb aljzat-morfológiai elemei és vetőrendszerei. A vetőtüskék az adott vető dőlésirányát jelzik, a tüske nélküli vetők (közel) függőleges helyzetűek

Mindezek mellett bizonyítást nyert az is az árkolások eredményei alapján, hogy a negyedidőszaki üledékekben megjelenő virágszerkezetek nem hoznak létre szignifikáns felszíni elmozdulást. Általános tapasztalat, hogy a kis-közepes ($M_w < 6$) földrengésekhez kapcsolódó szakadási síkok nem érik el a földfelszín, vagy a felszín irányában a deformáció elenyészik. A magyarországi viszonyok között a földrengések átlagos fészekmélysége 8-10 km. A komplex vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy a kutatási területen százezer éves időskálán bekövetkező szeizmikus események nem képesek a felszín szignifikáns elvetésére, azaz a törési síkok nem tekinthetők kapabilisnek. A felszín szignifikáns elmozdulásmentességét bizonyítják az ürgeodéziai vizsgálatok eredményei, valamint az a körülmény is, hogy a részletes földtani és geomorfológiai térképezés sem azonosított tektonikus eredetű felszíni deformációkat.

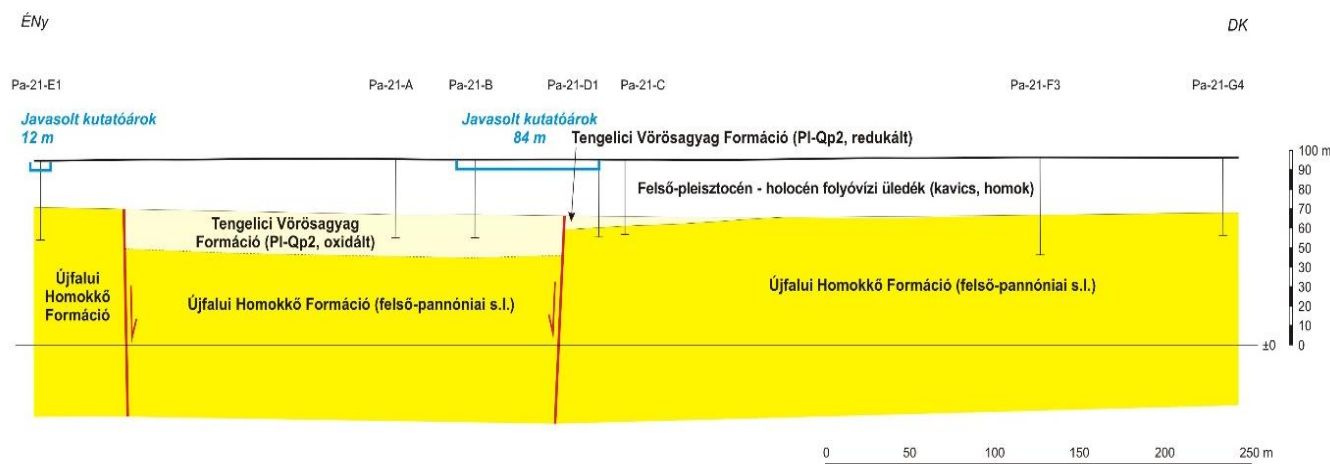


Piros vonalak: a pannon/kvarter határig felhatoló vetők, fekete vonalak: az Algyői Formáció tetejét átmetsző vetők. Bal sarokban: az eltolódási zónákban kialakuló vetőkép elvi sémája a regionális feszültségtér orientációjának figyelembevételével

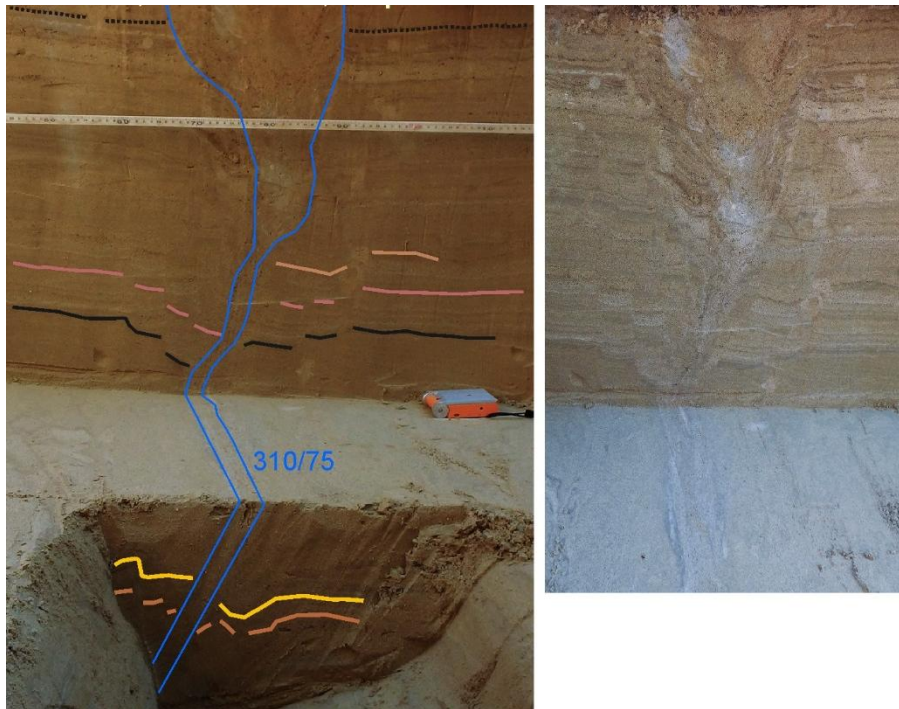
5.2.1.2.6-6. ábra: A kutatási terület meghatározó neotektonikus vetőzónáinak (szürke kiemelés) áttekintése



5.2.1.2.6-7. ábra: A Pa-21-S szelvény felnagyított részlete, késsel jelölve az árkolások két helyszínét (Pa-21-I és –II)



5.2.1.2.6-8. ábra: A Pa-21 szelvény fúrásainak előzetes földtani értékelése



5.2.1.2.6-9. ábra: A Pa-21 szelvény menti kutatóárok részlete (K-i fal 43,7 m)



5.2.1.2.6-10. ábra: A Pa-21 szelvény menti kutatóárok falának értelmezett részlete

5.3. Szeizmológia

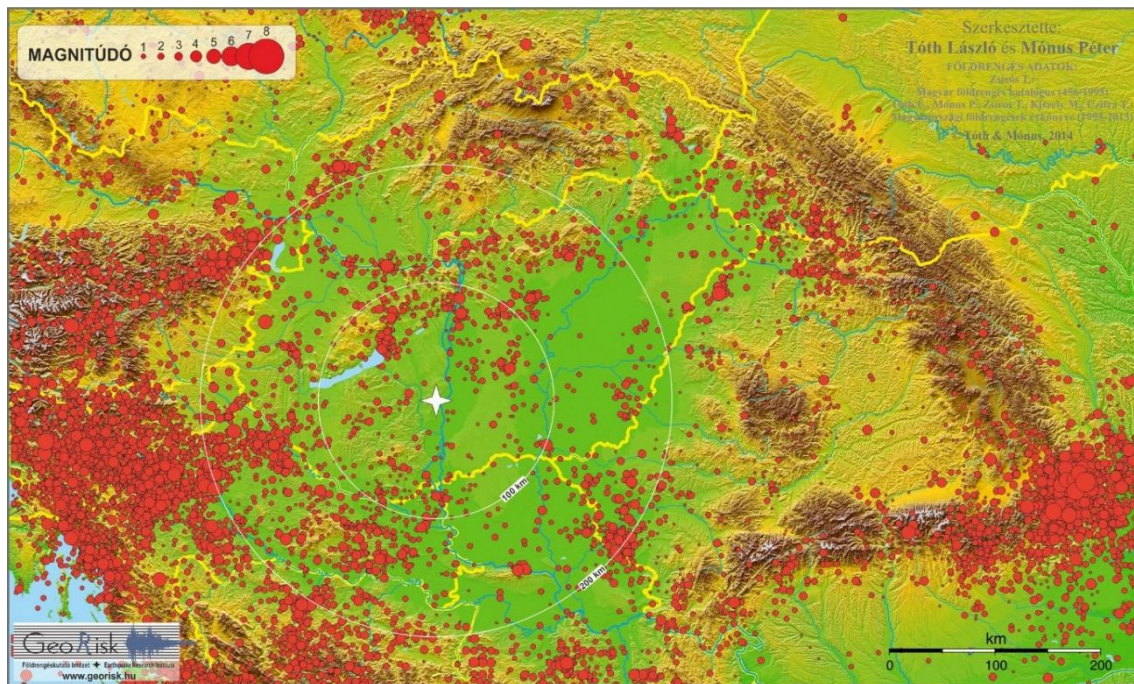
5.3.1. A telephely szeizmicitása

5.3.1.1. Regionális szeizmicitás a Pannon-medencében

Hazánk nagytektonikai környezetében, a Pannon-medencében és a környező hegységeken, napjainkban is aktív tektonikai folyamatok zajlanak, emiatt bizonyos tektonikai egységek egymáshoz képest törésvonalak mentén elcsúszhatnak. Ezeket a mozgásokat gyakran kíséri földrengés kipattanása. A térség szeizmicitásának elemzésével az aktív törésvonalak bizonyos feltételek mellett kijelölhetők, a szerkezeti egységek laterális elmozdulása meghatározható. Az aktív tektonikai folyamatokat legjobban tehát az adott terület szeizmicitás képe mutatja. A vizsgált területen a regisztrált rengések túlnyomó többsége a 3-5 közötti magnitúdó tartományba sorolható, ennél erősebb szeizmikus események csak viszonylag ritkán és térben lokalizáltan fordulnak elő. Ezek alapján a Pannon-medence térségét a szeizmikusan közepesen aktív területek közé kell sorolni. A tektonikai aktivitás átmenetet képez a lemezperemi (pl. Japán, Ny-USA) és a lemezen belüli területek (pl. Anglia) között.

A Pannon-medence és környéke szeizmicitását ábrázoló térképen (TBJ II. [5.3.1.1-1. ábra](#)) jól látható, hogy a legintenzívebben az Adriai-tenger peremi vidékei deformálódnak. A Déli-Alpok területén az északi irányú térrövidülés az uralkodó. A Dinári-hegységben jobbos eltolódásokat észleltek transzpressziós jelleggel, az aktív kompresszió itt is szembetűnő. Ezek alapján egyetértés mutatkozik abban, hogy a megfigyelt deformációs képért legelsősorban az Adriai-mikrolemeznek az óramutató járásával ellentétes forgása és az Európához képest északias mozgása tehető felelőssé. Ez az észak felé sodródó, viszonylag merev, kontinentális kérgű blokk folyamatos nyomást fejt ki mind az Alpok, mind pedig a Dinaridák láncolatára.

A Déli-Alpokhoz és a Délkeleti-Kárpátokhoz viszonyítva a Pannon-medence belső (hazai) területein gyengébb a tektonikai aktivitás. A szeizmicitás viszont egyértelműen mutatja, hogy a Pannon-medencében a Kárpátok orogén ívéhez hasonlóan az aszeizmikusnak tekinthető Kelet-Európai táblához viszonyítva nagyságrendekkel nagyobb energiák szabadulnak fel a földrengések során. Ez alapján a Pannon-medencét feltétlenül a tektonikusan aktív területek közé kell sorolni. A mérsékelt aktivitás miatt persze sokkal nehezebb precíz szeizmotektonikai modelleket kidolgozni – így pl. aktív vetőket kijelölni –, mint a medence déli peremvidékein. A nehézségek ellenére lehetséges néhány szeizmoaktív zóna behatárolása. Az [\[5-47\]](#) szerint ezek a nyírási övek korábbi, főképp neogén szerkezeti elemeknek feleltethetők meg. Ezek reaktiválódásához köthető a magyarországi földrengések zöme. Vannak kivételek is, ahol rendkívül fiatal törésvonalakhoz kapcsolódó szeizmoaktív zónák körvonalazhatók. Jó példa erre a Komárom – Móri-árok zónájában tapasztalható földrengés tevékenység. A Pannon-medence térségében található néhány merevebb blokk egymáshoz képest szeizmoaktív vetők mentén csúszik el. Ezen törések többsége már a Pannon-medence korábbi története során is aktív volt. Jó példa erre a Keleti-Alpokból induló, a Bécsi-medencét déli oldalról határoló és nagyjából Zsolnánál elvégződő Mur – Mürz – Žilina szeizmikus zóna. Az ALCAPA-egységet délen a szintén aktívnek mutató Periadriai- és Zágráb-vonal határolja, amelynek folytatása valószínűleg a Kapos-vonalban keresendő. Ez a törés tovább vizsgálható Paks környékétől egészen Kecskemétiig (TBJ II. [5.2.1.2.6. fejezet](#)).



5.3.1.1-1. ábra: A Pannon-medence térségének szeizmicitása. A piros körök a földrengések epicentrumát mutatják, a körök nagysága a magnitúdóval arányos. A fehér csillag a telephelyet mutatja, a 100 és 200 km sugarú kör a tájékozódást segíti

5.3.1.2. Történelmi rengések

A magyarországi szeizmológiai hálózat detektálási és helymeghatározási képessége az ország nagy részén 1995-ig nem ment az érezhető földrengések szintje alá. Ezért a Pannon-medence térségének szeizmicitásáról alkotott kép csaknem kizárólag a történelmi rengések epicentrum eloszlásán alapszik. A régi rengésekről csak makroszeizmikus adatok állnak rendelkezésre. A makroszeizmikus anyag minősége térben és időben nagyon heterogén. Mivel mindig településekhez kötött adatokról van szó – melyben tükröződik az adott kor településszerkezete és település sűrűsége –, a makroszeizmikus epicentrumok meghatározása igen bizonytalan. Ez az értelmezésben könnyen oda vezethet, hogy az ismert szeizmicitást nem lehetséges ismert tektonikai vonalakkal kapcsolatba hozni. Másfelől pedig minél távolabbi múltba tekintünk vissza, annál hiányosabb a történelmi rengések adatbázisa [5-62].

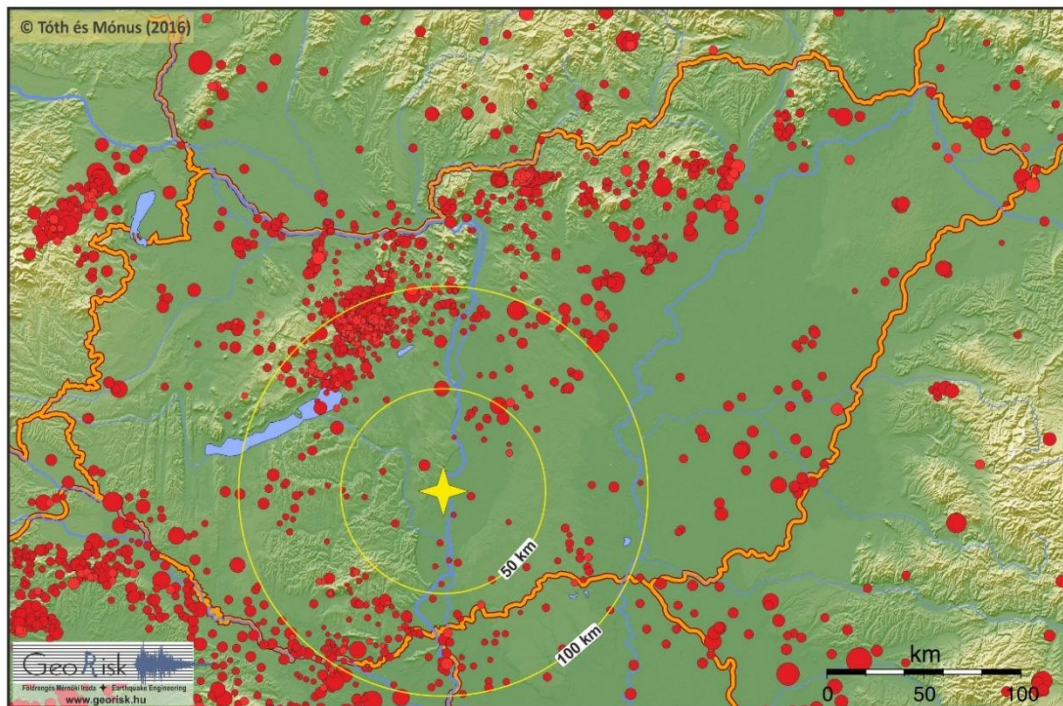
A rendelkezésünkre álló feljegyzések alapján a legkorábbi földrengés 456-ból ismert, amikor egy erős rengés rázta meg Savariát (ma Szombathely), a római birodalom egyik nyugati központját. A legnagyobb, Magyarország mai területén keletkezett földrengés az 1763-as komáromi rengés, melynek az epicentrális intenzitása elérte a 9-es fokozatot az EMS skála szerint, Mw magnitúdója pedig kb. 6,5 volt.

5.3.1.3. Jelenkori szeizmicitás a legújabb mérések alapján

A földrengésveszély meghatározása és a szeizmotektonikai modellek pontosítása szempontjából az utóbbi két évtized legnagyobb fejlődését a mikroszeizmikus megfigyelő hálózatok kiépítése jelentette.

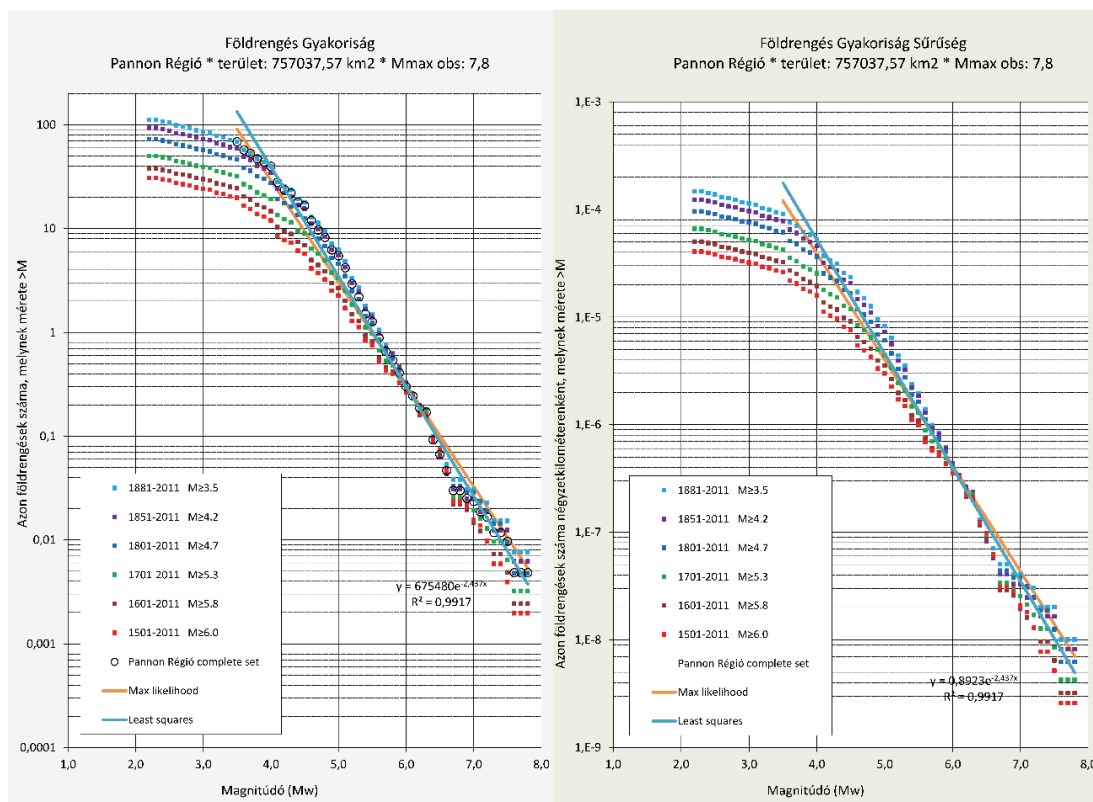
A lokális hálózatok húsz éves működésének eredménye összesen több mint 2 000 recens rengés, illetve ezek pontos hipocentrum adatai (TBJ II. [5.3.1.3-1. ábra](#)). Megállapítható, hogy a mai rengések nagy része eddig is ismert zónákhoz, aktív törési övekhez, azaz tektonikai zónákhoz köthető (pl. Mur – Mürz – Žilina-vonal, Berhida -Komárom szeizmikus zóna, Kapos -vonal, Dunaharaszti és Kecskemét környéke). A szeizmogén kéreg vastagsága max. 20 km, a rengések több mint fele a 10-15 km-es mélységtartományhoz kötődik.

A történeti szeizmicitás ismerete és a mikroszeizmikus monitorozás eredményének kombinációja lehetővé tette egy megbízható földrengés gyakorisági összefüggés meghatározását egészen széles magnitúdó tartományban (TBJ II. [5.3.1.3-2. ábra](#)).



A sárga csillag a telephelyet mutatja, az 50 és 100 km sugarú kör a tájékozódást segíti

5.3.1.3-1. ábra: Földrengések Magyarországon az 1995-2015 időszakban (több mint 2000 földrengés).



5.3.1.3-2. ábra: Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség a teljes Pannon régióban

5.3.1.4. Lokális szeizmicitás a paksi telephely környezetében

Paks környezetének szeizmikus aktivitása határozottan alacsonyabb, mint a magyarországi átlag. A közel hatezer magyarországi eseményt tartalmazó földrengés adatbázisban mindössze ötven olyan rengés található, amelynek az epicentruma nem esett 50 km-nél távolabb a telephelytől. Ezek közül négy rengés magnitúdója volt nagyobb, mint 3,5, melyek már kisebb-nagyobb épületkárokat is okozhattak az epicentrum környékén.

5.3.2. A telephely földrengés-veszélyeztetettsége

Egy terület vagy telephely földrengés-veszélyeztetettségének meghatározásához – vagyis egy jövőben valószínűsíthető földrengés hatásaként fellépő talajgyorsulás jellemzőinek kiszámításához – két eljárás használatos: a determinisztikus és a valószínűségi módszer.

Mindkét számítási módhoz ismerni kell a régió szeizmicitását és földrengés forrászónáinak jellemzőit, valamint a területre érvényes csillapodási összefüggéseket.

Az NBSZ 7.5.2.0200. pontja szerint a biztonsági földrengés jellemzőit – Magyarország geológiai, tektonikai és szeizmológia sajátosságaira tekintettel – a szaktudomány által elfogadott valószínűségi módszerrel kell meghatározni.

A földrengés-veszélyeztetettség meghatározásához össze kellett gyűjteni és értékelni kellett a szeizmológiai, geológiai és geofizikai, geotechnikai jellemzőket, s rendelkezni kell a vizsgálati terület történelmi és műszeresen regisztrált földrengéseinek minél teljesebb katalógusával.

A rendelkezésre álló történelmi és műszeres adatok összegyűjtése, felhasználása mellett, célzott geológiai, geofizikai és geotechnikai vizsgálatokat kerültek végrehajtásra a földrengésveszély megállapításának megalapozásához.

A telephely környezetében a mikroszeizmikus aktivitást megfelelően telepített és érzékeny rendszerrel monitorozni kell. A megfigyelésnek olyan időtartamot kellett felölelni, amely a mikroszeizmikus aktivitást reprezentálja, és össze kellett gyűjteni más megfigyelésekből minden releváns adatot.

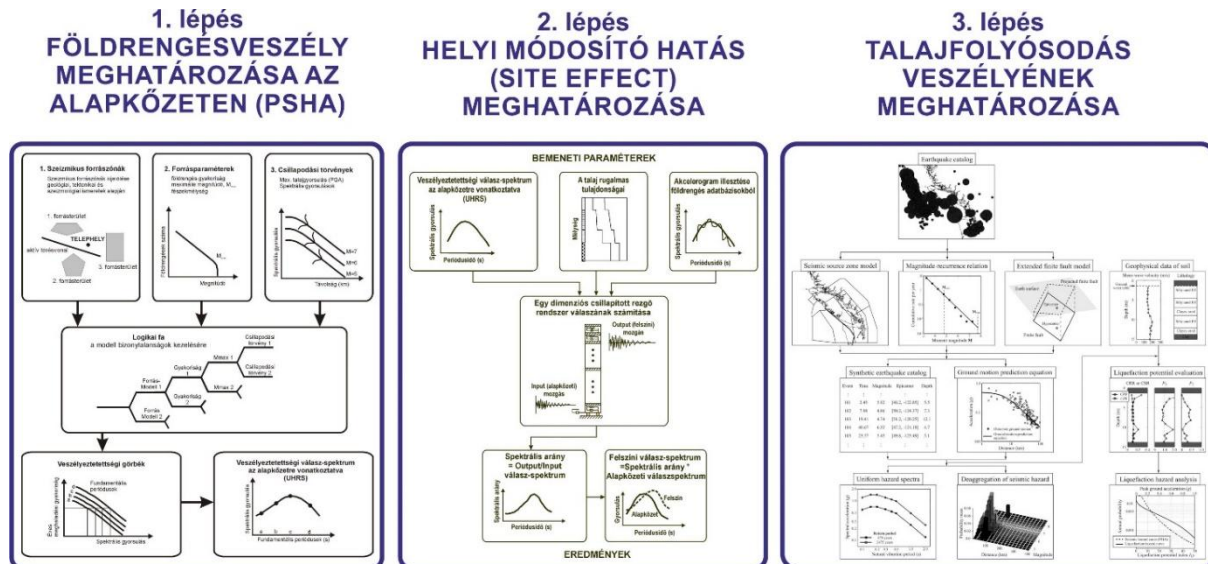
A szeizmotektonikai jellemzők és a speciális telephelyi viszonyok figyelembe vételével meghatározásra kerültek a biztonsági földrengés jellemzői, így különösen a maximális talajgyorsulás, a válaszspektrum és az erős mozgások időtartama.

A rendelkezésre álló geológiai, geofizikai, szeizmológiai és geotechnikai ismeretek alapján, a telephelyvizsgálat keretében elvégezték a földrengésveszély elemzését a 10^{-7} /év meghaladási gyakoriságig.

Ennek alapján deaggregációval előálltak azok az inputok, amelyek a talajfolyósodás veszély elemzéséhez voltak szükségesek.

A földrengésveszély elemzés az alábbi három lépésben történt (lásd TBJ II. [5.3.2-1. ábra](#)):

1. A földrengésveszély meghatározása az alapközeten (PSHA)
2. Helyi módosító hatás meghatározása; a földrengésveszély meghatározása a felszínen
3. A földrengések következtében kialakuló másodlagos hatások, ez esetben a talajfolyósodás veszélyének meghatározása



5.3.2-1. ábra: A földrengésveszély meghatározásának szakaszai atomerőmű telephely esetében

5.3.2.1. A földrengésveszély meghatározása valószínűségi módszerrel

A valószínűségi földrengésveszély számítás (Probabilistic Seismic Hazard Assessment – PSHA) eredetileg a szeizmikusan kevésbé és közepesen aktív, diffúz szeizmicitású területeken alakult ki (NAÜ SSG-9, NAÜ SRS 89.), mely teljes mértékben megfelel Magyarország geológiai, tektonikai és szeizmológiai sajátosságainak (TBJ II. 5.1. és 5.2. fejezet). A valószínűségi módszernél a számítás alapja a közeli forrászónák földrengés aktivitásának statisztikus jellemzői. A számítási paraméterek bizonytalanságait általában a logikai fa formalizmussal kezelik. Az utóbbi években a valószínűségi megközelítés egyre általánosabbá vált a nemzetközi mérnökszeizmológiai gyakorlatban. Ennek legfőbb oka, hogy a bemenő adatok bizonytalanságainak kezelésében és a végeredmény szempontjából legfontosabb paraméterek azonosításában a PSHA sokkal átfogóbb lehetőségekkel rendelkezik, mint a determinisztikus módszer.

A földrengésveszély valószínűségi módszerrel való meghatározásának menetét a TBJ II. 5.3.2.1-1. ábra szemlélteti. Három input csoport (forrászónák, földrengés gyakoriság, csillapodás) ismeretében az alábbi összegzés megadja, hogy a kérdéses telephelyen milyen éves valószínűséggel haladja meg a talajmozgás amplitúdója a^* -ot:

$$Haz(a^*) = \sum_i v_i \iint_r G_{A|m,r}(a^*; m, r) f_{M(i)}(m) f_{R(i)|M(i)}(r; m) dm dr$$

ahol $Haz(a^*)$ az olyan földrengések éves száma, az összes i forrászónára összegezve, mely a telephelyen $A > a^*$ amplitúdójú mozgást idéz elő. A magnitúdó szerinti integrálás általában csak olyan m_0 minimális magnitúdó fölötti értékekre történik, melynél kisebb rengések nem okozhatnak károsodást az épített szerkezetekben. A v_i és $f_{M(i)}(m)$ megadása is csak az m_0 -nál nagyobb magnitúdókra volt szükséges. A magnitúdó eloszlás és gyakoriság meghatározásánál ugyanakkor a kisebb magnitúdójú események ismerete rendkívül fontos.

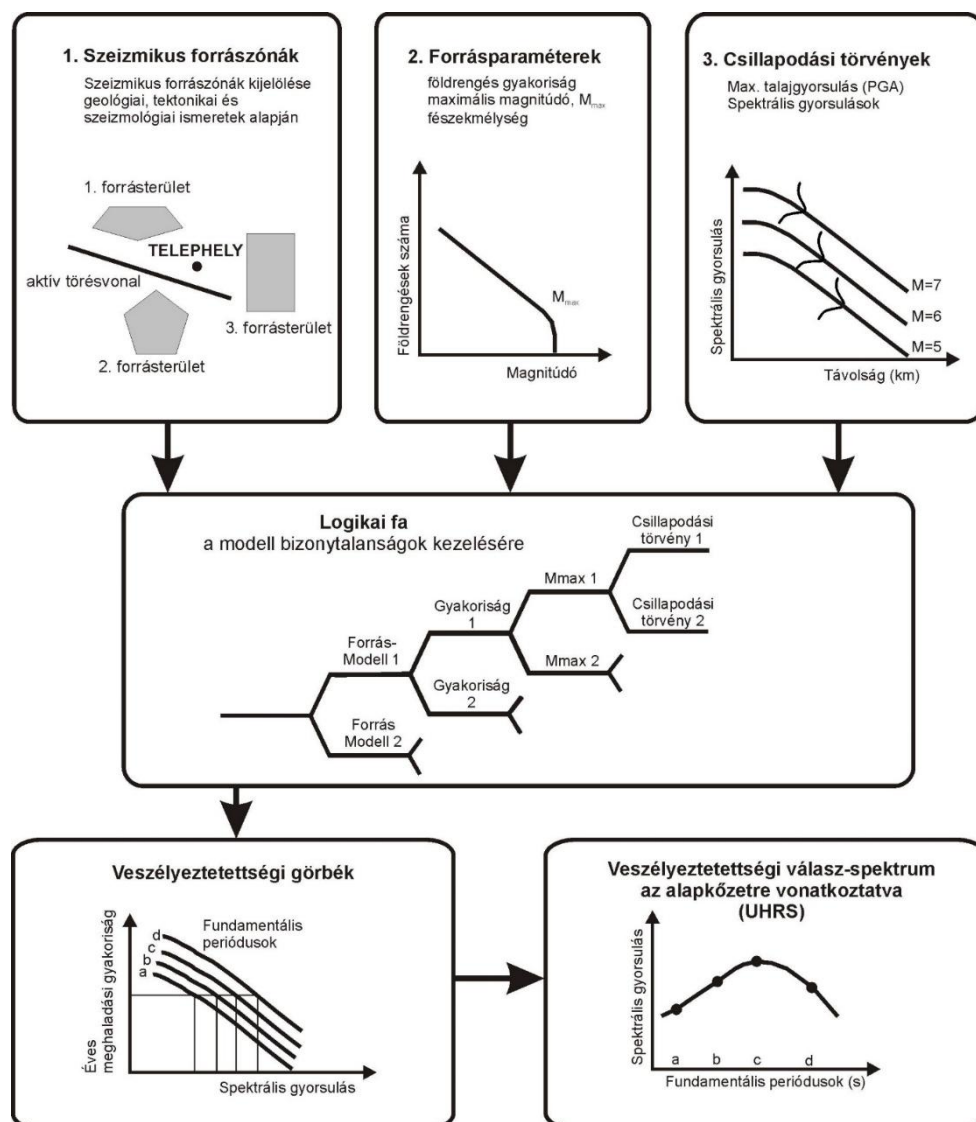
A fenti egyenlet felírásánál azt a feltételezést alkalmazták, hogy a földrengések (különösen az egymást követő rengések) méretben és térben egymástól független események. Szokásos feltételezés a szeizmológiában az is, hogy a földrengések időbeli előfordulása Poisson-folyamat. Mivel a földrengésveszély számítása általában nagyobb amplitúdójú mozgásokra (ritka eseményekre) történik, az a^* többszöri bekövetkezése egy év alatt elhanyagolhatóan kis valószínűségű. Ezért a Poisson-folyamat feltételezésére nincs is szükség, hiszen bár az egyenlet

szigorúan véve az $A > a^*$ amplitúdójú rengések éves gyakoriságát adja meg, de ilyen körülmények között ez jó közelítése az a^* éves meghaladási valószínűségének.

Az egyenlet szerinti számítást a^* különböző értékeire elvégezve eredményül a veszélyeztetettségi görbe állt elő, mely a talajmozgás amplitúdó éves meghaladási valószínűsége a^* függvényében. Az „amplitúdó” adott esetben lehet intenzitás, maximális gyorsulás, maximális sebesség vagy elmozdulás, különböző frekvenciákhoz tartozó spektrális gyorsulások, stb.

A PSHA teljesen megfelel a hazai követelményeknek. A PSHA eredményeként előálltak a biztonsági földrengés jellemzői, a maximális talajgyorsulás, válaszspektrum és az erős mozgások időtartama.

A paksi telephelyre vonatkozó valószínűségi földrengésveszély számítás teljes megújítására került sor. Az FKP keretében szerzett új geológiai és geofizikai ismeretek alapján új földrengés forrásmodellek készültek. A földrengés intenzitásának távolság szerinti csökkenése a legújabb csillapodási egyenletek alapján lett figyelembe véve. A földrengésveszély számításához új átfogó katalógus készült.



5.3.2.1-1. ábra: A földrengésveszély valószínűségi módszerrel való számításának menete

5.3.2.2. A szeizmikus veszélyeztetettség modellezés legfontosabb bemenő adatai

A szeizmikus veszélyeztetettség értékelésének eredményét a korszerű módszerek mellett, azzal legalább azonos mértékben befolyásolja az elemzéshez felhasznált bemenő adatok pontossága és megbízhatósága. Az alábbiak rövid összefoglalását adják a szeizmikus veszélyeztetettség modellezés legfontosabb bemenő adatainak.

5.3.2.2.1. FÖLDRENGÉS KATALÓGUS

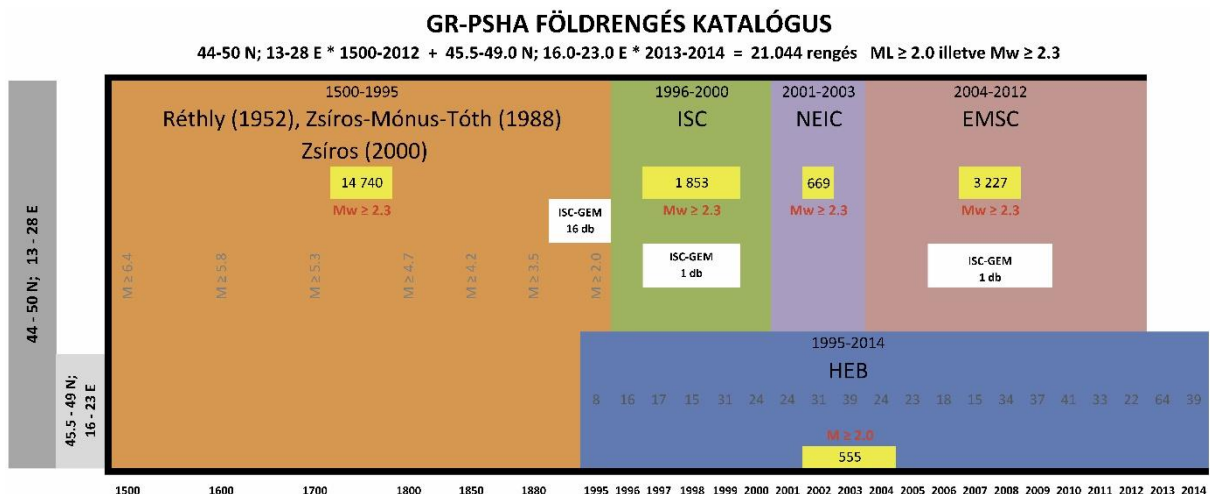
A történelmi idők és a közelmúlt eseményeiből összeállított földrengés katalógus a szeizmikus veszélyeztetettség becslésének legfontosabb, meghatározó jelentőségű bemenő adata. Ennek alapján történt az egyes forrázónákon belüli gyakoriság és a várható legnagyobb magnitúdó meghatározása.

A katalógus négy, időben egymást követő, néha átfedő periódus rengésparamétereinek listájából áll:

- történelmi földrengések,
- korai műszeres megfigyelések,
- lokális mikroszeizmikus monitoring és
- paleoszeizmológiai információk.

A historikus és műszeres rész-katalógusok és források alapján egy átfogó kompozit földrengés katalógus készült a 44° – 50° északi szélesség és 13° – 28° keleti hosszúság által határolt földrajzi ablakra [5-41]. 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 rengések nem szerepelnek a katalógusban.

A katalógus 21 044 földrengést és annak minden ismert hipocentrum adatát tartalmazza (TBJ II. 5.3.2.2.1-1. ábra).



5.3.2.2.1-1. ábra: A szeizmikus veszély meghatározásához összeállított földrengés katalógus szerkezete

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 az [5-59]. Ezen adatok (555 földrengés) esetében az epicentrum

bizonytalansága jellemzően 1- 5 km, a rengések nagysága pedig Richter-féle lokális M_L magnitúdóban van megadva.

A Pannon-régió Magyarországon kívüli területére 1996-2000 között az ISC a legteljesebb forrás, 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 katalógus, illetve az abban szereplő rengés-paraméterek prioritást kaptak minden olyan esetben, amikor valamely rengés abban fellelhető volt.

A katalógus minden eseményére meg lett határozva az M_w magnitúdó. A 20 760 földrengést tartalmazó teljes katalógusban 1 325 klaszter (összesen 5 106 eseménnyel) azonosítható.

A teljes Pannon régió 757 038 km² területére (44°-50° É, 13°-28° K) vonatkoztatott földrengés gyakoriságra az alábbi összefüggés adódott:

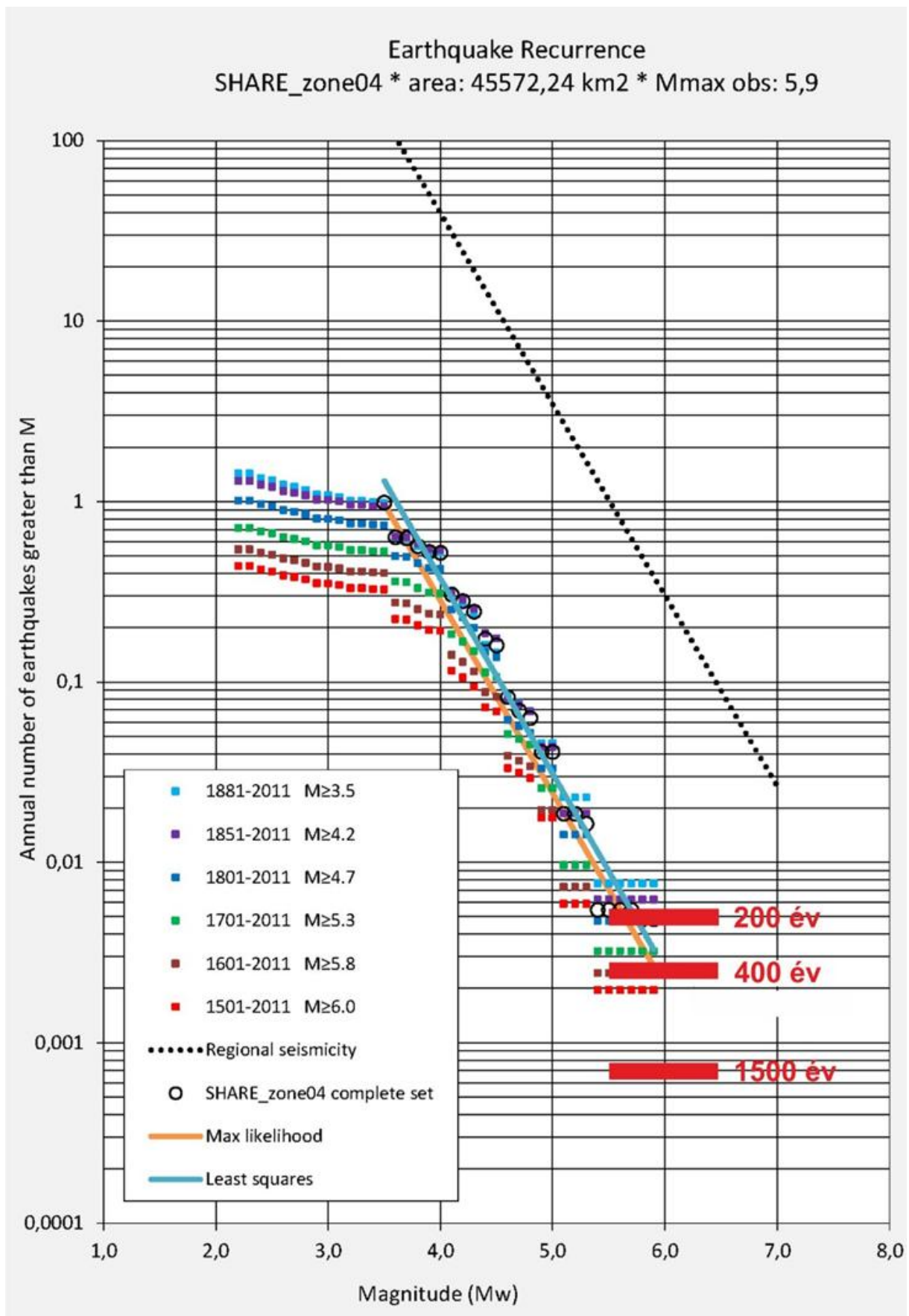
$$\log N = 5,84 - 1,07 M_w$$

ahol N a $\geq M_w$ földrengések éves száma. Az 1 km²-re vonatkoztatott földrengés gyakoriság sűrűsége pedig:

$$\log N = -0,04 - 1,07 M_w$$

Ez azt jelenti, hogy 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.

A kutatási területen több helyen megfigyelhetők voltak paleo földrengésekre utaló jelek, szeizmiték. Néhány feltárásban sikerült a paleo rengésekből visszatérési gyakoriságot is meghatározni. A talajfolyósodást okozó rengések visszatérési ideje 1500 év, 400 év, 200 év körüli érték, mely feltételezve, hogy ezen rengések magnitúdója 5,5-6,5 tartományban lehetett, nagyon jól korrelál a tapasztalt földrengés gyakorisággal (TBJ II. [5.3.2.2.1-2. ábra](#)).



5.3.2.2.1-2. ábra: Tapasztalt földrengés gyakoriság a telephelyet magába foglaló forrászónában és a paleo rengések visszatérési ideje

5.3.2.2.2. SZEIZMIKUS FORRÁSMODELLEK

A valószínűségi földrengésveszély számításához a terület környezetében forrászónákat (forrásterületek) és szeizmikus vetőzónákat kellett kijelölni. E forrásterületek határainak megállapításánál az elsődleges információ a múltbeli szeizmicitás, de nyilván figyelembe kellett 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 kellett tenni a különböző alternatívák súlyozott alkalmazását a számítás során. A forrásmodellek a Magyarország területén jellemző diffúz szeizmicitás mellett elsősorban forrásterületeket tartalmaznak, ahogy az az alábbiakban olvasható [5-44].

A területi jellegű szeizmikus forrásokban általában az tételezhető 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 érték azt mutatja meg, hogyan oszlik meg az adott idő alatt keletkező földrengések száma a kisebb és nagyobb magnitúdójú földrengések között. A nagyobb b érték azt jelenti, hogy a földrengések kisebb hányada jelenik meg nagyobb magnitúdójú földrengések formájában.

Az a és b paraméterek becslése a historikus, illetve műszeres földrengésadatok feldolgozásával történt. Minden földrengéses zónára meghatároztak egy alkatalógust, mely tartalmazza a katalógus zónához kapcsolódó földrengéseit. Ezek alapján megfelelően megválasztott Δm lépésköz segítségével elkészítették az empirikus $N(m_i)$ adatsort. Az a és b mennyiségeket megbízhatóan csak akkor lehet becsülni, ha adataink teljességi jellemzői ismeretesek. Egy földrengés adatsor akkor mondható teljesnek egy adott m_c magnitúdóra vonatkozóan, ha ismert minden $m \geq m_c$ magnitúdójú rengés a vizsgált időszakban. A fenti magnitúdó-gyakorisági összefüggés csak teljesnek tekinthető adatsorokra érvényes.

Az $N(m)$ adatok birtokában többféle módszer segítségével is meghatározható a és b értéke. Ezek közül a két legfontosabb a legkisebb négyzetes és a maximum likelihood illesztési eljárás. A jól ismert legkisebb négyzetes eljárás esetén az m_c -nél nagyobb magnitúdókhoz tartozó $\log N(m_i)$ adatoknak az $a - bm_i$ egyenestől való eltérésének négyzetösszegét minimalizálták.

A maximum likelihood eljárás alkalmazásakor a b érték a következőképpen számítható [5-39]:

$$\beta = b \ln 10 = \frac{1}{\bar{m} - m_c}$$

ahol

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^N k_i m_i}{\sum_{i=1}^N k_i}$$

Itt k_i a földrengések száma az i -dik magnitúdó intervallumban, $m_i = m_0 + i\Delta m/2$ az i -edik magnitúdó intervallum közepe.

Az a paraméter a b érték ismeretében az

$$\exp(a) = \frac{r \exp\left[\beta\left(m_{\min} + \frac{\Delta m}{2}\right)\right]}{1 - \exp\left[-\beta(m_{\max} - m_{\min})\right]} [1 - \exp(-\beta\Delta m)]$$

képlet szerint határozható meg, ahol r az m_{\min} és m_{\max} közé eső földrengések rátája.

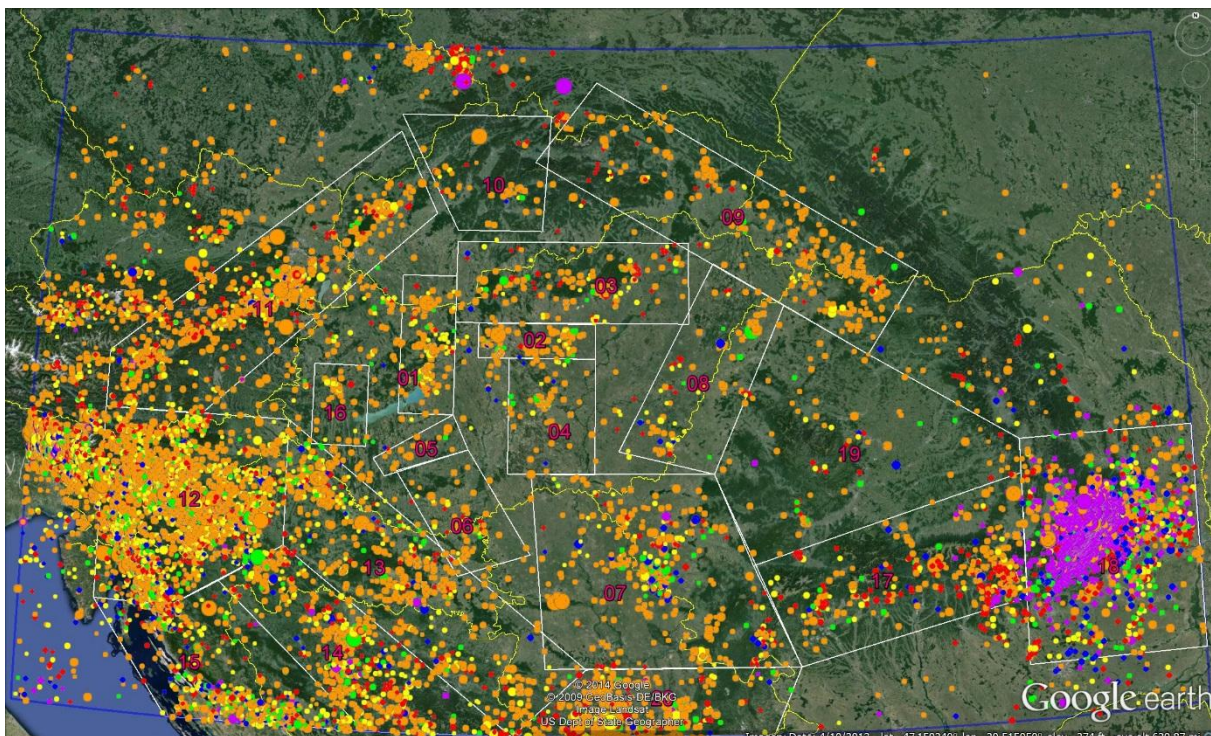
5.3.2.2.2.1. M1 modell

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.

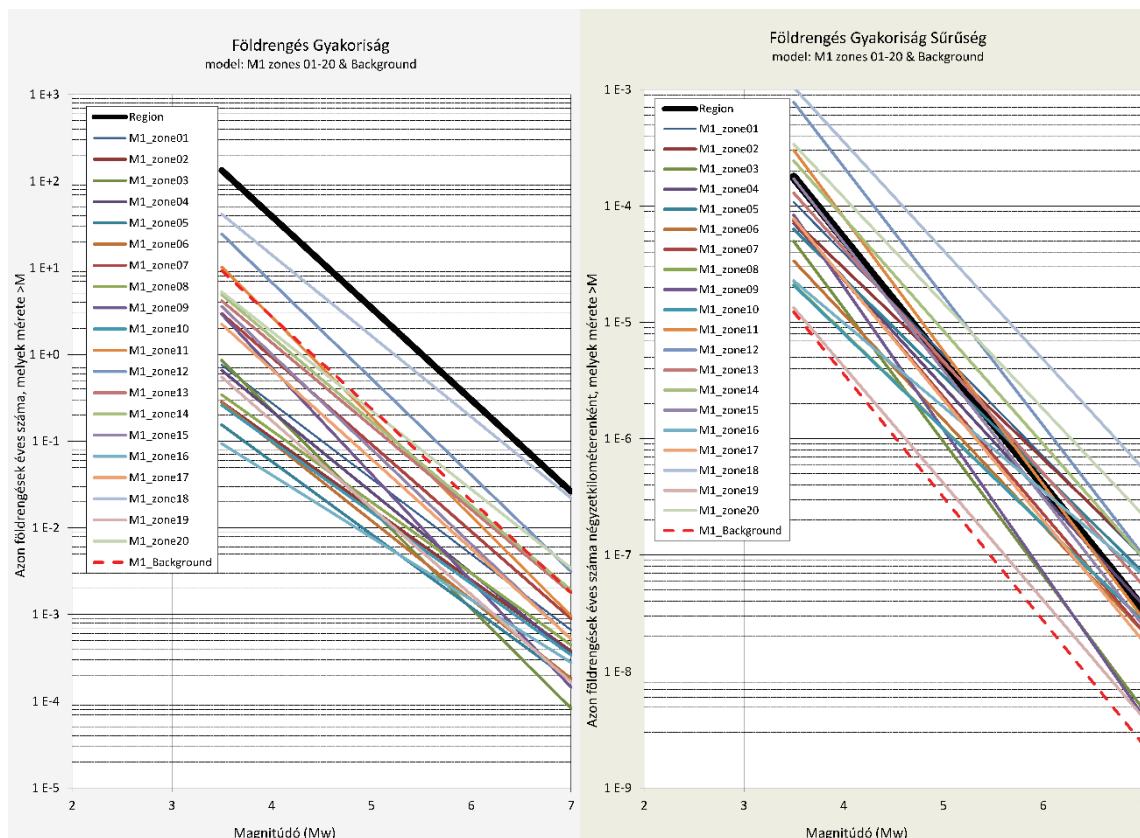
E modell és néhány kicsit módosított változata volt az alapja a földrengésveszély meghatározásoknak közel másfél évtizeden át [5-58]. Az Eurocode-8 hazai bevezetése után a Nemzeti Mellékletben szereplő veszélyességi zónatérkép meghatározásához is ezt a modellt használták. A modell jól illeszkedik az ismert historikus és recens földrengések epicentrum eloszlásához, gyengéje viszont, hogy szinte kizárólag csak a szeizmicitáson alapul, nem vesz figyelembe egyéb szeizmotektonikai ismereteket (TBJ II. [5.3.2.2.2.1-1. ábra](#)). Az egyetlen zónához sem tartozó földrengések alkotják az ún. háttér szeizmicitást.

Az M1 modell szerepeltetése a földrengésveszély meghatározásnál a logikai fában szakmailag továbbra is indokolt és megalapozott volt, már csak a folytonosság fenntartása miatt is.

A TBJ II. [5.3.2.2.2.1-2. ábrák](#) összefoglalóan mutatják az M1 modell forrászónáiban a földrengés gyakoriságokat és gyakoriság sűrűségeket.



5.3.2.2.2.1-1. ábra: Az M1 forrásmodell 20 forrászónája és a Pannon-medence földrengései



5.3.2.2.1-2. 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 bal oldali ábra 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.

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. Ezt a megközelítést alkalmazta az [5-53] 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 alkalmazták a logikai fában a földrengésveszély számításakor.

5.3.2.2.2.2. 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.

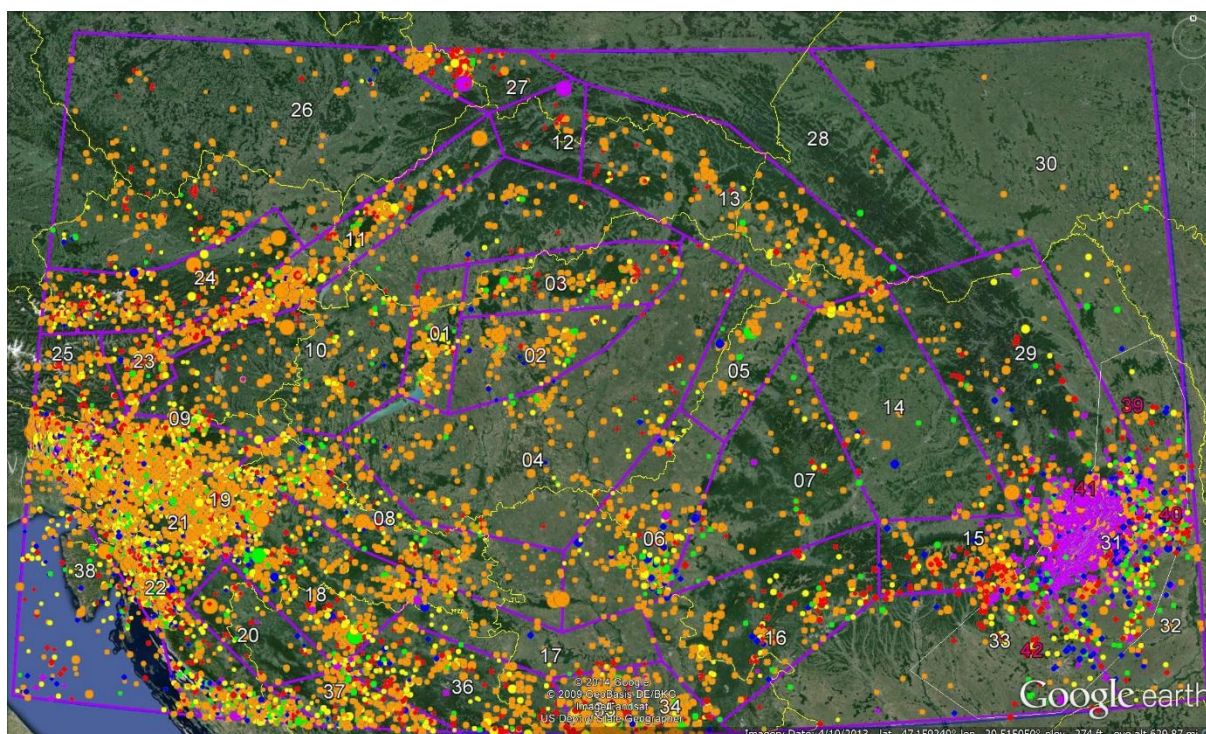
A SHARE forrásmodell 42 forrászónával (TBJ II. [5.3.2.2.2.2-1. ábra](#)) teljesen lefedi a Kárpát-medencét és a környező területeket. A zónák kialakítása során szempont volt, hogy lehetőleg megfelelő számú földrengés adat legyen minden zónában a gyakoriságok statisztikai becsléséhez, de emellett a regionális 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.

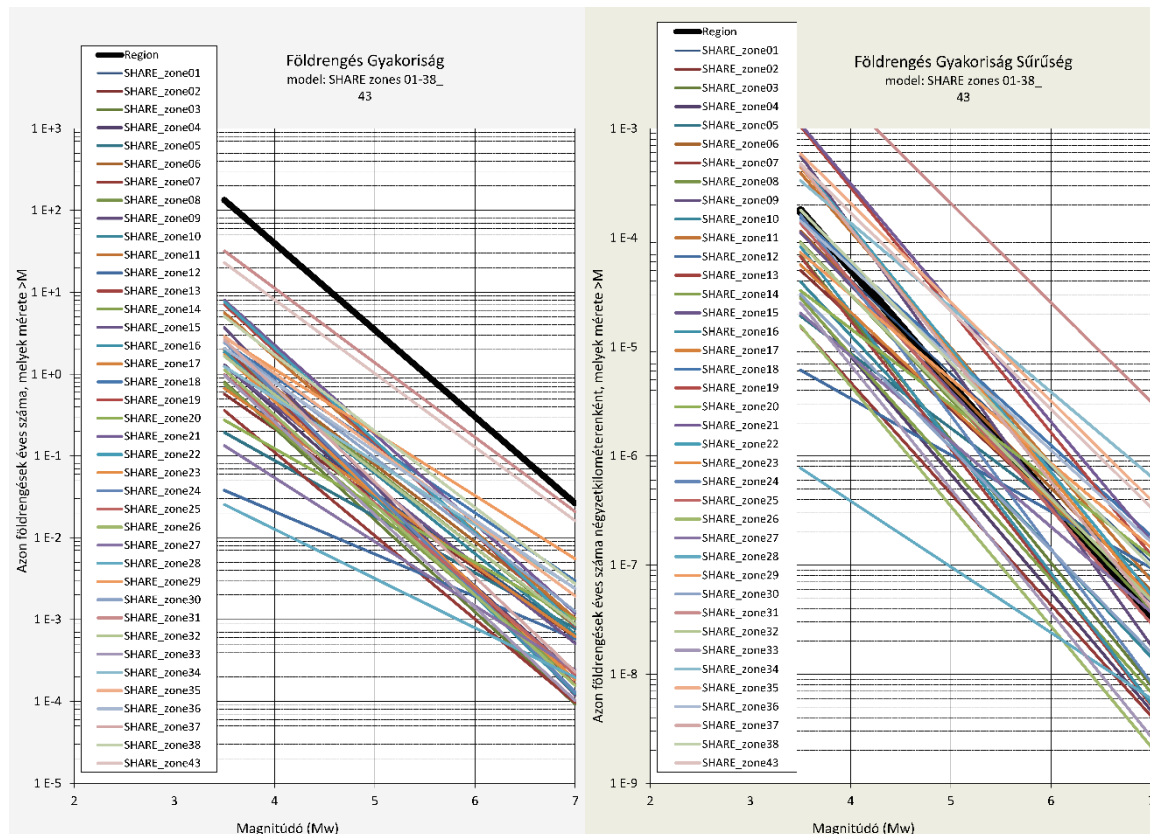
A SHARE modellre a TBJ II. [5.3.2.2.2.2-2. ábrák](#) összefoglalóan mutatják a forrászónákban a földrengés gyakoriságokat és gyakoriság sűrűségeket.

A bal oldali ábra 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.



5.3.2.2.2-1. ábra: A SHARE forrásmodell forrászónái és a Pannon-medence földrengései



5.3.2.2.2-2. ábra: Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség a SHARE modell forrásokban. (A vastag fekete vonal a teljes régió földrengés gyakoriságát és gyakoriság sűrűségét mutatja)

5.3.2.2.2.3. Módosított SHARE modell

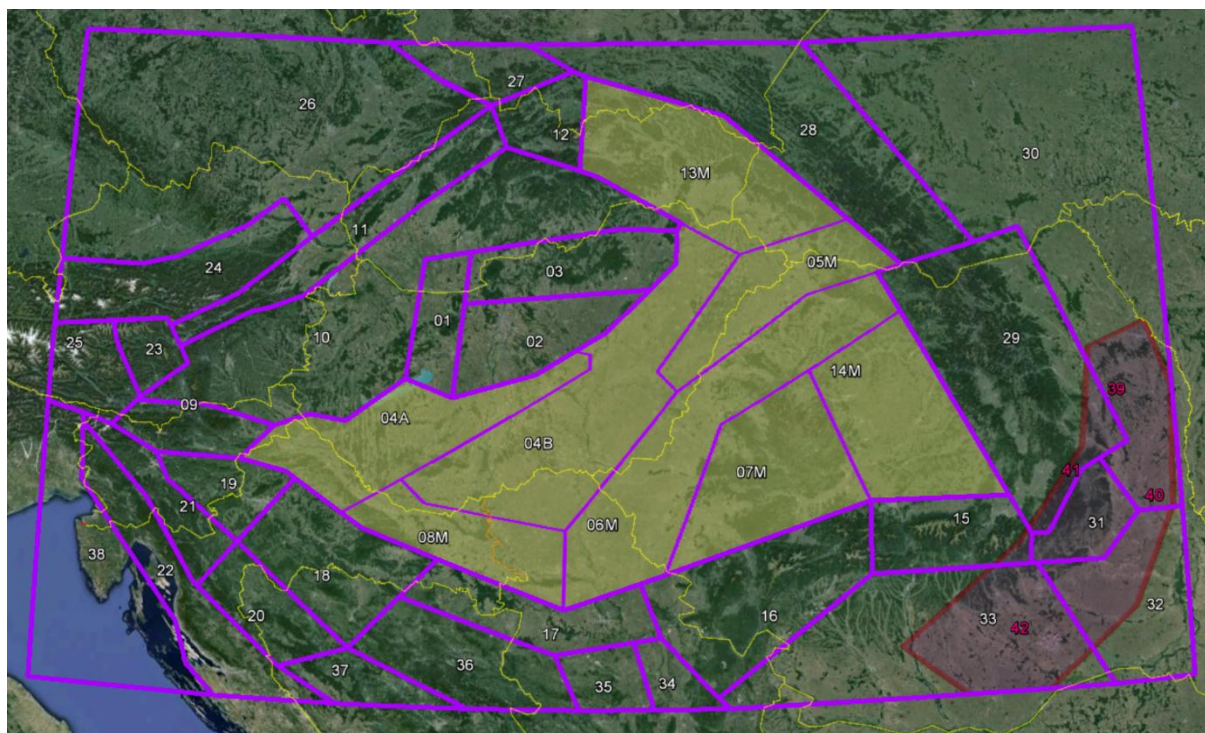
A módosított SHARE forrásmodell (SHARE-MOD) a SHARE modell néhány zónájának módosításával jött létre. Lényegében a medence területét lefedő eredeti zone04 két részre lett osztva (TBJ II. [5.3.2.2.2.3-1. ábra](#)), ily módon a zónák geometriája jobban illeszkedik az ún. közép-magyarországi vonalhoz. Ezen 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.

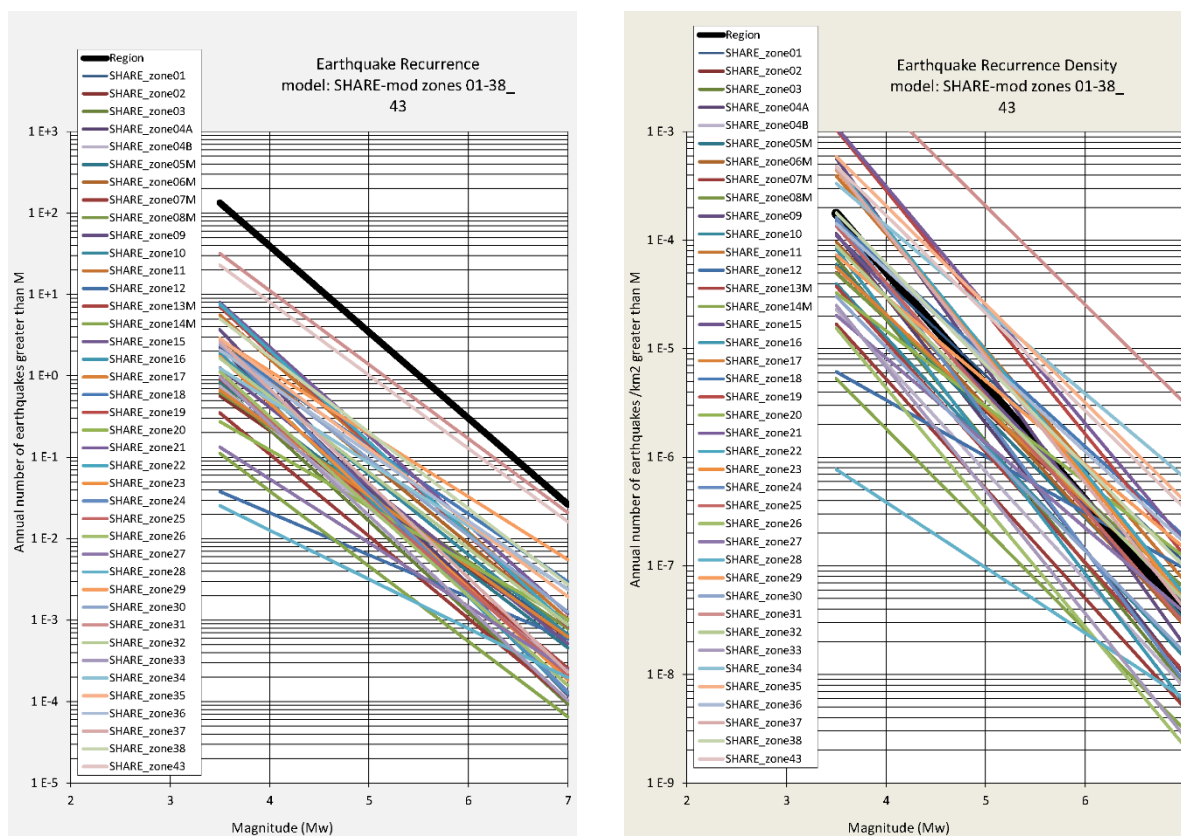
A módosított SHARE modellre a TBJ II. [5.3.2.2.2.3-2. ábrák](#) összefoglalóan mutatják a forrásokban a földrengés gyakoriságokat és gyakoriság sűrűségeket.

A bal oldali ábra 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 sűrűségét mutat.



5.3.2.2.3-1. ábra: A módosított SHARE forrásmodell forrászónái



5.3.2.2.3-2. ábra: Földrengés gyakoriság és gyakoriság sűrűség a módosított SHARE modell forrászónáiban. (A vastag fekete vonal a teljes régió földrengés gyakoriságát és gyakoriság sűrűségét mutatja)

5.3.2.2.3. 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 eloszlása csonkított Gauss-eloszlással írható le az alábbi valószínűségi sűrűség függvény szerint:

$$p(M_u) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{M_u - EM}{\sigma}\right)^2\right]}{\Phi\left[\frac{M_2 - EM}{\sigma}\right] - \Phi\left[\frac{M_1 - EM}{\sigma}\right]}, \quad M_1 \leq M_u \leq M_2$$

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 maximum magnitúdó determinisztikusan meghatározott, értéke pedig EM .

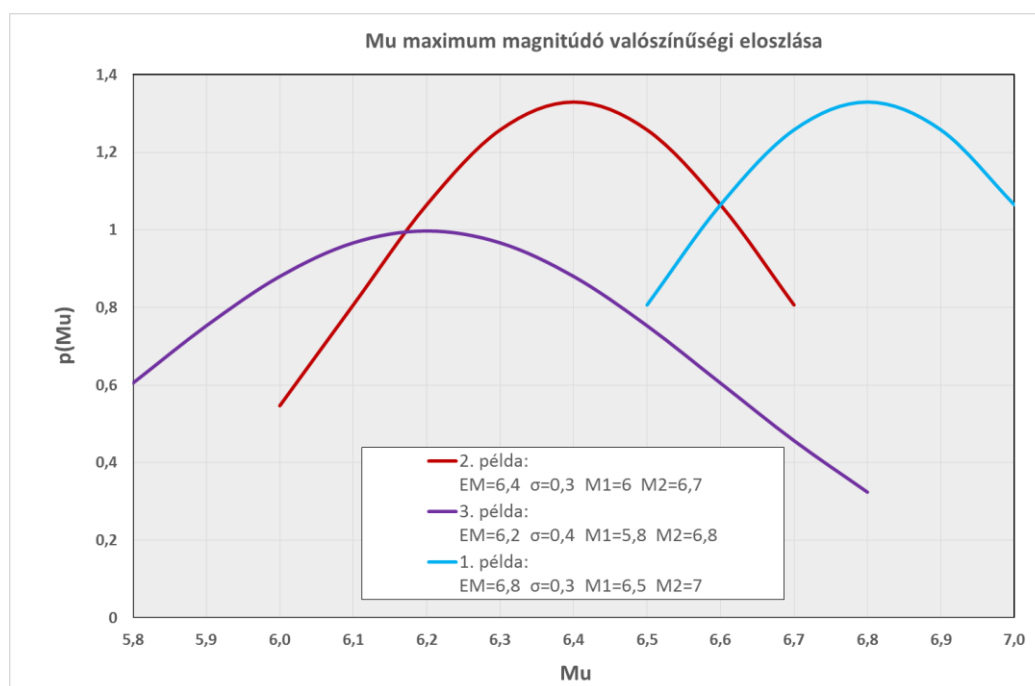
A TBJ II. [5.3.2.2.3-1. ábra](#) három példát mutat az M_u maximum magnitúdó valószínűségi eloszlására.

Az első példában $EM = 6.8, M_1 = 6.5, M_2 = 7.0, \sigma = 0.3$

A második példában $EM = 6.4, M_1 = 6.0, M_2 = 6.7, \sigma = 0.3$

A harmadik példában $EM = 6.2, M_1 = 5.8, M_2 = 6.8, \sigma = 0.4$

A maximum magnitúdó meghatározásához segítséget adtak a különböző paleoszeizmológiai vizsgálatok [[5-45](#)].



5.3.2.2.3-1. ábra: Példák az M_u maximum magnitúdó valószínűségi eloszlására

A telephelyvizsgálat keretében végzett szeizmikus veszélyeztetettség 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 $M_1 < 5,0$
- $\sigma = 0,3$

5.3.2.2.4. CSILLAPODÁS: GYORSULÁS GYENGÜLÉSI ÖSSZEFÜGGÉSEK

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 összefüggés kerüljön felállításra. A földrengés-intenzitás gyengülési vizsgálata [5-42] 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 (TBJ II. 5.3.2.2.4-1. ábra). 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.

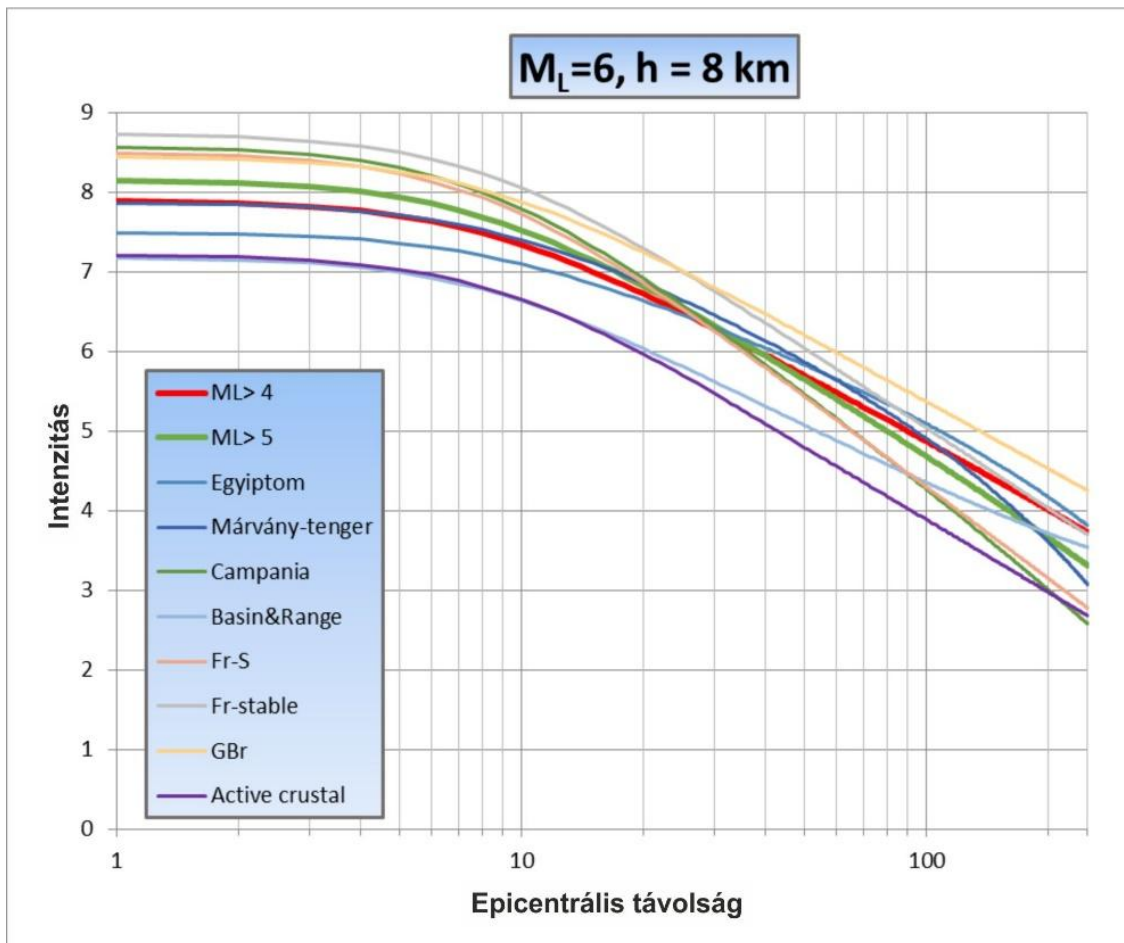
Az ötös magnitúdójú földrengésre számított egyenletre az epicentrum környezetében nagy a hasonlóság Egyiptom és a Márvány-tenger régiójával, azonban nagyobb távolságokra ez nem igaz, a különbség megközelíti az egy intenzitás fokot. A saját területre kapott intenzitás-gyengülési görbe minden epicentrális távolságnál párhuzamosan fut az aktív kontinentális kéregre kapott görbével, de a becsült intenzitás érték minden esetben közel egy intenzitásfokkal nagyobb.

Az elmúlt évtizedekben a digitális adatgyűjtés elterjedése, valamint a gyorsulásmérő berendezések árának nagymértékű csökkenése a gyorsulásgrammok számának növekedéséhez vezetett. Több szerző különböző adathalmazra alapozva az utóbbi 10–15 évben is közel száz gyorsulás-csillapodási egyenletet publikált. Természetesen ezek meglehetősen szórást mutatnak, mely egyrészt a dolog statisztikus természetéből, másfelől pedig a geológiai, tektonikai és szeizmológiai körülmények eltéréseiből adódik. Pl. egy $M=6,0$ magnitúdójú földrengést megvizsgálva 10 km távolságban a legnagyobb horizontális gyorsulás elég nagy tartományban, 0,12 – 0,4 g között valószínű, de akár 0,6 g is előfordulhat.

Az összefüggések némelyike nemcsak kemény kőzetre vonatkozóan adja meg a gyorsulás gyengülés mértékét, hanem laza és tömörödött altalajra is. Ez különösen fontos ebben az esetben, amikor az „alapkőzet” – a pannon üledék határa – fizikailag nem jelent egyértelműen kompakt kristályos kőzetet, hanem inkább konszolidált, tömörödött üledéket.

Az FKP keretében a földrengésveszély számításához az alábbi négy szerzőcsoport összefüggései lettek kiválasztva [5-42]:

- Akkar et al. (2014b)
- Boore et al. (2014)
- Campbell & Bozorgnia (2014)
- Chiou & Youngs (2014)



5.3.2.2.4-1. ábra: A 4-esnél nagyobb, illetve az 5-ösnél nagyobb magnitúdójú Pannon-medencei adatokra illesztett intenzitás-csökkenési egyenletek összehasonlítása más területek csillapodási egyenleteivel (ML=6 magnitúdójú és 8 km-es fészekmélységű földrengés feltételezésével) Rövidítések: Fr-S: Dél-Franciaország, Fr-stable: Franciaország stabil területei, GBr: Nagy-Britannia

5.3.2.2.4.1. Akkar, Sandikkaya és Bommer csillapodási egyenlete

Akkar, Sandikkaya és Bommer 2014-es egyenlete egyike a – számos törökországi rengés regisztrátumát is tartalmazó – RESORCE adatbázis alapján kifejlesztett gyengülési modelleknek. A szerzők a maximális talajgyorsulás (PGA), a maximális talajsebesség (PGV) és a spektrális gyorsulás (SA) távolsággal való csökkenésére egyaránt megadták összefüggéseiket. Az egyenletek legalább 1,5-ször annyi rengésen alapulnak, mint az előző európai modellek, és számos újdonságot tartalmaznak az előző összefüggések generációihoz képest. Például áttértek a nagyobb horizontális komponens megadása helyett a geometriai közép, összhangban más globális összefüggésekkel. Belefoglaltak egy nemlineáris helyi módosító tagot, ami a V_{S30} érték és a referencia kőzetre meghatározott maximális gyorsulás függvénye. A modell alkalmazhatóságát kiterjesztették kisebb, M_w 4 magnitúdóig, így csökkenthető a kis magnitúdóknak az a tartománya, ahol az összefüggések extrapolációja szükséges. Nagyobb távolságokig (200 km-ig), és az előzőeknél szélesebb periódusidő tartományban (0,01 s-től 4 s-ig) használható. Az egyenlet formája robusztusabb, mint a korábban az európai sekély (< 30 km) rengésekre publikált egyenleteké.

A felsoroltakon kívül az indokolta Akkar et al. (2014b) egyenletének választását az öt újonnan kifejlesztett európai összefüggés közül, hogy ennek a munkacsoportnak létezik egyenlete a V/H arányok távolság szerinti csökkenésére is (Akkar et al. 2014a).

5.3.2.2.4.2. Boore, Stewart, Seyhan és Atkinson csillapodási egyenlete

Boore, Stewart, Seyhan és Atkinsonnak az NGA-WEST2 egyenletek közé tartozó, 2014-es formulája Boore és Atkinson 2008-as NGA egyenletének továbbfejlesztett változata. A szerzők megtartották a csillapodási egyenlet korábbi formáját és a paramétereket is hasonló regressziós módszerrel határozták meg.

Hasonlóan a korábbi változathoz, figyelembe vették fészekmechanizmusokat, a nagyobb távolságokon is jelentkező rugalmatlan csillapítást, valamint annak magnitúdó-függését. A helyi módosító hatás figyelembevétele a V_{S30} megadásával történik, és figyelembe veszi közeli kis, valamint a nagy rengéséknél a talaj nemlineáris viselkedését. Eltérően azonban a 2008-as változattól, amikor a szerzők összefüggésüket a lehető legegyszerűbb egyenlet formájában kívánták megadni, az új egyenletet kiegészítették egy mély medence hatást leíró taggal.

Az egyenlet megadja a PGA, PGV, valamint az SA irány független komponensének csökkenését 0,01–10 s között és 400 km távolságig. Oldalelmozdulásos és feltolódásos fészekmechanizmus esetén 3–8,5 magnitúdó tartományban, a geológiai viszonyokat tekintve 150–1500 m/s V_{S30} értékek között és 3 km-es medence mélységig alkalmazható.

5.3.2.2.4.3. Campbell és Bozorgnia csillapodási egyenlete

Campbell és Bozorgnia-nak az NGA-WEST2 egyenletek közé tartozó, 2014-es formulája Campbell és Bozorgnia 2008-as NGA egyenletének továbbfejlesztett változata. Megadja a PGA, PGV valamint az SA irány független komponensének csökkenését 0,01–10 s periódusidők között.

Magában foglalja a vető stílust, a „hanging wall” hatást, a geometriai szóródást, a regionálisan jellemző rugalmatlan csillapítást, a sekély geológia lineáris és nemlineáris módosító hatását. Egyenletük az egyik legbonyolultabb az új generációs összefüggések között, azonban figyelembe vétele azért tűnt már korábban is indokoltnak, mert tartalmazza a mély medencék jelenlétének hullámterjedésre gyakorolt hatását is. Ezt a 2,5 km/s-os S hullám sebességgel rendelkező szint mélységének megadásával lehet figyelembe venni, és hatása elsősorban a nagyobb periódusú mozgásoknál jelentkezik. Az egyenlet az aktív tektonikájú területeken globálisan, 3,3-tól a fészekmechanizmustól függően akár 8,5 magnitúdóig és maximálisan 300 km távolságig alkalmazható.

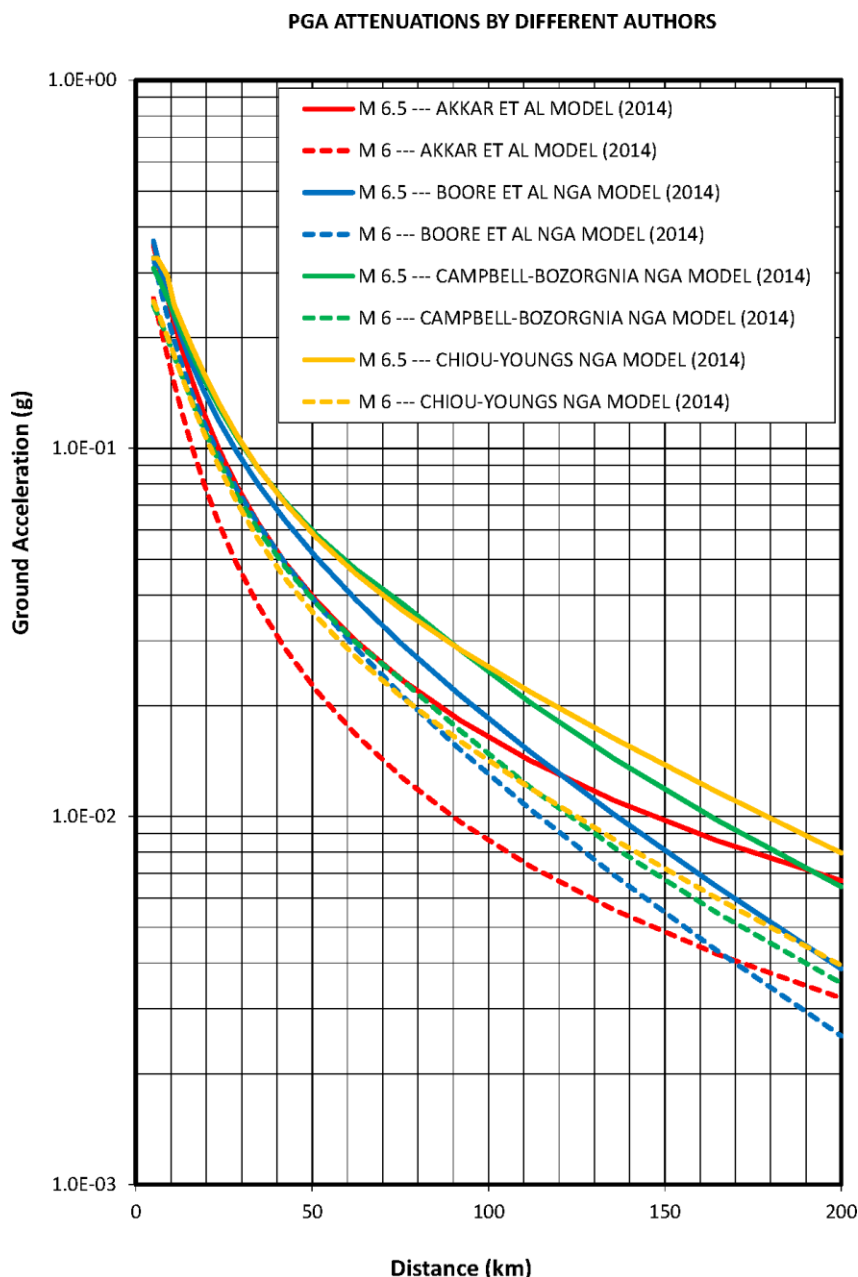
Kiválasztásában az is szerepet játszott, hogy a szerzőpáros a V/H arányra is fejlesztett ki gyengülési összefüggést (Bozorgnia és Campbell, 2004)

5.3.2.2.4.4. Chiou és Youngs csillapodási egyenlete

Chiou és Youngs-nak az NGA-WEST2 egyenletek közé tartozó, 2014-es formulája Chiou és Youngs 2008-as NGA egyenletének továbbfejlesztett változata. Megadja a PGA, PGV, valamint az 5% csillapítás melletti SA irány független komponensének csökkenését 0,01–10 s periódusidők között.

A módosított egyenlet függvényalakja nagyon hasonló a korábbi, 2008-as egyenletéhez. Kisebb kiigazítások a vetőstílusra, a „hanging wall” hatásra, a mélységre és az üledékmélységre vonatkozó tagokban történtek. Ezen kívül két további, a vető dőlésével és törés irányítottágával kapcsolatos tag is beillesztésre került, amelyek azonban a Pannon-medence diffúznak tekinthető szeizmicitásánál nem relevánsak.

Az egyenlet aktív tektonikájú területeken alkalmazható, 3-tól a fészekmechanizmustól függően akár 8,5 magnitúdóig és maximálisan 300 km távolságig (TBJ II. [5.3.2.2.4-2. ábra](#)).



5.3.2.2.4-2. ábra: A földrengésveszély számításához kiválasztott négy csillapodási egyenlet által prognosztizált PGA gyorsulások 6 és 6,5 magnitúdójú rengésekre a távolság függvényében

5.3.2.2.4.5. Az egyállomásos szigma modell és a V_s – kappa korrekció

Az empirikusan meghatározott gyengülési egyenleteket tradicionálisan az ergodikus feltételezés alapján határozták meg, ami azt jelenti, hogy egy rögzített helyen a talajmozgás időbeli változékonyságát azonosnak tekintjük a különböző helyeken regisztrált talajmozgás térbeli változékonyságával. Az előzőekben felsorolt csillapodási összefüggések is mind az ergodikus feltételezésen alapulnak.

A paksi telephelynél a referencia kőzetnek, vagy más néven alapkőzetnek tekintett pannon képződmények V_{S30} értéke 550 m/s, nem tér el jelentősen a kaliforniai általános kőzetprofil 618 m/s-os értékétől. Emiatt a V_s korrekció elvégzése nem szükséges.

A Magyarország központi részén kipattant 50 közeli földrengés hullámformájának analízise alapján megállapítható, hogy P hullámoknál a κ 0,01 és 0,06 között, míg S hullámoknál 0,01 és

0,09 között változik, várható értékük 0,03 illetve 0,04. A kapott paraméterek értéke a hibahatáron belül nem függ az állomások elhelyezkedésétől. Mivel kizárólag közeli rengésekről van szó, ezért a meghatározott értékek jó közelítései a κ_0 -nak. Az értékek nagyon hasonlóak azoknak a területeknek a κ_0 értékeihez, ahonnan a gyengülési egyenletek származnak, ezért a kapp korrekció elvégzésére sem volt szükség.

5.3.2.2.5. A BIZONYTALANSÁGOK KEZELÉSE: LOGIKAI FA

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, mely statisztikailag írható le (mean, medián, fraktálok). A tudáshiányból eredő episztemikus bizonytalanság a szeizmikus veszélyeztetettség meghatározás minden input csoportjára jellemző.

A TBJ II. [5.3.2.2.5-1. 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.

A forrásterületenként változó M_{\max} bizonytalanságát a számításhoz használt CRISIS2007 szoftver „aleatory variability”-ként kezeli.

A logikai fa ágainak súlytényezői többfordulós szakértői egyeztetések és érzékenységi vizsgálatok alapján lettek meghatározva és többszöri iteráció után véglegesítve.

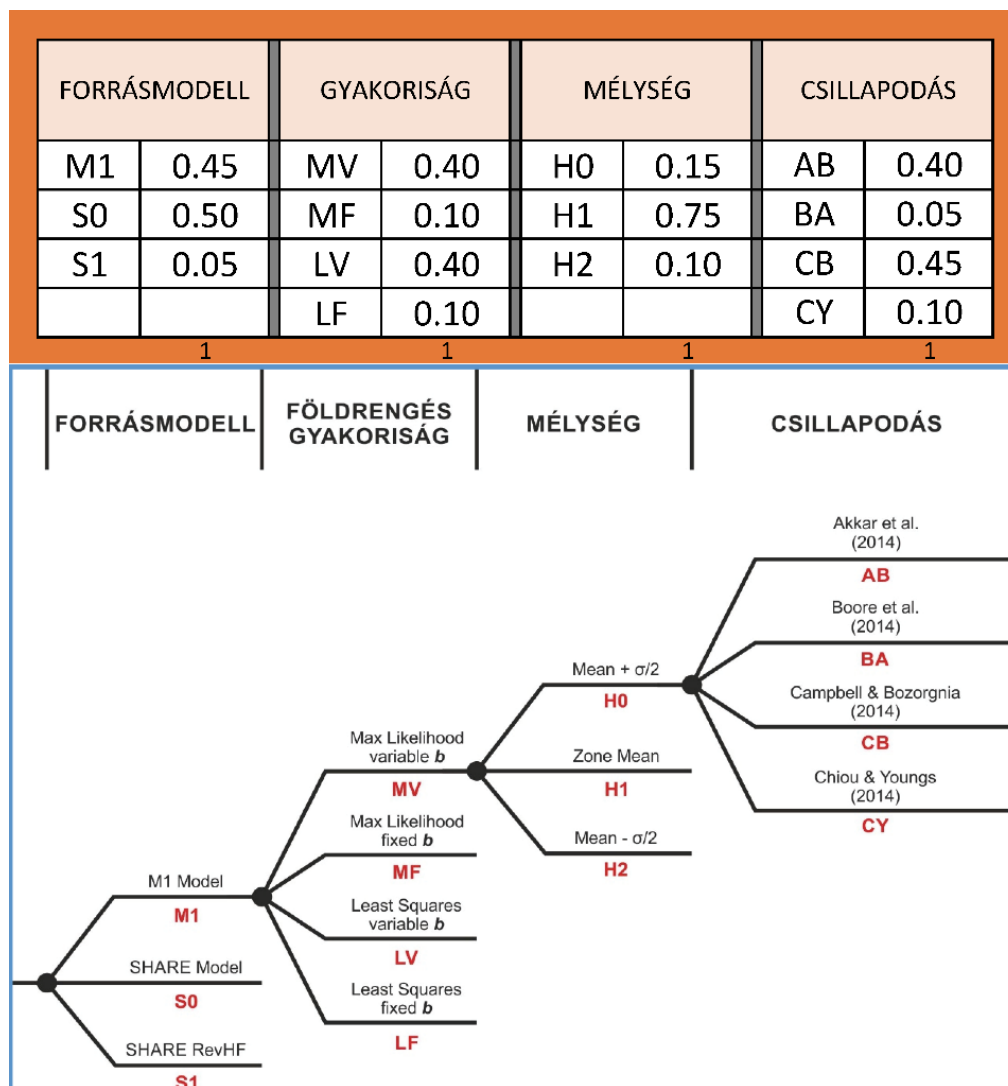
A szakértői egyeztetések során konszenzus alakult ki abban, hogy legjobban az S0 modell reprezentálja az adott szeizmotektonikai helyzetet, legnagyobb valószínűséget (50%) e modell kapott. Ugyanakkor az S1 modell a medence délnyugati peremén tapasztalható magas szeizmicitást a medence belsejébe transzponálja, melyet – bár ez összhangban van a regionális tektonikai elképzelésekkel – az észlelt földrengések eloszlása nem támaszt alá. Ezért az S1 modell lehetőségét fenntartva a hozzárendelt súlytényező viszonylag alacsony (5%).

A szakirodalomban eltérő vélemények vannak arra vonatkozóan, hogy a *maximum likelihood*, vagy a *legkisebb négyzetek* módszerével történő **b** becslés vezet-e realisabb eredményre. Ezért e két lehetőséget egyenlően (50-50%) súlyozták. A regionális földrengés adatok alapján becsült **b** érték alkalmazása minden forrászónára is szokásos mérnökszeizmológiai gyakorlat (pl. az [\[5-54\]](#) is ezt alkalmazta az 1995-ben végzett PSHA során), de elsősorban akkor célszerű, amikor a földrengés katalógus rövid és hiányos, illetve kevés földrengés adat van az egyes zónákban történő egyedi gyakoriság becsléshez. Ez esetben nem ez a helyzet, szinte minden modell minden zónájában elegendő adat áll rendelkezésre a gyakoriság egyedi meghatározásához. Ezért a zónánként változó **b** lehetőségét 4:1 arányban felülsúlyozták a fix regionális **b** –vel szemben.

A Pannon-medencében a földrengések sekély mélységben, elég szűk mélységtartományban keletkeznek. Kivétel ez alól a viszonylag távoli Vrancea zóna, melynek kontribúciója a veszélyeztetettség értékéhez szinte elhanyagolható. A logikai fa összeállításánál során a zónákban tapasztalt mélység várható értékének 75%, míg a „mean + $\sigma/2$ ” és a „mean - $\sigma/2$ ” értékeknek 15% és 10% súlyt adtak.

A csillapodási egyenletek kiválasztása (lásd TBJ II. [5.3.2.2.4. fejezet](#)) és súlyozása nem könnyű feladat. A Pannon-medencében csak néhány közvetlen gyorsulásmérési adat áll rendelkezésre, ezért csak a más, nagyobb szeizmicitású területekre meghatározott összefüggések voltak használhatók. A Pannon-medencére meghatározott intenzitás-csillapodási egyenlet összehasonlítása más területek csillapodási egyenleteivel segítette a megfelelő egyenletek kiválasztásában, illetve az episztemikus bizonytalanságok logikai fa segítségével történő figyelembevételénél a megfelelő súlyok kiválasztásában. A jelentős magyarországi földrengések intenzitás eloszlásának és intenzitás csillapodásának 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. Az ötös magnitúdójú földrengésre számított egyenletre az epicentrum környezetében nagy a hasonlóság Egyiptom és a Márvány-tenger régiójával, azonban nagyobb távolságokra ez már nem igaz, a különbség megközelíti az egy intenzitás fokot. A saját területre kapott intenzitás-gyengülési görbe minden epicentrális távolságnál párhuzamosan fut az aktív kontinentális kéregre kapott görbével, de a becsült intenzitás érték minden esetben közel egy intenzitásfokkal nagyobb.

Mindezek alapján jelentős súllyal Akkar et al. (2014) és Campbell & Bozorgnia (2014) egyenletei kerültek számításba.



5.3.2.2.5-1. ábra: Logikai fa az episztemikus bizonytalanságok kezelésére

5.3.2.3. Veszélyeztetettségi eredmények az alapkőzeten

A veszélyeztetettség számítása [5-73] a nemzetközi mérnökszeizmológiai gyakorlatban egyik legelterjedtebb szoftverrel, a CRISIS2007-tel történt.

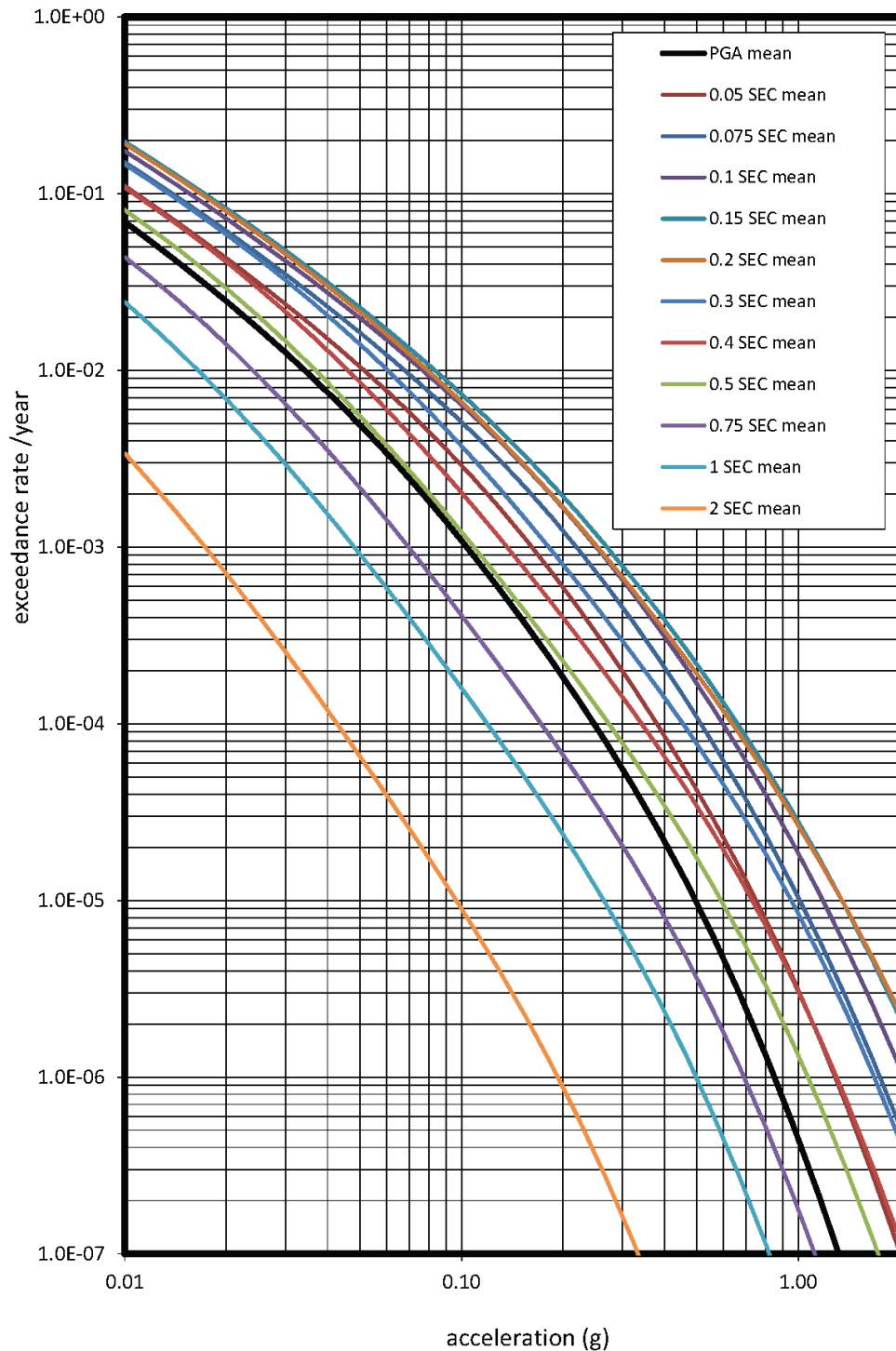
5.3.2.3.1. A VESZÉLYEZTETETTSÉGI GÖRBE

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 egyenközüen mintavételezve.

A veszélyeztetettségi görbe 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.

A számítási módszer inherensen 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 véletlenszerűségéből fakadó bizonytalanságok integrálásával kapott PGA és különböző periódusra vonatkozó veszélyeztetettségi görbék várható értékét (Mean Hazard Curves) a TBJ II. [5.3.2.3.1-1. ábra](#) mutatja. E görbesereg megadja a talajgyorsulás várható értékét az alapkőzeten a 10^{-1} - 10^{-7} /év gyakoriság tartományban.



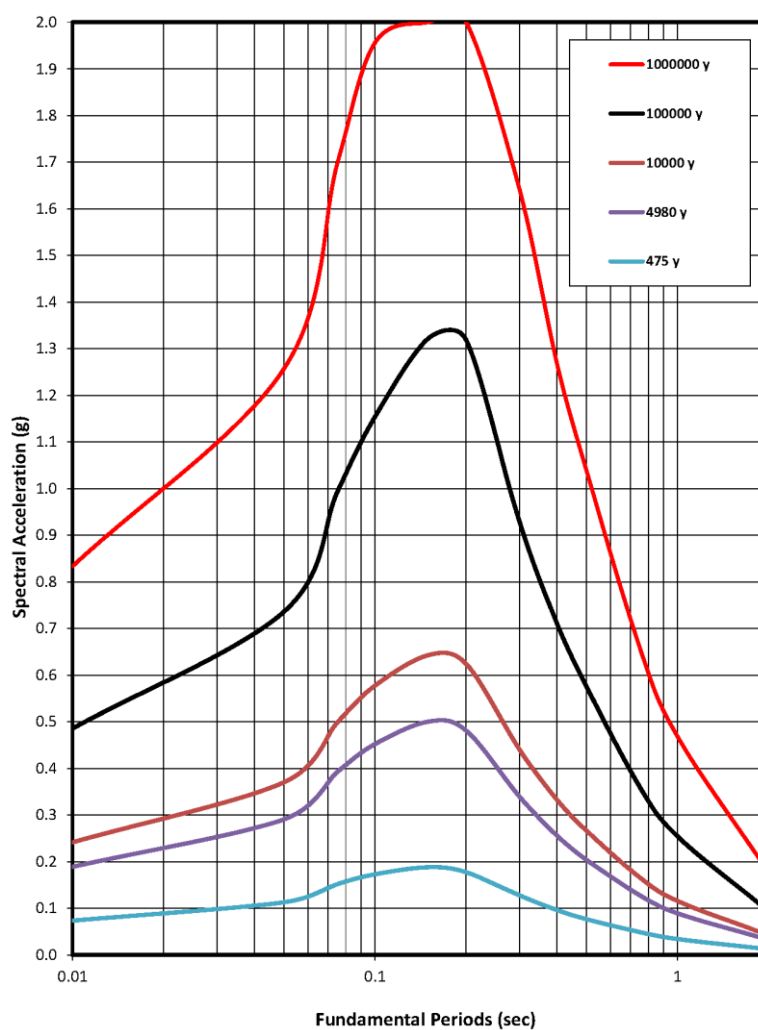
5.3.2.3.1-1. ábra: A PGA és különböző periódusra vonatkozó veszélyeztetettségi görbék várható értéke (Mean Hazard Curves) a telephelyen

5.3.2.3.2. ALAPKÖZETI UHRS

Az azonos éves gyakoriság mellett számított különböző periódusú gyorsulások adják az alapközetű 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 a TBJ II. [5.3.2.3.2-1. táblázat](#) és a TBJ II. [5.3.2.3.2-1. ábra](#). 10^{-4} és 10^{-5} éves gyakoriságok mellett a PGA várható értéke az alapközetűen 0,24 g illetve 0,49 g.

5.3.2.3.2-1. 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) a telephelyen

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	0,833	0,486	0,242	0,189	0,074
0,05	1,257	0,736	0,370	0,291	0,113
0,075	1,696	0,992	0,498	0,392	0,152
0,1	1,956	1,154	0,578	0,452	0,173
0,15	2,000	1,322	0,643	0,500	0,188
0,2	2,000	1,319	0,624	0,481	0,177
0,3	1,643	0,930	0,441	0,340	0,128
0,4	1,267	0,711	0,333	0,256	0,096
0,5	1,039	0,576	0,267	0,204	0,077
0,75	0,659	0,361	0,166	0,128	0,049
1	0,468	0,254	0,116	0,089	0,034
2	0,177	0,094	0,042	0,033	0,012



5.3.2.3.2-1. ábra: 10^{-6} /év, 10^{-5} /év, 10^{-4} /év, 1/4980/év és 1/475/év gyakoriságú spektrális gyorsulások várható értéke (UHRS mean) a telephelyen

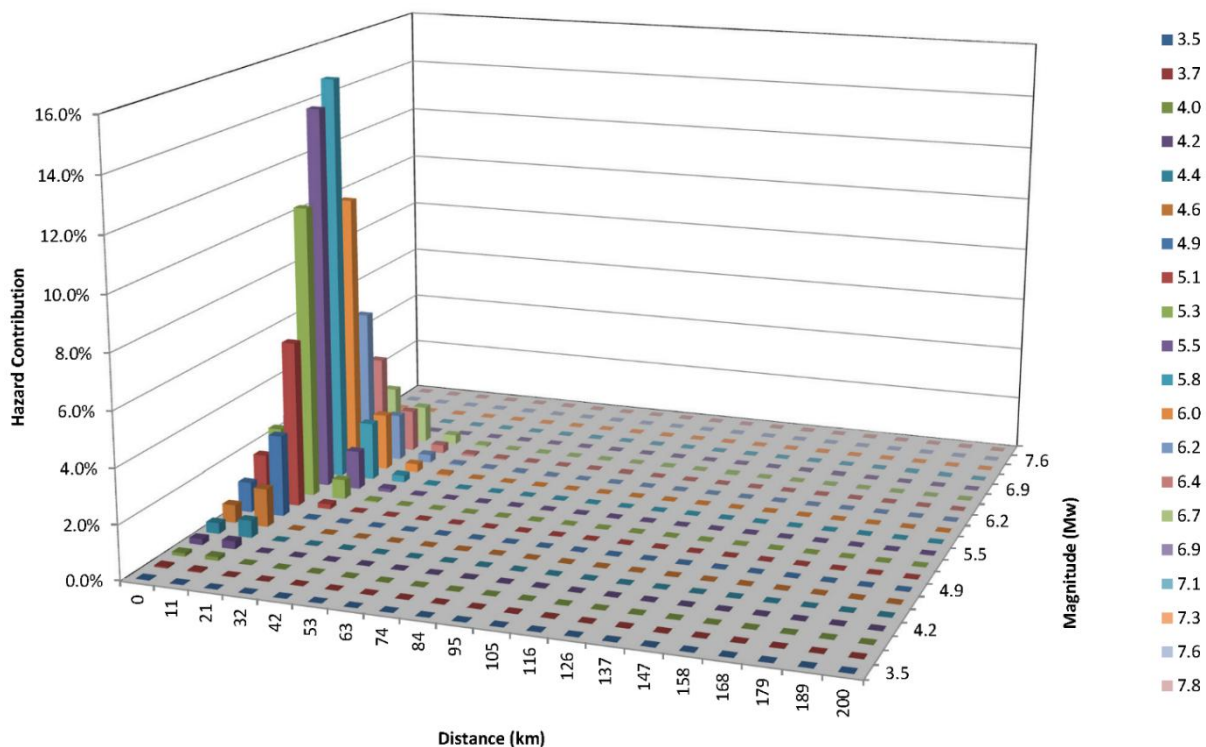
5.3.2.3.3. A VESZÉLYEZTETETTSÉG MAGNITÚDÓ ÉS TÁVOLSÁG SZERINTI DEAGGREGÁCIÓJA

A valószínűségi földrengésveszély meghatározás lehetővé teszi annak megállapítását is, hogy a különböző magnitúdójú rengések milyen hozzájárulást adnak a veszély végeredményéhez. Ha az integrálást pl. az 5,0-5,5 magnitúdó tartományra végezzük el, s az eredményt elosztjuk a teljes veszélyeztetettséggel, megkapjuk az adott magnitúdójú rengések hatását. Ez az eljárás a magnitúdó szerinti deaggregáció. Hasonlóan szétbontható az eredmény a távolság szerint is.

A deaggregáció az egyes magnitúdó intervallumok és távolság intervallumok teljes veszélyeztetettséghez való relatív hozzájárulásának meghatározását jelenti.

A munka 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 $20 \times 20 \times 30$ elemű háromdimenziós mátrix jeleníti meg.

Példaként a TBJ II. [5.3.2.3.3-1. ábra](#) a 10^{-5} /év gyakoriságú PGA hazard $M-R$ (magnitúdó és távolság), M és R szerinti deaggregációját mutatja. Látható, hogy a veszélyeztetettség kialakításában legjelentősebb szerepet a közeli (5-20 km) és 5,5–6,0 magnitúdójú rengések játsszák.



5.3.2.3.3-1. ábra: A telephelyen 10^{-5} /év gyakoriságú veszélyeztetettség távolság és magnitúdó szerinti deaggregációja

5.3.2.4. Veszélyeztetettségi eredmények a felszínen

A felszíni veszélyeztetettség meghatározása [5-74] az alapközeti veszélyeztetettségi eredmények és a terület geotechnikai modelljének ismeretén alapult. Mivel a geotechnikai adottságok és paraméterek változékonyak, a felszínre vonatkozó földrengés-veszélyeztetettségi következtetések szigorúan csak a vizsgálati területre érvényesek.

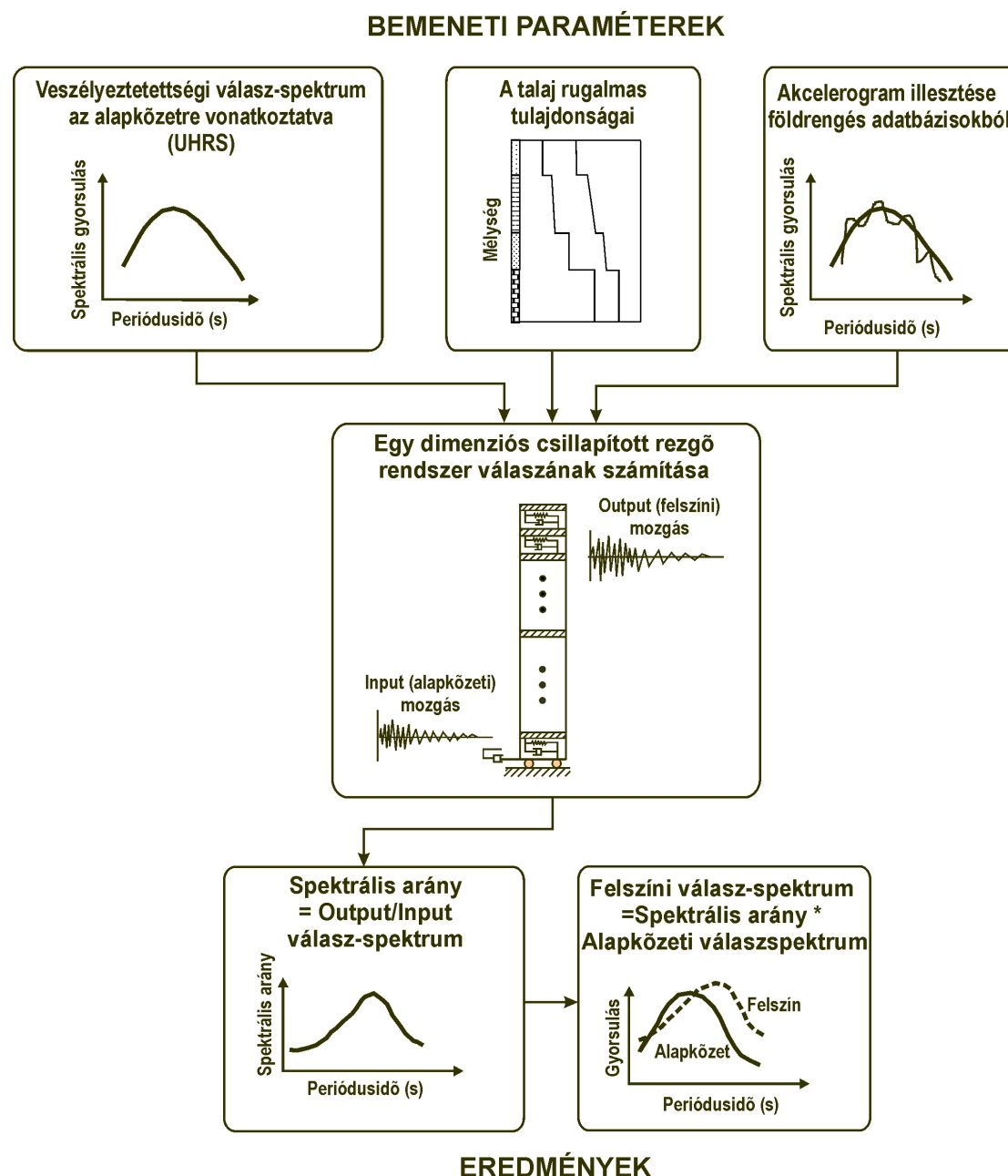
5.3.2.4.1. VIZSGÁLATI MÓDSZER ÉS BEMENETI ADATOK

A szabadfelszíni UHRS számítása – egy adott valószínűségi szinten – az alapközetre meghatározott maximális gyorsulások és válaszspektrumok ismeretéből indul ki.

A TBJ II. [5.3.2.4.1-1. ábra](#) egy konkrét rétegsorra, egy földrengés gyorsulás időfüggvénnyel, mint bemenettel végzett számítás folyamatát mutatja be.

Az eljárás a következő négy lépés végrehajtásából állt:

- A terület rétegsorát reprezentáló altalaj modell felépítése.
A szükséges dinamikai paraméterek száma az alkalmazandó (lineáris, ekvivalens lineáris, nemlineáris teljes és effektív feszültség) módszer bonyolultságától függ.
- A módosító hatás számításához inputként használt, megfelelően illesztett gyorsulás időfüggvények kiválasztása.
- Számítás végzése a módosító hatást jellemző válaszspektrum arány meghatározására, az altalajt egy csillapított rezgőrendszernek tekintve.
- A szabadfelszíni válaszspektrum meghatározása az alapközeti válaszspektrum és a spektrális arány segítségével.



5.3.2.4.1-1. ábra: A módosító hatás számításának menete

A számítás elvégzéséhez az alábbi bemeneti adatok szükségesek:

- A korábban elvégzett PSHA eredményeként rendelkezésre kell, hogy álljon az alapkőzetre számított veszélyeztetettségi görbe és UHRS a kívánt valószínűségi szinteken, azok bizonytalanságaival együtt. A PSHA és az átvitel számítása során definiált alapkőzet sebességének meg kell egyeznie.
- A számításokhoz szükséges a vizsgálati terület rétegsorát reprezentáló altalaj modell megalkotása.

Ez magában foglalta a P és S hullámok sebességének, a sűrűségeknek, az alakváltozás-függő nyírási modulusnak és csillapítási aránynak a meghatározását.

Mivel a negyedidőszaki üledékek között folyósodásra hajlamos homokos rétegek találhatóak, ezért vizsgálni kellett a pórusnyomás növekedés mértékét, az esetlegesen kialakuló talajfolyósodást, és azok hatását a felszíni gyorsulásokra. Nagyobb alapkőzeti gyorsulások esetén, ahol ez a hatás jelentőssé válik, a szabadfelszíni válaszspektrumot effektív feszültség módszerrel kell meghatározni. Ehhez a rétegek további geotechnikai paraméterei és a talajvízszint mélységének ismerete szükséges.

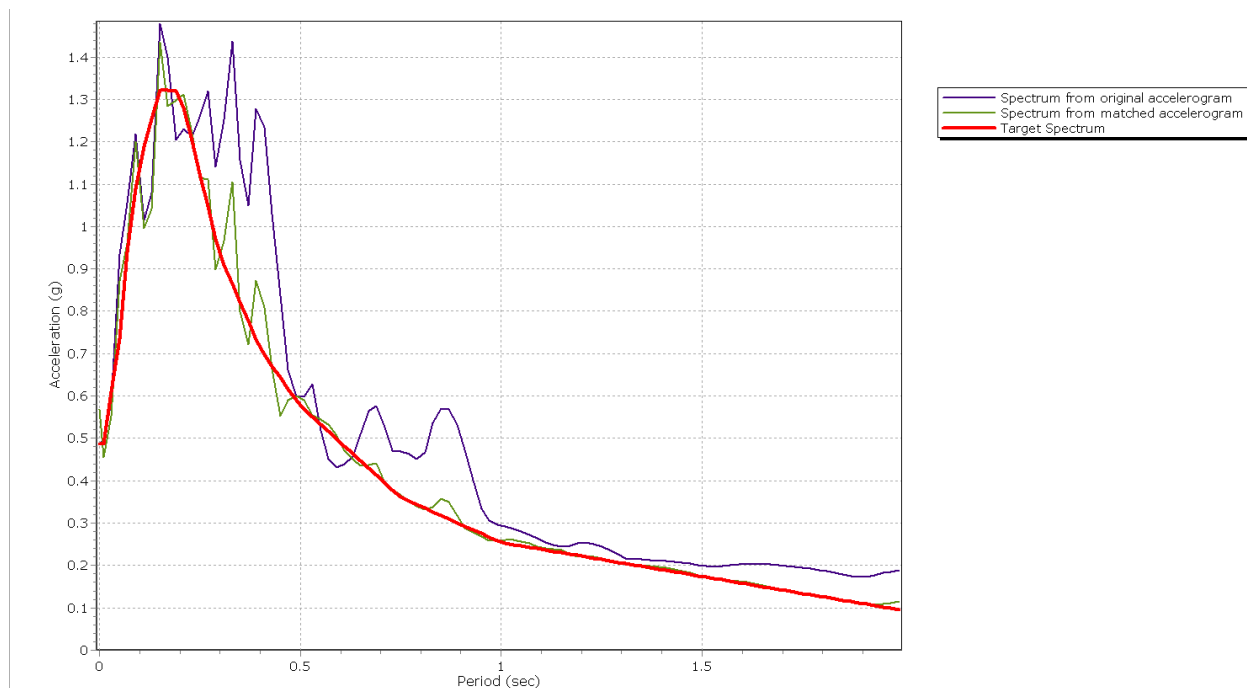
Az paksi telephely adottságai, valamint az NBSZ 7. kötete és a NAÜ útmutatói alapján a számítás során megengedhető a vízszintes rétegzettség és a vertikálisan terjedő térhullámok feltételezése.

A számítások során figyelembe kellett venni az alapkőzetre kiszámított PGA és UHRS, a kiválasztott gyorsulás időfüggvények és talajjellemzők bizonytalanságait is. A bemeneti paraméterek episztemikus és véletlenszerűségből adódó bizonytalanságai Monte Carlo modellezéssel lettek figyelembe véve.

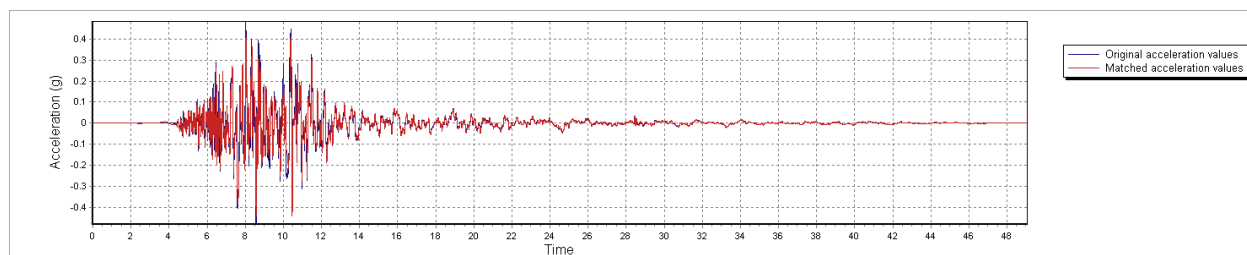
A számítások fontos bemenetét képezik az alkalmazott gyorsulás időfüggvények. A NAÜ SSG-9 szerint ezek lehetnek mesterséges, szintetikus, a telephely környezetéből és más, hasonló területekről származó mért, illetve az alapkőzeti UHRS-re illesztett mért időfüggvények. Magyarországi akcelerogramok hiányában, a számítások nagyságrendjének csökkentése, de mégis az eredmények stabilitásának biztosítása érdekében célszerű az analízist az UHRS-re illesztett valódi gyorsulás időfüggvényekkel végezni. (A jelenlegi nemzetközi mérnökszeizmológiai ajánlások alapján a mesterséges időfüggvények alkalmazása a helyi hatás és talajfolyósodás vizsgálatánál kerülendő [5-61]. Az US NRC Reg. Guide 1.208 szintén az alapkőzeti UHRS-re illesztett, regisztrált akcelerogramok használatát javasolja a módosító hatás számításánál. Ennek előnye a regisztrált, nyers időfüggvényekhez képest, hogy a felszíni gyorsulás stabil becsléséhez kevesebb számítást is elég elvégezni. A mesterségesen előállítottokhoz képest pedig jobban megőrzi a valós földrengések időbeli lefolyásának jellegzetességeit.) A kiválasztott akcelerogramoknak összhangban kell lenniük a telephelyet leginkább veszélyeztető földrengés vagy földrengések jellemzőivel (magnitúdó, távolság, maximális gyorsulás, időtartam, spektrum, fészekmechanizmus).

A számításokhoz a földrengések öt különböző valószínűségi szintre ($10^{-6}/\text{év}$, $10^{-5}/\text{év}$, $10^{-4}/\text{év}$, $1/4980/\text{év}$ és $1/475/\text{év}$) számított deaggregációs mátrixoknak megfelelően lettek kiválasztva, és ezek skálázott és illesztett időfüggvényei képezték bemenetként a teljes vizsgált valószínűség tartomány egy-egy, a kiválasztott valószínűségi szintet is tartalmazó szakaszára.

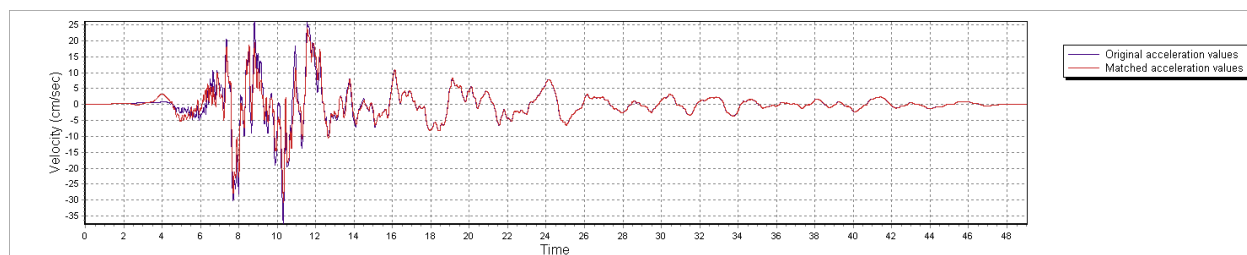
A TBJ II. [5.3.2.4.1-2. ábra](#) a $10^{-5}/\text{év}$ valószínűségi szinthez kiválasztott, 2003-ban kipattant, 6,3-as magnitúdójú, törökországi Bingöl földrengés skálázott eredeti és az UHRS-re illesztett válaszspektrumát mutatja. A TBJ II. [5.3.2.4.1-3. ábrán](#) látható, hogy az illesztett időfüggvény jól megőrzi az eredeti regisztrátum lefolyásának időbeli jellegzetességeit.



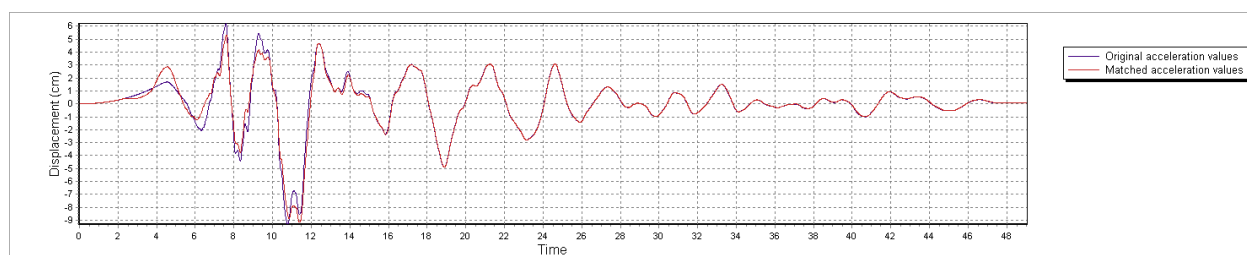
5.3.2.4.1-2. ábra: A 2003-ban kipattant törökországi, 6,3 magnitúdójú Bingol földrengés regisztrátumának (11 km epicentrális távolság) skálázott eredeti, és a $10^{-5}/\text{év}$ meghaladási valószínűségű „mean” UHRS-re illesztett válaszspektruma



a)



b)



c)

5.3.2.4.1-3. ábra: A Bingol földrengés eredeti és illesztett gyorsulás (a), sebesség (b) és elmozdulás (c) időfüggvényei (kék színnel az eredeti, pirossal az illesztett időfüggvények)

Az általaj modell felépítéséhez a következő paraméterek ismerete szükséges:

- a rétegsor és a benne található talaj- és kőzettípusok részletes jellemzése,
- a P- és S-hullámok sebessége rétegenként,
- a nyírási modulus és csillapítási arány változása a deformáció függvényében,
- a rétegek ciklikus szilárdsága,
- a talajvízszint mélysége és mértékadó szintjei,
- szemcseméret-eloszlás, plaszticitás,
- sűrűség és relatív sűrűség-eloszlás,
- a rétegek vízvezető-képessége.

A felsorolt paraméterek már több korábbi mérés és vizsgálat során meghatározásra kerültek [5-54][5-40]. A telephelyvizsgálat keretében ezek új mérésekkel egészültek ki.

5.3.2.4.2. A FELSZÍNI VESZÉLYEZTETETTSÉGI GÖRBE

A vizsgálatok 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). A veszélyeztetettségi görbéket a PGA mellett 0,05 s és 2 s között még további 11 periódusidőre is megadták.

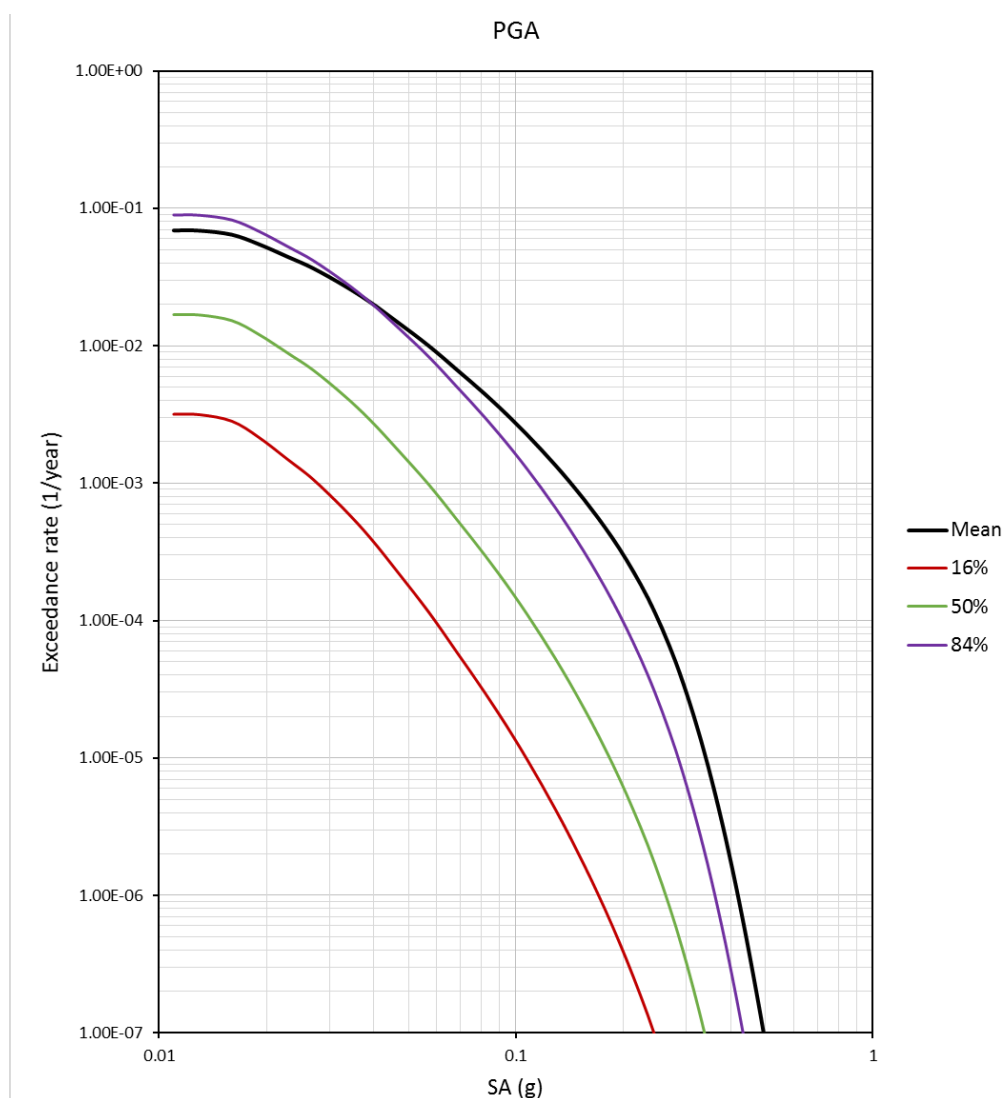
Az $1/475$, $1/4980$, 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , és 10^{-7} /év meghaladási valószínűségekre a PGA átlagos (mean) értékére az alábbi gyorsulás értékek adódtak:

5.3.2.4.2-1. táblázat: A 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 TBJ II. [5.3.2.4.2-1. ábrán](#) látható.

A 10^{-5} /év gyakorisági szintnek megfelelő biztonsági földrengés átlagos PGA értéke a felszínen 0,34g.



5.3.2.4.2-1. ábra: A felszíni PGA-ra számított veszélyeztetettségi görbe

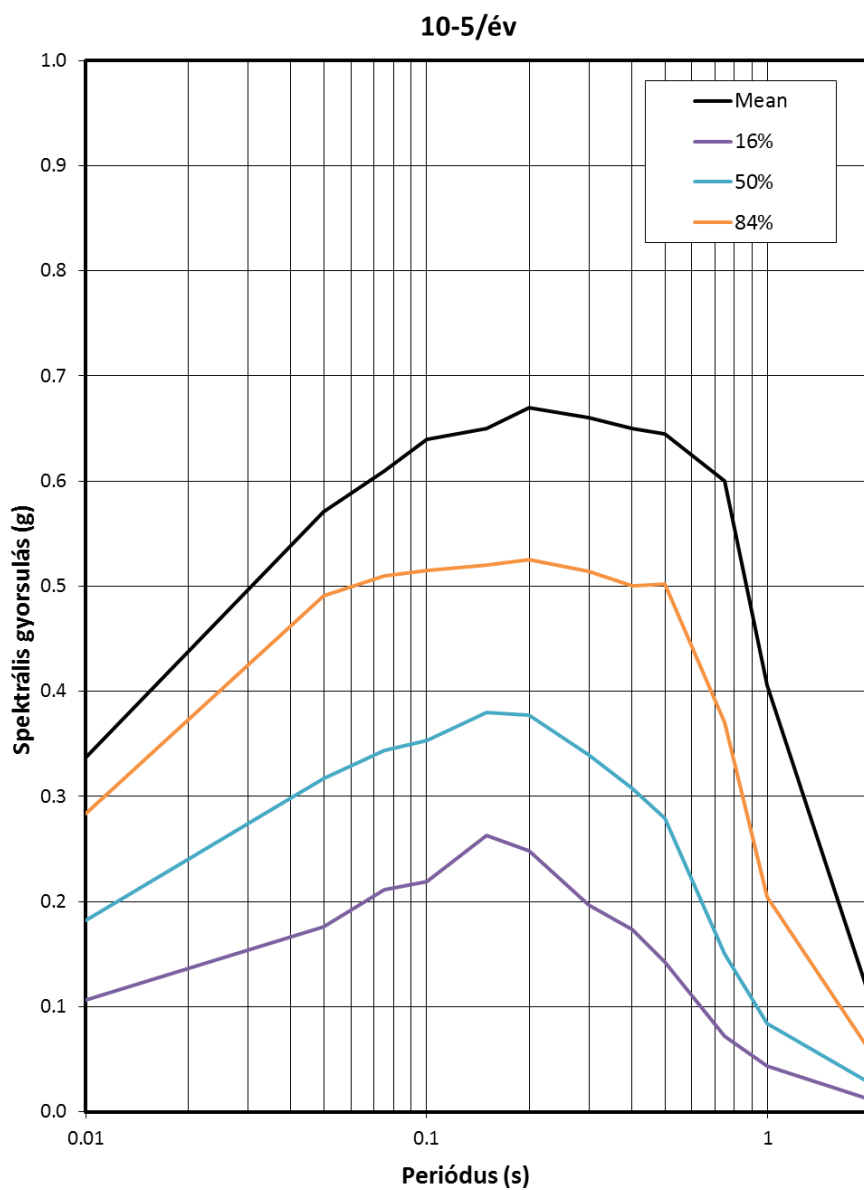
5.3.2.4.3. A FELSZÍNI UHRS

A felszíni UHRS numerikus értékeit a TBJ II. [5.3.2.4.3-1. táblázat](#) foglalja össze, az átlagos, 16%, 50%, 84% percentilisek esetén. A görbét a TBJ II. [5.3.2.4.3-1. ábra](#) mutatja. A felszíni UHRS görbe közelítőleg 0,43 s-ig az alapközeti UHRS görbe alatt, nagyobb periódusoknál felette halad, vagyis a magasabb frekvenciákat a rétegsor már csillapítja, nagyítás csak az ennél hosszabb periódusoknál figyelhető meg [\[5-74\]](#).

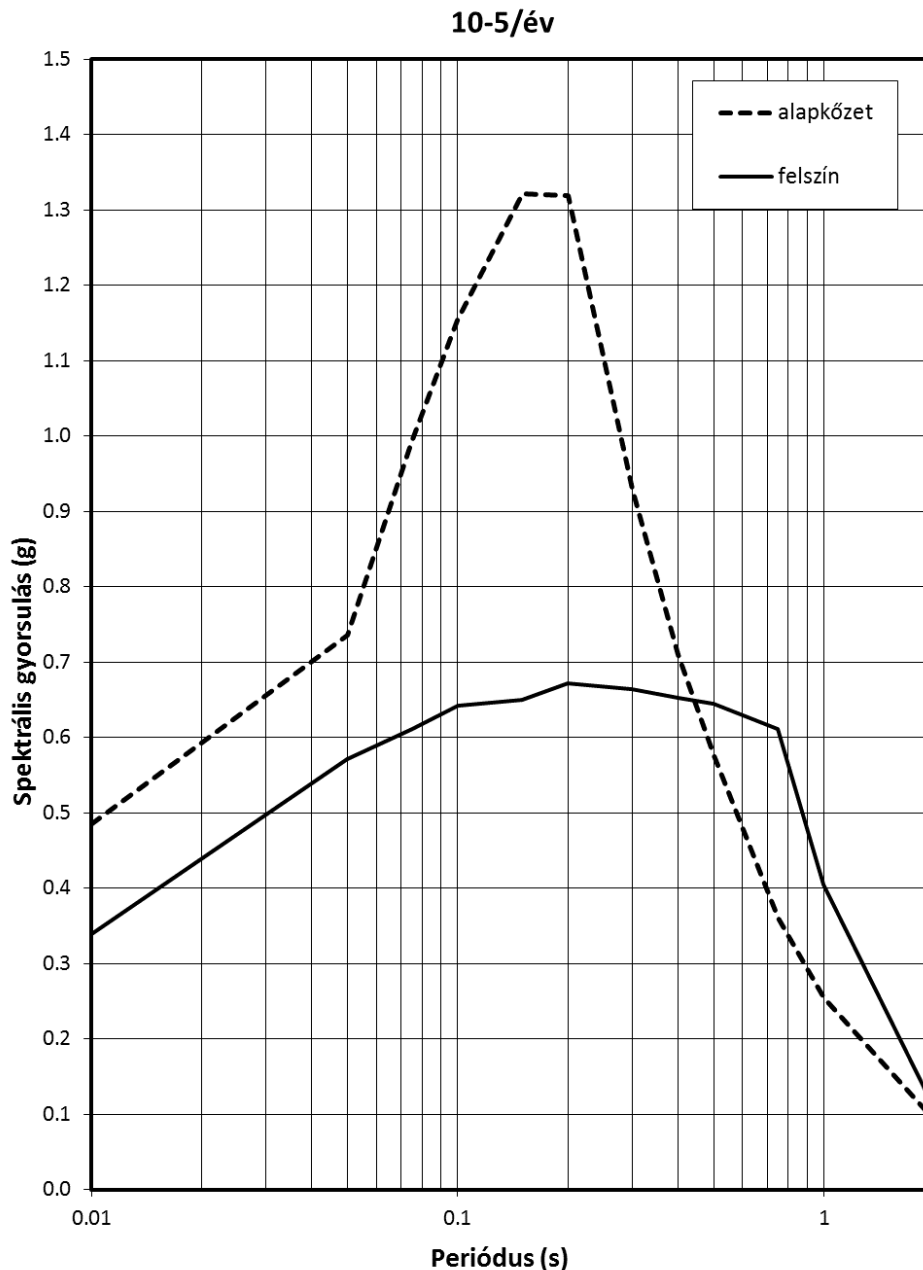
5.3.2.4.3-1. táblázat: A 10^{-5} /év meghaladási valószínűségi szintre számított felszíni UHRS (mean, 16%, 50%, 84% percentilisek)

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



5.3.2.4.3-1. ábra: 10⁻⁵/év meghaladási valószínűségekre számított felszíni UHRS (mean, 16%, 50%, 84% percentilisek)



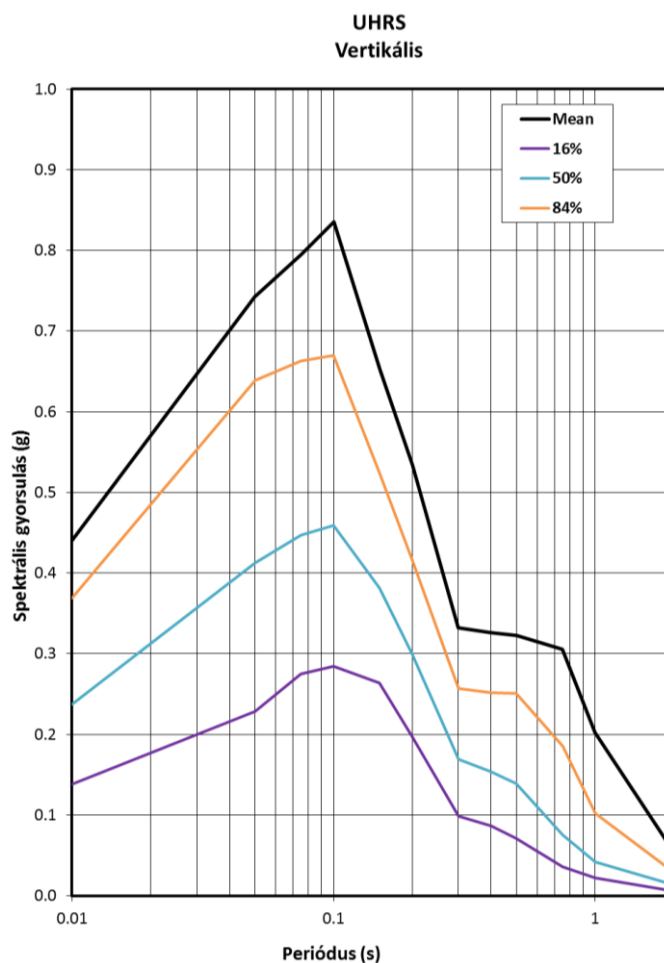
5.3.2.4.3-2. ábra: A 10^{-5} /év meghaladási valószínűségre számított alapkőzeti és felszíni UHRS átlag görbéi

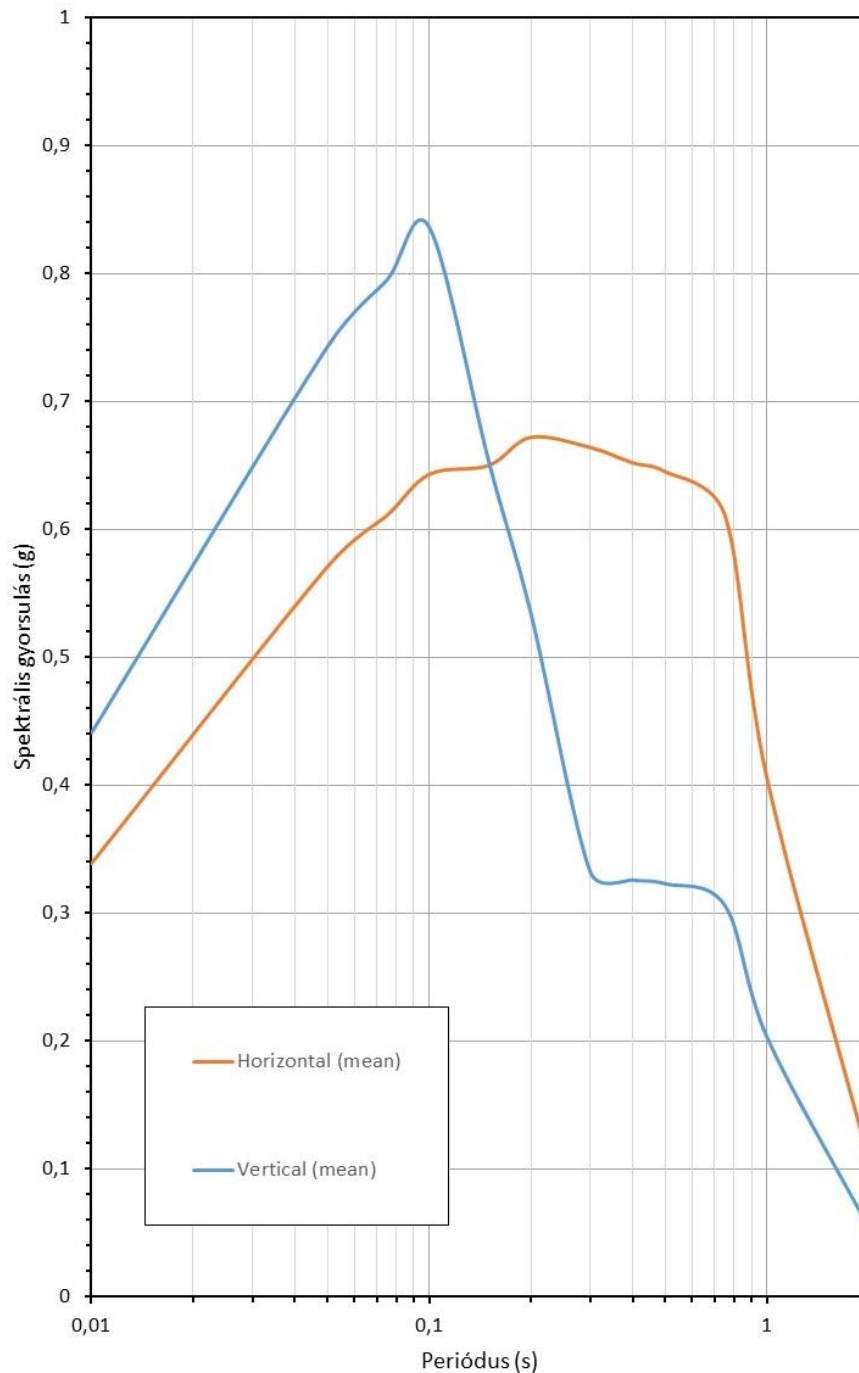
A biztonsági földrengésnek megfelelő, (10^{-5} /év) meghaladási valószínűségnél a vertikális UHRS meghatározása a Bozorgnia és Campbell (2004) által kifejlesztett, egyszerűsített V/H arány összefüggés alapján történt. Eszerint a vizsgált telephelyre jellemző általajnál, és a deaggregációs mátrixból következő, 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 (TBJ II. [5.3.2.4.3-2. táblázat](#)), tehát 30%-kal nagyobb, mint a vízszintes PGA érték. Az ilyen módon számított vertikális UHRS a TBJ II. [5.3.2.4.3-3. ábrán](#) látható.

A 10^{-5} /év meghaladási valószínűségre számított felszíni horizontális és vertikális UHRS (mean) görbéket mutatja a TBJ II. [5.3.2.4.3-4. ábra](#).

5.3.2.4.3-2. 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
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

**5.3.2.4.3-3. ábra: A 10^{-5} /év meghaladási valószínűsége számított felszíni vertikális UHRS (mean, 16%, 50%, 84% percentilisek)**



5.3.2.4.3-4. ábra: A 10^{-5} /év meghaladási valószínűségre számított felszíni horizontális és vertikális UHRS (mean)

5.3.2.4.4. A RENGÉSEK IDŐTARTAMA

A rengések időtartama a biztonsági földrengés alapközeti UHRS-éhez válogatott hét akcelerogramnak a felszínközeli rétegeken való áthaladás miatti, módosított alakjából lett becsülve. 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.

5.3.3. A talajfolyósodás veszélyének értékelése

A talajfolyósodás veszélyének értékelése - hasonlóan a felszíni veszélyeztetettség meghatározásához - az alapközeti veszélyeztetettség eredmények és a terület geotechnikai modelljének ismeretén alapul. Mivel a geotechnikai adottságok és paraméterek változékonyak, a talajfolyósodás lehetőségére vonatkozó következtetések szigorúan csak a vizsgálati területre érvényesek [5-75].

A vizsgálati terület az üzemelő 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 pannon rétegekre, amelynek felszíne a terepszint alatt 21-28 méter mélységben található. A telephelyen korábban elvégzett vizsgálatok szerint az alluviális terasz anyagában földrengés hatására megfolyósodásra hajlamos, homokos üledékek találhatók.

A számítások a telephelyvizsgálat keretén belül elvégzett helyszíni geofizikai és geotechnikai mérések, hidrogeológiai és geotechnikai laboratóriumi vizsgálatok eredményein és a rendelkezésre álló archív anyagok felhasználásán alapultak. A talajfolyósodás értékelésénél a gerjesztési oldal megadásához szükséges mozgásjellemzők (alapközeti és maximális gyorsulások megadása, az alapközeti gyorsulások deaggregációja, helyspecifikus ciklikus feszültség arány, illetve feszültség csökkenési tényező) meghatározásának módja és eredményei az előző (5.3.2.) fejezetben találhatók.

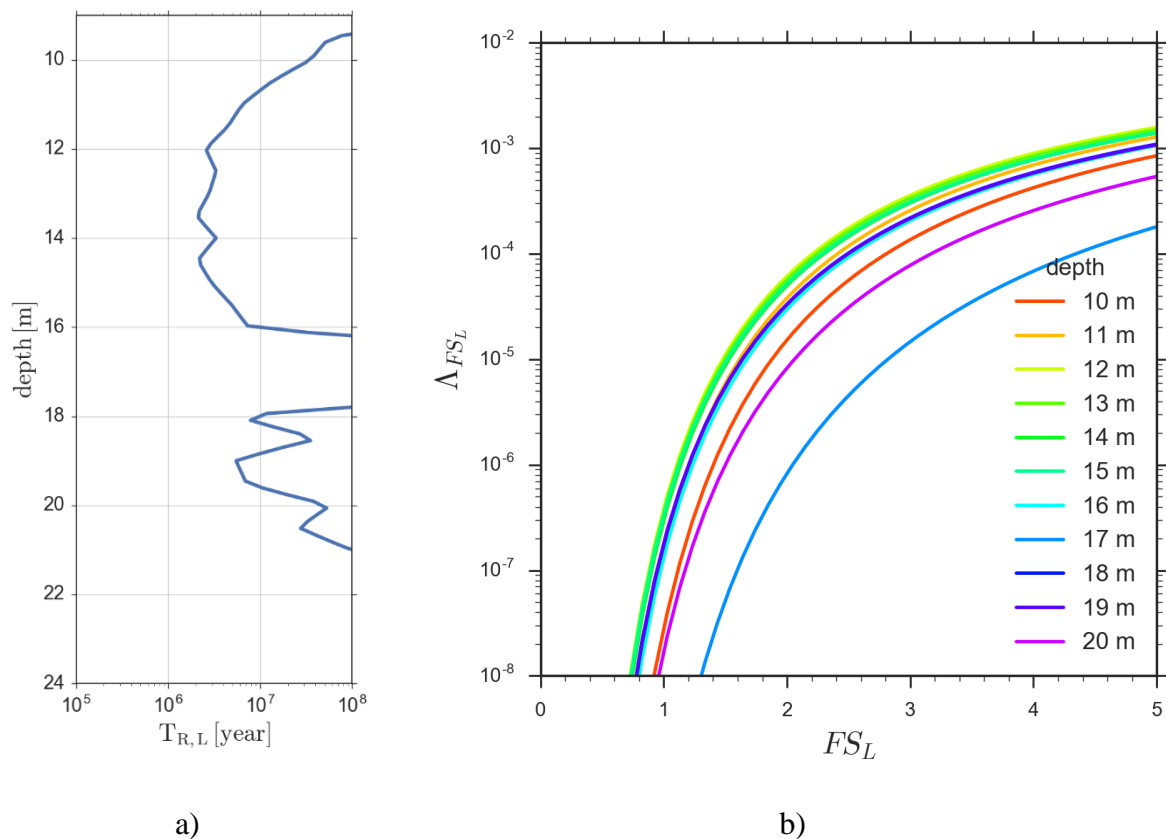
5.3.3.1. Valószínűségi talajfolyósodás becslés

A talajfolyósodás visszatérési periódusának és veszélyeztetettségi görbéinek számítása [5-49] viselkedésalapú eljárásával a telephelyet reprezentáló átlagos rétegsorra, átlagos talajvízszint feltételezésével történt, különböző mélységekben, 10^{-7} /év valószínűségi szintig. Az eljárás a valószínűségi talajfolyósodás becslés (PLHA) egyik változata, ami figyelembe veszi a szeizmicitásból eredő összes bizonytalanságot, vagyis a telephelyet veszélyeztető összes lehetséges a_{max} -magnitúdó párt. Az eljáráson belül a talajfolyósodás feltételes valószínűségének számítására eredetileg Cetin et al. (2004) SPT méréseken alapuló probabilisztikus módszere szolgált, azonban a módszerrel kapcsolatos szakmai konszenzus hiánya miatt az eljárásba be lettek építve Idriss és Boulanger (2012) SPT alapú, valamint Boulanger és Idriss (2014) CPT méréseken alapuló módszerei is.

A háromféle módszer alkalmazása egymástól nagyon különböző eredményre vezetett. Ezen belül a legnagyobb különbségek a két különböző méréstípus, a CPT és SPT mérések alkalmazásából adódtak. Az SPT méréseken alapuló két módszer mindegyike 100.000 évnél kisebb visszatérési periódust eredményezett a 10 és 20 méter közötti teljes mélységtartományra, míg Boulanger és Idriss (2014) CPT szondázáson alapuló módszere minden mélységben 1.000.000 évnél nagyobb.

A méréstípusok, módszerek és eredmények együttes elemzése, valamint a kérdésben tartott szakmai konzultációk után az a megállapítás született, hogy a nagy különbségek oka a két különböző méréstípusban keresendő, és az SPT szondázás eredményei nem elég megbízhatóak.

A Kramer és Mayfield (2007), valamint Boulanger és Idriss (2014) CPT mérésen alapuló módszerének kombinációja alapján, 10^{-5} /év valószínűségnél a veszélyeztetettségi görbéről leolvasható biztonsági tényezők a talajvízszint alatt 1,45 és 2,8 között változnak (TBJ II. 5.3.3.1-1. ábra). Legkisebb értékek a 11–16 méter között elhelyezkedő öntéshomok rétegben figyelhetők meg.



5.3.3.1-1. ábra: A talajfolyósodás Kramer and Mayfield (2007) és Boulanger and Idriss (2014) CPT alapú módszerével számított visszatérési periódusai a mélység függvényében (a) és a különböző mélységekhez tartozó veszélyeztetettségi görbék (b)

Vizsgálták, hogy a talajfolyósodás veszélyeztetettséghez mekkora magnitúdójú és milyen távolságban kipattanó földrengés adja a legnagyobb járulékot. Ennek számítása, vagyis a valószínűségi talajfolyósodás deaggregációja Marrone et al. (2003) módszerével történt. A módszer – Kramer és Mayfield (2007) eljárásához hasonlóan – a PSHA analízis eredményeit valamelyik új, a talajfolyósodás feltételes valószínűségének számítására szolgáló eljárással kombinálja. Végeredményként becsülhető a talajfolyósodásnak az összes szeizmikus forrásterület hatásából eredő éves valószínűsége. Emellett az eljárás alkalmas az eredmények deaggregációjára, vagyis annak meghatározására, hogy a különböző magnitúdójú és távolságú rengések milyen mértékben, megoszlásban járulnak hozzá a talajfolyósodás veszélyeztetettséghez.

Az elemzés a telephelyet reprezentáló átlagos rétegsorra, átlagos talajvízszint feltételezésével történt, a terhelési oldal bemeneteként a PSHA eredményeként adódó deaggregációs mátrixok elemeinek használatával. A talajfolyósodás bekövetkezésének adott gyorsulás és magnitúdó melletti feltételes valószínűségeit kétféle SPT alapú eljárással, Cetin et al. (2004) valamint Idriss and Boulanger (2012) módszerével számították.

Bár a két alkalmazott módszer konzervativizmusa eltért egymástól, az általános tendenciák jól megfigyelhetők. Kis gyorsulásértékeknél a nagyobb távolságban kipattanó, erősebb rengések a dominánsak. Ekkor az alacsony gyorsulást a nagyobb magnitúdóknál megfigyelhető hosszabb időtartam kompenzálja. Ahogy a felszíni gyorsulás növekszik, úgy a kisebb és közelebbi rengések részaránya egyre nő. Magas gyorsulás értékeknél pedig már a közeli, kis magnitúdójú események hozzájárulása is jelentős.

Megállapították, hogy a biztonsági földrengéshez tartozó 0,34g 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.

5.3.3.2. Globális talajfolyósodás lehetőségének vizsgálata

A globális talajfolyósodás lehetőségének vizsgálata a biztonsági földrengésnek megfelelő ($10^{-5}/\text{év}$) valószínűségi szinten, a telephelyet reprezentáló átlagos rétegsorra, és átlagos talajvízszintre történt. A számítások megtörténtek mind a gyakorlatban legáltalánosabban használt feszültség alapú empirikus módszerekkel, mind a pórusvíznyomás növekedését és disszipációját figyelembe vevő effektív feszültség módszerrel.

A talajfolyósodás értékelésének empirikus módszereinél a gerjesztést a maximális felszíni gyorsulás, az erős mozgások időtartamát reprezentáló magnitúdó, és a nyírófeszültség mélységbeli változását jellemző feszültségcsökkenési tényező képviseli. A biztonsági földrengés 0,34 g felszíni PGA értékét az átlag (mean) felszíni veszélyeztetettség görbe $10^{-5}/\text{év}$ meghaladási valószínűségéhez tartozó gyorsulásérték definiálja. A magnitúdóra 6-os értéket tételeztek fel, a ciklikus feszültség arányt az átvitel számítások során határozták meg.

A számításokat CPT, SPT és nyíróhullám sebesség alapú eljárásokkal is elvégezték. Minden méréstípusnál a legmodernebb, nagy adatbázis alapján felépített, szakmailag elfogadott módszereket alkalmazták. Az empirikus értékelési eljárások közül Boulanger és Idriss (2014), CPT méréseken alapuló eljárását tekintették irányadónak.

Számítások alapján a kritikus zóna a 10-15 méter között, jellemzően az öntéshomok mélységében található; itt a biztonsági tényező (FS) több méteren keresztül 1,2 környékén halad. A talajfolyósodás visszatérési idejével összhangban 16 és 18 méter között egy nagyobb biztonsággal rendelkező zóna következik, majd kisebb szakaszokon újfent lecsökken a biztonsági tényező 1,2 alá. Azonban ebben a mélységben már egyértelműen a kavicssterasz az uralkodó réteg, amely mind a szemeloszlás, mind a szakirodalmi adatok alapján kevésbé hajlamos folyósodásra, mint az egyszemcsés homok. Mindamellet ez a mélység már az egyszerűsített, empirikus módszerek alkalmazhatósági határának közelében található.

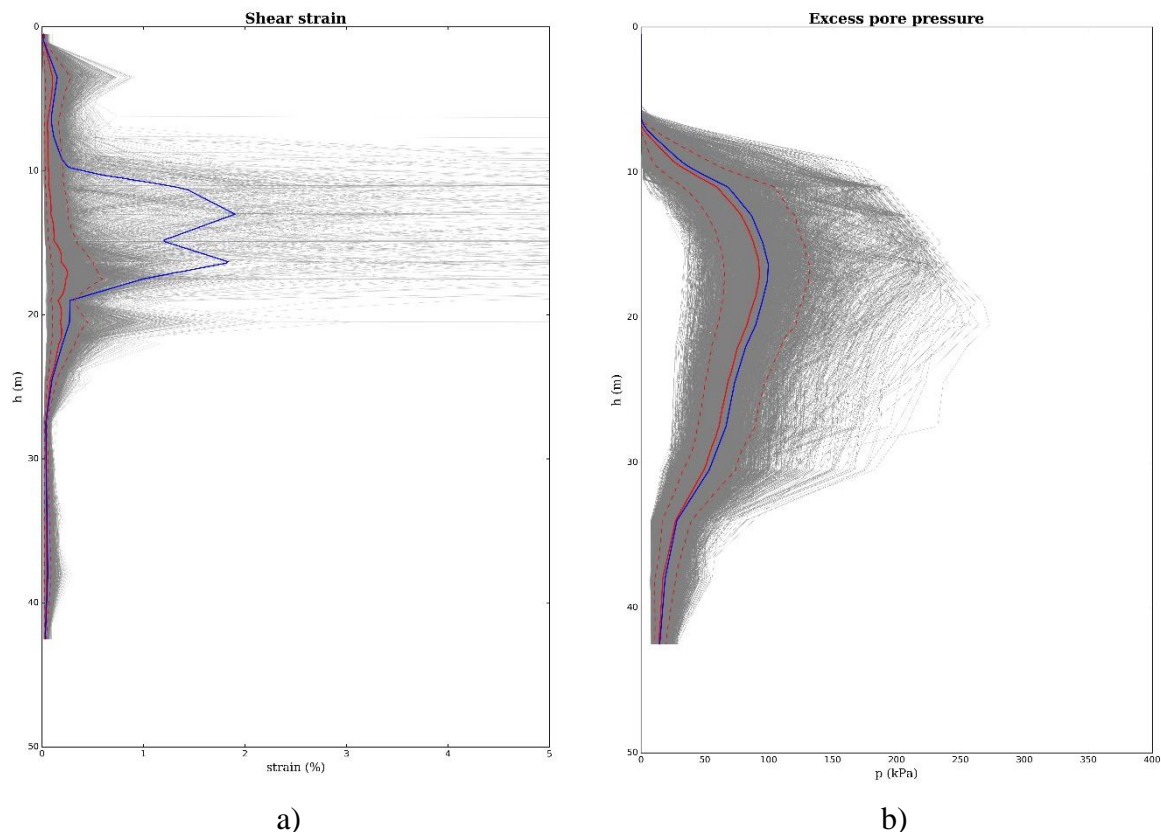
Kavicsos talajban a penetrációs mérések kevésbé megbízhatók, ezért a számításokat nyíróhullám sebesség alapú módszerekkel is vizsgálták. Eszerint a kritikus réteg 19-21 méter közé, a kavicssteraszra tehető, de a biztonsági tényező itt is 1,2-1,3 körül mozog. A megközelítőleg 10-15 méter mélységben található öntéshomokban ennél magasabb, 2,0 feletti FS értékek mutatkoznak. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy Kayen et al. módszerének kidolgozásához összeállított adatbázis minden eseténél a kritikus réteg hatékony függőleges feszültsége kisebb volt, mint 180 kPa. Ennek köszönhetően az eljárás nagyobb mélységek ($\sigma'_{v0} > 200$ kPa) értékelésére kevésbé alkalmas.

A talajvízszint és a magnitúdó változtatásának hatásairól érzékenységi számításokat végeztek. Megállapították, hogy a talajvízszint változásának csupán a figyelembe veendő mélységtartomány szempontjából van szerepe, a biztonsági tényezőre való hatása elhanyagolható. A magnitúdóbeli változásra viszont a biztonsági tényező nagysága érzékenyebben reagál.

A talajfolyósodás elemzését effektív feszültség módszerrel is elvégezték. A számításokat a $10^{-5}/\text{év}$ meghaladási valószínűségű alapköveti gyorsulás átlagértékének, 0,486 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 eloszlásfüggvény adódott.

Számítások alapján a 10-20 méter közötti mélységtartományban 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 (5.3.3.2-1. ábra) vagyis a talaj megfolyósodik.



5.3.3.2-1. ábra: A nyírási deformáció (a) és a pórusvíz túlnyomás (b) realizációi a mélység függvényében, az átlag (kék), medián, 16% és 84% percentilisekkel (piros vonalak)

Talajfolyósodás csak néhány kedvezőtlen realizációnál következik be, de a realizációk többségénél nem jellemző. Azonban 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.

5.3.3.3. A talajfolyósodás lokális értékelése

A talajfolyósodás lokális értékelése a biztonsági földrengésnek megfelelő ($10^{-5}/\text{év}$) valószínűségi szinten, 0,34 g felszíni gyorsulás feltételezése mellett, átlagos talajvízszintre, Boulanger és Idriss (2014) CPT szondázáson alapuló módszerével történt. A vizsgálathoz összesen 47 db CPT szondázás eredményét használták fel, a magnitúdóra a 6-os érték, a földrengéskor várható talajvízszintre az átlagos 8,5 méter feltételezésével. A ciklikus feszültség arányt az átvitel számítás során határozták meg, és a medián CSR mélység függvényt alkalmazták. A vizsgálat 25 méter mélységig, a pleisztocén réteg aljáig történt, mivel a pannon rétegek nagy mélységűeknek, összetételüknek, nagy tömörségűeknek és némely esetben

cementáltságuknak köszönhetően kizárhatók a megfolyósodás szempontjából veszélyes rétegek sorából.

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 a 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 méter 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 tényezővel 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.

5.3.3.4. A talajfolyósodásra vonatkozó eredmények összegzése

Összességében megállapítható, hogy CPT szondázás 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.

5.3.4. A mikroszeizmikus monitorozás és értékelése

A paksi telephely földregés-veszélyeztetettségének ismerete szempontjából kiemelt feladat volt a telephely folyamatos mikroszeizmikus monitorozása.

A mikroszeizmikus monitorozás a Paksi Atomerőmű meglévő monitoring hálózatának bővítésével és kiterjesztésével valósult meg. A 1995 óta üzemelő tíz felszíni szeizmográf állomás mellett további öt, lyukszeizmográf-felszerelt mérőállomás épült ki. A legújabb szeizmológiai mérés technika felhasználásával így a hálózat érzékenysége nagymértékben javult. Lehetővé vált a korábbi kb. $ML \geq 2,0$ érzékenységi küszöb legalább $ML \geq 1,0$ magnitúdóra való csökkentése, a telephely közelében észlelt földrengések számának nagyságrenddel való növelése.

A viszonylag magas szeizmikus háttérzajjal rendelkező területen a jel/zaj arány növelése érdekében a rezgésérzékelőket (szeizmográfokat) fúrólukban helyezték el. Az ily módon kialakított állomáshálózat észlelési képessége – kiegészítve a Paksi Atomerőmű környezetében jelenleg működő hálózat adataival – a telephely területén várhatóan az $ML \geq 0,5-1,0$ magnitúdótartományba esik. Ebben az alacsony magnitúdó tartományban már – akár az exponenciális Gutenberg-Richter eloszlással, akár karakterisztikus eloszlással számolva – földrengéseknek kell keletkezni, ha a vető menti csúszási sebesség nagyságrendje 0,01-0,1 mm/év. Ezzel megválaszolható a telephely közeli törésvonalak, illetve azok aktivitása körüli több évtizedes bizonytalanság.

5.3.4.1. A Paksi Atomerőmű mikroszeizmikus hálózata

A Paksi Atomerőmű környezetének szeizmikus megítélésében felmerült kérdések tisztázása érdekében a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség szakértői 1993-as jelentésükben javasolták egy megfelelő érzékenységgű mikroszeizmikus megfigyelőhálózat (MMH) létesítését.

A Paksi Atomerőmű telephely környezete jelenkori szeizmicitásának tisztázására – a NAÜ ajánlásának megfelelően – tíz állomásból álló mikroszeizmikus megfigyelő hálózat került kiépítésre az erőmű kb. 50 km-es sugarú környezetében. A korszerű, digitális mérőállomások üzembe helyezése 1995 márciusában történt meg, azóta az adatgyűjtés folyamatos, a mérési paraméterek finomítása mellett.

Az eredeti célkitűzés szerint a mikroszeizmikus megfigyelő hálózatnak alkalmasnak kell lennie Paks 100 km sugarú környezete szeizmicitásának legalább 2,0 magnitúdó küszöbvel való figyelésére, és a földrengések helyének, fészekmélységének, magnitúdójának és fészekmechanizmusának meghatározására. A cél elérése érdekében a következő mérési összeállítás létesült

- Paks 50 km-es körzetében elhelyezett 10 szeizmológiai állomásból álló hálózat (TBJ II. [5.3.4.1-1. ábra](#)). Az állomások végleges helyének kiválasztása a helyi geológiai és zajviszonyok, valamint az infrastrukturális lehetőségek alapján történt.
- Az állomások háromkomponenses rövidperiódusú szeizmométerrel lettek felszerelve, melyeknek érzékenysége legalább egy nagyságrenddel a háttérzaj szintje alatt van. A mérőállomásokon az adatok figyelése folyamatos. Az eredeti konfigurációban a digitális adatgyűjtő esemény-felismerést is végzett, és csak az eseményadatokat tárolta. 2007 óta az adatgyűjtés és a regisztrálás folyamatos, az esemény-felismerés és azonosítás az adatközpontban történik.

A végleges eseménylista elkészítésére körültekintő off-line analízis után, más hazai és szomszédos országok szeizmológiai állomásainak eredményeivel való összevetés után kerül sor.

A megfigyelés eredetileg megfogalmazott célja nem a riasztás volt, hanem a térség szeizmikus viszonyainak tisztázása, ezért az azonnali (real-time) adathozzáférés nem volt feltétlenül szükséges. Ilyen módon az állomások nagyobb részénél kezdetben helyszíni regisztrálás zajlott, és csak néhány állomás volt az, amelynél az adatátvitel telefonon történt.

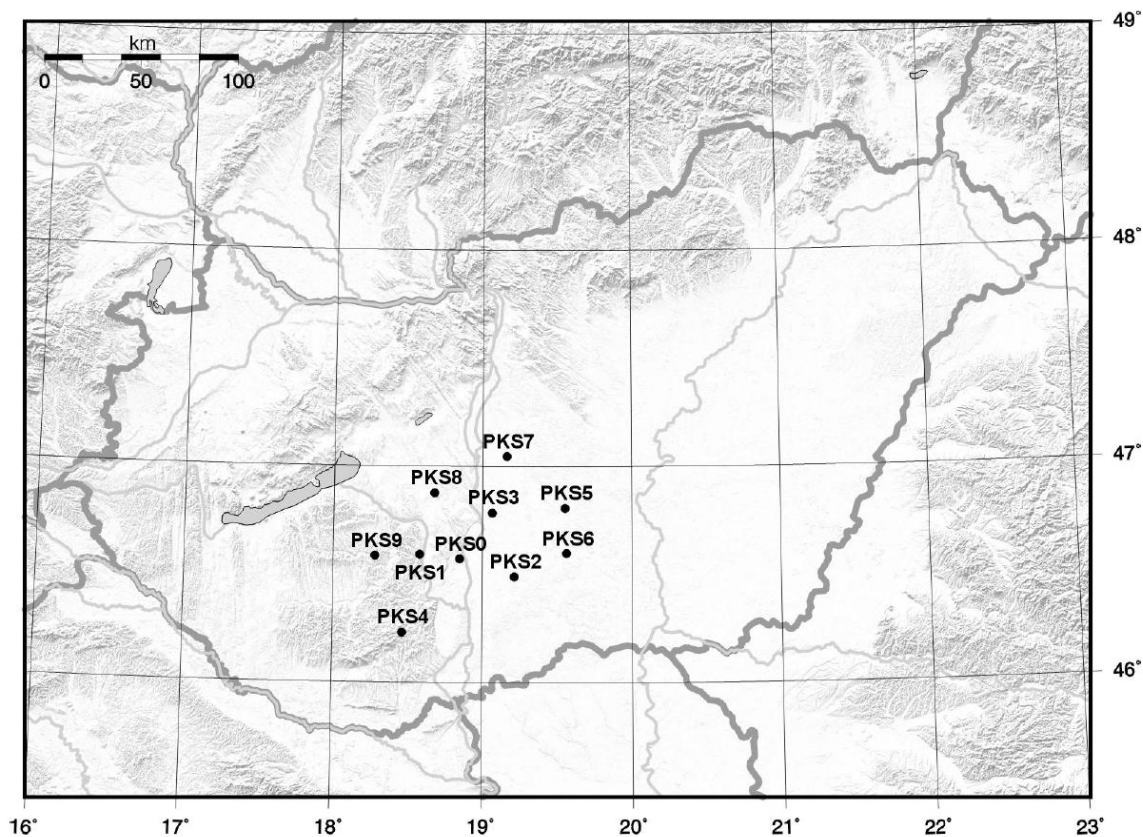
Az első évek üzemeltetési tapasztalatai és mérési eredményei alapján néhány, a szeizmológiai mérések szempontjából kedvezőtlen geológiai adottságú (laza üledék) mérőállomás kedvezőbb körülmények (kőzetkibúvás, szikla) közé került áttelepítésre. 1999-ben két állomás megszüntetésre került, ami azonban nem okozott lényeges változást a mikroszeizmikus megfigyelő hálózat érzékenységében. 2007-ben a sárbogárdi kőbánya újra megnyílt, ezért az itt elhelyezett mérőállomás Tésre került áttelepítésre. 2011-ben került üzembe helyezésre a penci mérőállomás.

2013-ban a mikroszeizmikus megfigyelő hálózat teljes rekonstrukciójára került sor. Ennek keretében mind a szeizmológiai mérőeszközök, mind az adatközpont hardver és szoftver elemeinek teljes cseréjét elvégezték. A rekonstrukció során az eredeti tíz mérőállomás mindegyike visszakerült a rendszerbe. A rekonstrukció eredményeként a mérőhálózat modern eszközparkkal rendelkezik, javult a mérőállomások rendelkezésre állása, s ezáltal lehetővé vált a mérőhálózat hosszú távú üzemeltetése.

Az egyes állomások főbb paramétereit és az üzembe helyezés és leállítás időpontjait a TBJ II. [5.3.4.1-1. táblázat](#) tartalmazza.

Az üzemelő atomerőmű mikroszeizmikus megfigyelő hálózata jelenleg 10 állandó szeizmográf állomást foglal magában (TBJ II. [5.3.4.1-2. ábra](#)), melyek Paks kb. 130 km-es sugarú környezetében helyezkednek el.

A TBJ II. [5.3.4.1-2.](#) és [5.3.4.1-3. ábrán](#) látható a jelenlegi működő mikroszeizmikus megfigyelő hálózat és a teljes magyarországi és szomszédos országok szeizmikus állomásaiból álló HUN-Reng virtuális szeizmológiai hálózat és annak állomásai.



5.3.4.1-1. ábra: A mikroszeizmikus megfigyelő hálózat állomásai 1995-ben

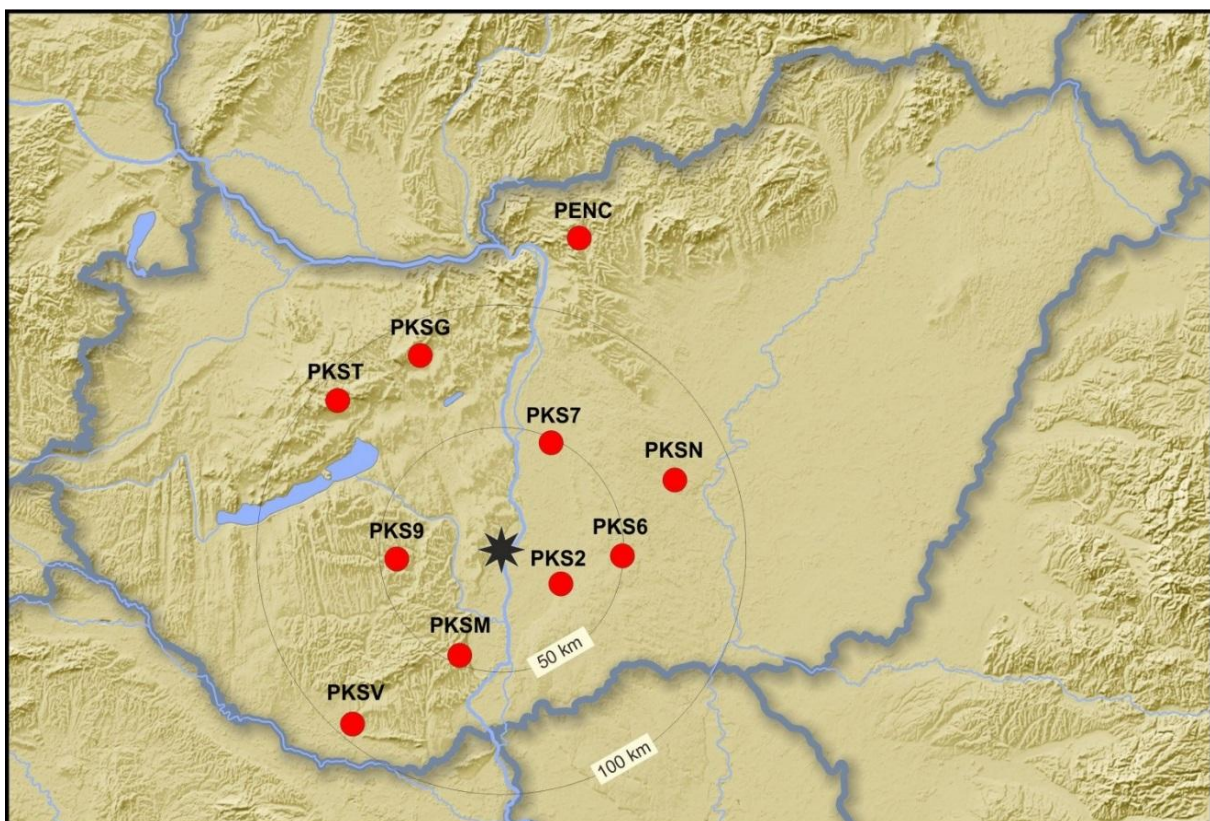
5.3.4.1-1. táblázat: A Paksi Atomerőmű mikroszeizmikus megfigyelő hálózat állomásainak változása és jelenleg üzemelő állomásai

jele	megnevezése	Az állomás földrajzi koordinátái			Üzembe-helyezés időpontja	Leállítás időpontja
		szél.	hossz.	mag.[m]		
PKS0	Paks	46,5743	18,8449	100	1995. ápr. 21.	1999. nov. 5.
PKS1	Úzd	46,5940	18,5786	200	1995. ápr. 21.	1996. nov. 21.
PKS2	Kecel	46,4920	19,2131	106	1995. ápr. 4.	-
PKS3	Solt	46,7869	19,0663	105	1995. márc. 15.	1996. dec. 16.
PKS4	Mecseknádasd	46,2340	18,4635	220	1995. márc. 22.	1999. nov. 5.
PKS5	Helvécia	46,8092	19,5547	110	1995. márc. 30.	1996. nov. 19.
PKS6	Bócsa	46,5998	19,5645	120	1998. júl. 16.	-
PKS7	Kunszentmiklós	47,0473	19,1609	95	1995. márc. 30.	-
PKS8	Sárbogárd	46,8787	18,6765	135	1995. márc. 28.	2007. máj. 30.
PKS9	Tamási	46,5870	18,2789	240	1995. márc. 10.	-
PKSC	Csákvár	47,3806	18,4371	200	1996. dec. 20.	2001. szept. 21.
PKSG	Gánt	47,3918	18,3907	200	2001. szept. 24.	-
PKSM	Mórág	46,2119	18,6413	170	1996. nov. 21.	-
PKSN	Nyárlőrinc	46,8972	19,8673	110	1996. nov. 19.	-
PKST	Tés	47,2590	18,0343	473	2007. máj. 31.	-
PENC	Penc	47,7905	19,2817	250	2011. szept. 7	-
PKSV	Villány	45,8885	18,2521	420	2012. nov. 9	-

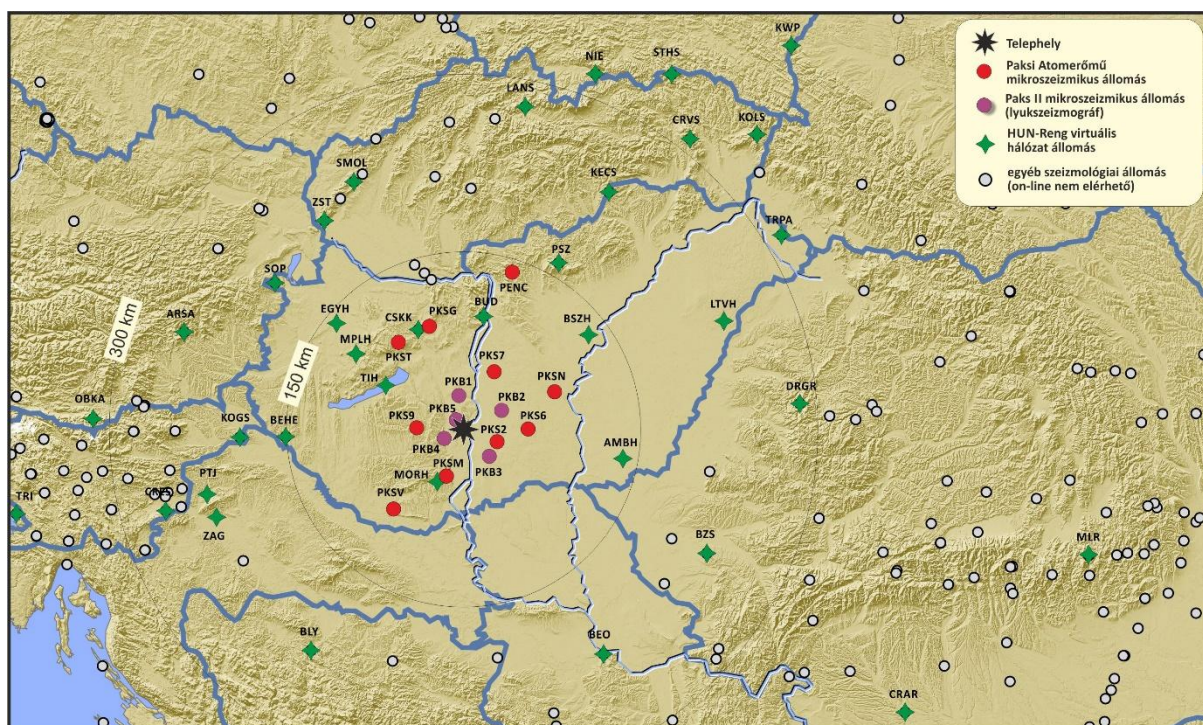
A szeizmikus háttérzaj tulajdonságainak jobb megismerésére, és ezen keresztül a detekciós paraméterek optimalizálása érdekében időszakonként zajmérések és zajfeldolgozások történnek. Az egyes állomásokra jellemző zaj ismeretében az állomáshálózat egészének elméleti érzékenységi küszöbe is kiszámítható. Az érzékenységi számítás eredménye a TBJ II. [5.3.4.1-4. ábrán](#) látható. A térképen látható szintvonalak a magyarországi szeizmológiai állomáshálózat elméleti érzékenységi küszöbét mutatják magnitúdóban kifejezve. Látható, hogy az ország középső részén a rendszer az $ML=2$ körüli méretű rengéseket minden körülmények között képes detektálni úgy, hogy a fészekparaméterek is meghatározhatók. A legrosszabb a helyzet az ÉK-i határ közelében, ahol ez a magnitúdó szint magasabb.

A mikroszeizmikus monitorozás eredményeiről, a kiértékelésekről havi és éves jelentések készülnek. A lakosság bizalmát növeli, hogy mind a valós idejű szeizmogramok, mind a havi és éves jelentések teljesen nyilvánosak, az interneten korlátozás nélkül hozzáférhetők az érdeklődők számára (www.foldrenges.hu).

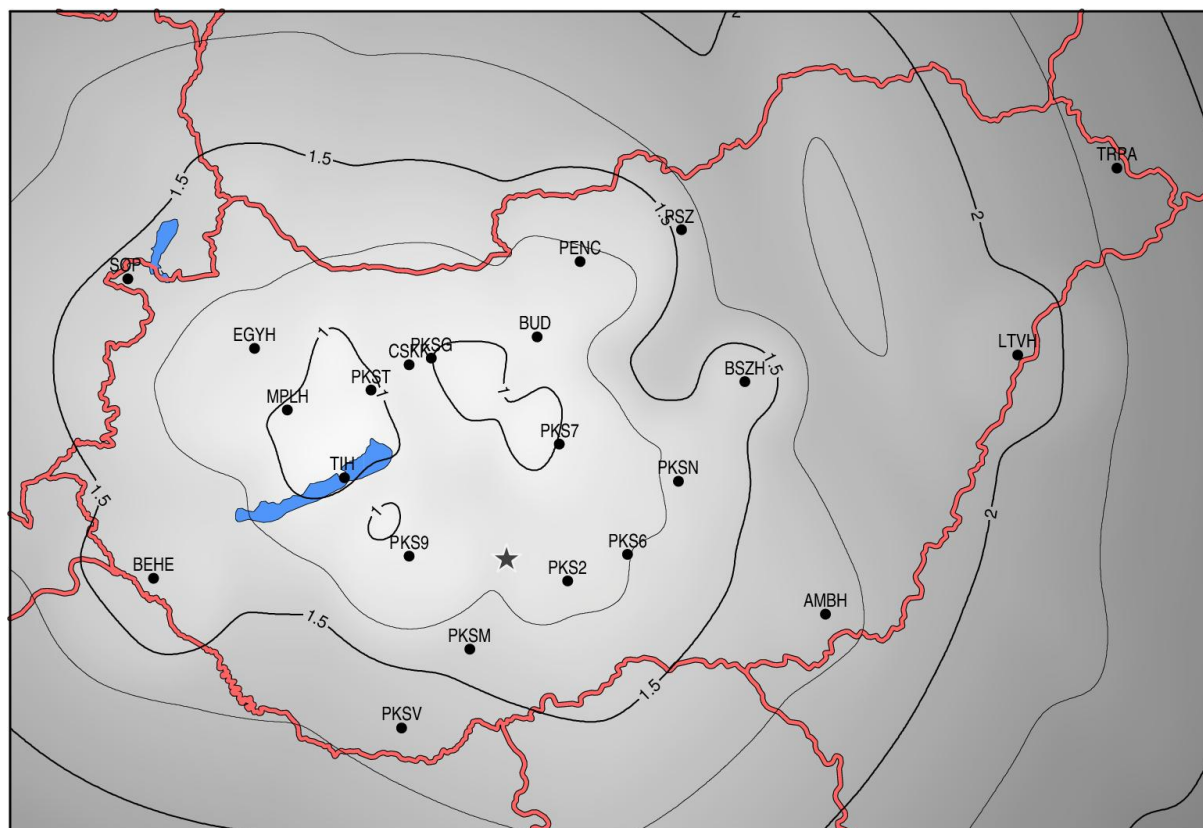
A Paksi Atomerőmű mikroszeizmikus megfigyelő hálózata elsősorban a magyarországi, illetve a határ menti (a $45,5^{\circ}$ - $49,0^{\circ}$ É-i szélességi és $16,0^{\circ}$ - $23,0^{\circ}$ K-i hosszúsági koordinátákkal határolható) területek földrengéseit van hivatva megfigyelni, de fókuszálva a telephely 100 km-es körzetére. A TBJ II. [5.3.4.1-2. táblázat](#) azoknak az 1995 és 2015 között regisztrált és azonosított szeizmikus eseményeknek a számát tartalmazza, amelyek a vizsgált területre estek.



5.3.4.1-2. ábra: A Paksi Atomerőmű mikroszeizmikus megfigyelő hálózat állomásai (piros körök) 2015-ben. A fekete csillag a telephelyet mutatja, az 50 és 100 km sugarú kör a tájékozódást segíti



5.3.4.1-3. ábra: A HUN-Ring virtuális hálózathoz felhasznált állomások 2015-ben. A fekete csillag a telephelyet mutatja, a 150 és 300 km sugarú kör a tájékozódást segíti



5.3.4.1-4. ábra: A magyarországi szeizmológiai állomáshálózat érzékenységi küszöbe (ML magnitúdó) 2015-ben

5.3.4.1-2. táblázat: Az egyes években azonosított szeizmikus események száma [5-59]

	Szeizmikus események (rengések és robbantások) száma	Rengések száma
1995	9	9
1996	18	18
1997	51	51
1998	55	52
1999	81	68
2000	150	81
2001	110	78
2002	112	101
2003	131	103
2004	116	73
2005	96	63
2006	82	45
2007	91	58
2008	116	75
2009	229	104
2010	196	134
2011	410	95
2012	162	97
2013	378	227
2014	487	175
2015	479	200
Összesen	3559	1907

A rengések éves számában a működés első éveiben tapasztalható jelentős növekedés oka nem a szeizmicitás szintjében bekövetkezett változás, hanem az MMH hatékonyság-javulásának következménye.

A rengések eloszlása meglehetősen diffúz, a hipocentrumok – néhány kivételtől eltekintve – nehezen köthetők ismert törésvonalakhoz. A vizsgált területen (Magyarország és szűkebb környezete: 45,5° É-49,0° É; 16,0° K-23,0° K) a földrengés epicentrumok területi eloszlását a TBJ II. [5.3.4.1-5. ábra](#) mutatja. A térképen több mint hatezer epicentrum látható. Ebből az 1995 óta keletkezett rengések száma meghaladja a kétezret, amelyek regisztrálása már a paksi mikroszeizmikus megfigyelő hálózatnak is köszönhető.

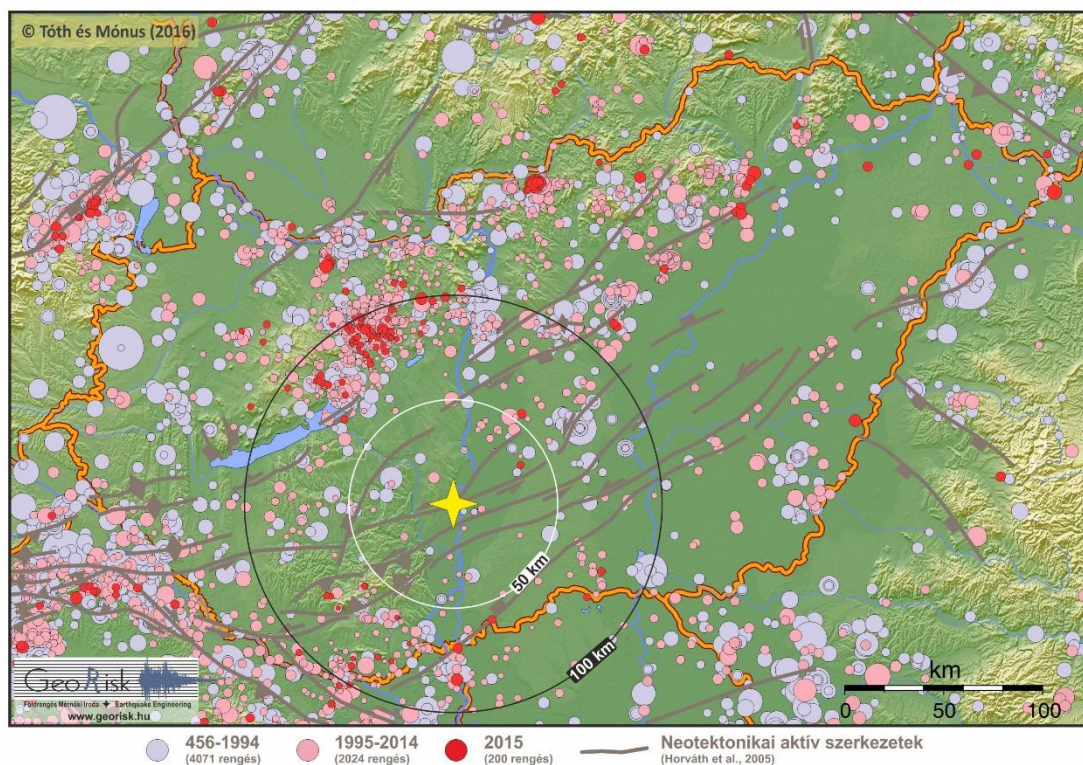
A mostani jó minőségű megfigyeléseket összevetve a történelmi rengésekkel, az látható, hogy nagyjából egybeesnek a múltbeli aktív területek és a mai epicentrumok. Egyes területeken azonban erősebb jelenkori aktivitás mutatkozik (Bükkalja, Cserhát, a Kiskunság egyes részei, Ormánság, Balaton ÉK-i része). A telephely környezetében a húsz évet meghaladó megfigyelés alapján nem látható változás a szeizmicitás szintjében, az továbbra is alacsonynak mondható.

A térség szeizmicitását, illetve a különböző méretű rengések gyakoriságát jellemző Gutenberg-Richter összefüggés ábrázolása a vizsgált területre vonatkozóan a TBJ II. [5.3.4.1-6. ábrán](#)

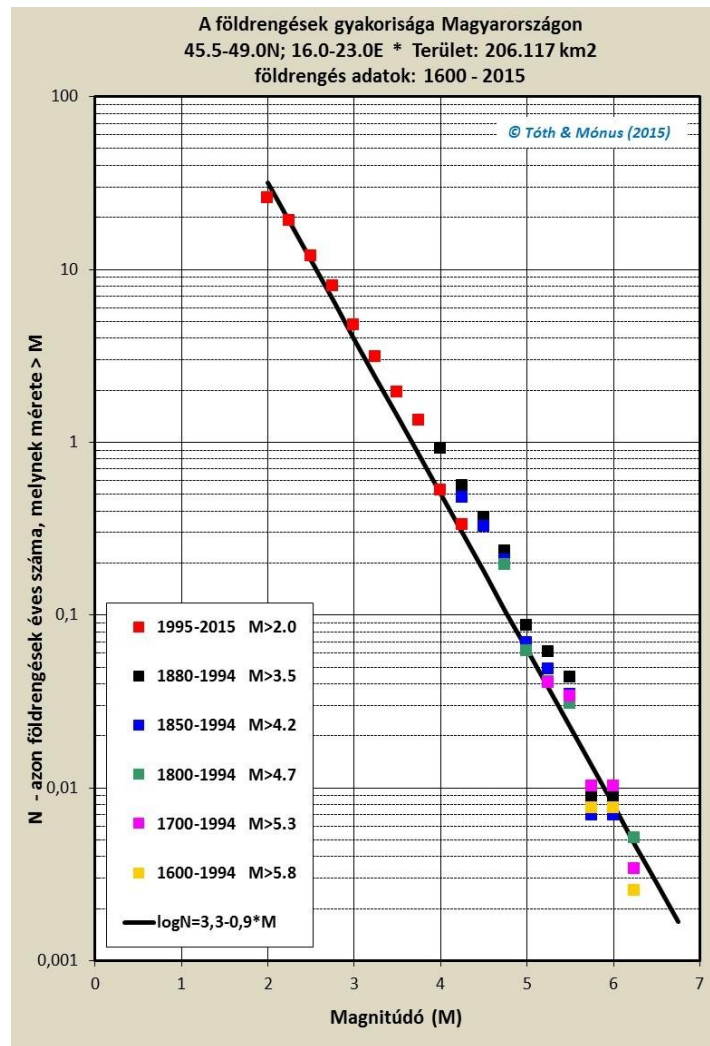
látható. A görbe több részből tevődik össze. Ennek oka az, hogy a különböző időszakokra a katalógus más-más magnitúdó-tartományban tekinthető teljesnek. Minél régebbi időintervallumot tekintünk, a kisebb rengésekre vonatkozó ismeretek annál hiányosabbak. Az utóbbi húsz évet tekintve viszont – amikor a katalógus már szinte a 2-es magnitúdótól teljesnek mondható – a nagyobb magnitúdónál ütközünk korlátba az időintervallum rövidege miatt. Ezért kell a görbét több szakaszból összerakni. Az ábráról leolvasható, hogy $M \geq 6$ magnitúdójú rengés átlagosan 126 évente fordul elő, $M \geq 5$ -ös 16 évente, $M \geq 4$ -es két évente, $M \geq 3$ -asból évente 4 keletkezik, $M \geq 2$ -ből pedig mintegy 32.

A területen a rengések kizárólag sekély, 30 km-nél kisebb mélységben keletkeznek. A TBJ II. [5.3.4.1-7. ábra](#) a különböző fészekmélységek gyakoriságát mutatja. Az ábrán található hisztogram alapján elmondható, hogy a rengések jelentős része 5 és 10 km közötti mélységben keletkezik. Tekintetbe kell venni azonban, hogy a rengések helyének számításánál a legpontatlanabban meghatározható mennyiség éppen a fészekmélység. Az algoritmus gyakran nem is mozdul el a kiinduló értékről, ami ez esetben 10 km. Ha tehát pontosabb, megbízhatóbb, jobban értelmezhető kép szükséges a különböző fészekmélységek gyakoriságáról, célszerűnek látszik a pontosan 10 km-es értékeket elkülöníteni. Megállapítható, hogy a rengések döntő többsége (mintegy $\frac{3}{4}$ része) az 5-15 km-es mélységtartományban keletkezett, 5 km-nél kisebb mélységben kb. 10%. A fennmaradó rész a 16-30 km-es mélységből származik.

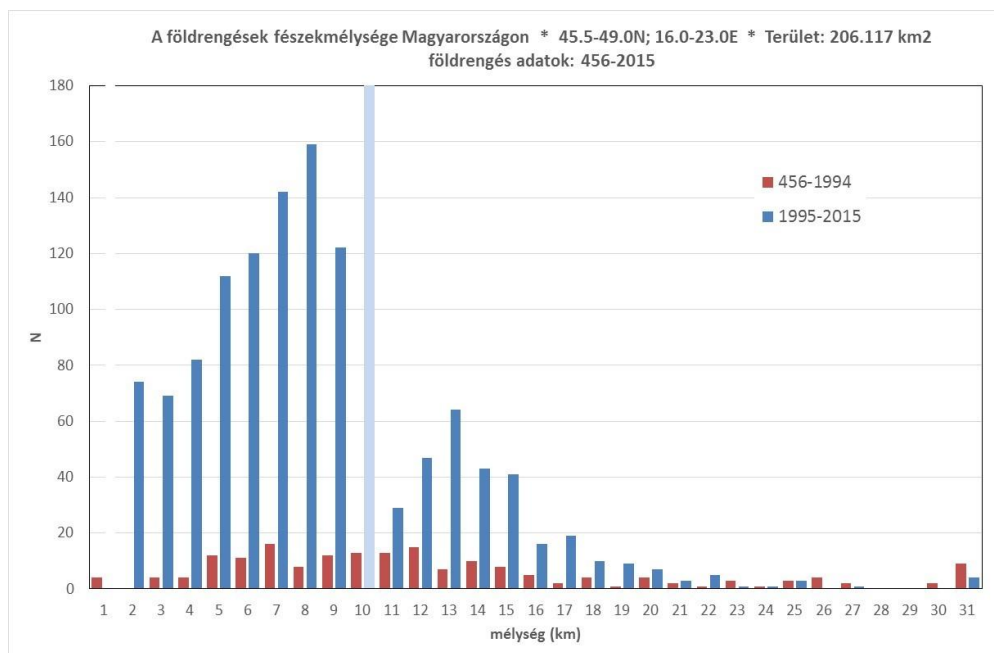
A különböző fészekmélységű rengések epicentrumainak területi eloszlását vizsgálva megállapítható, hogy a sekélyebb fészek (< 10 km) rengések inkább a Dunántúl területére jellemzők, a Dunától keletre a 11-15 km mély rengések aránya megnő. A 30 km-nél mélyebb rengések az ország határán kívül, főleg Erdélyben keletkeztek.



5.3.4.1-5. ábra: Földrengés epicentrumok és neotektonikai aktív szerkezetek a telephely tágabb környezetében. A szürke körök a historikus rengéseket (456-1994), a rózsaszínű körök a mikroszeizmikus monitorozás eredményeként az utóbbi években (1995-2014) megismert rengéseket, a piros körök pedig a legutóbbi év (2015) földrengéseit mutatják. A sárga csillag a telephelyet jelöli, az 50 és 100 km sugarú kör a tájékozódást segíti



5.3.4.1-6. ábra: Földrengések gyakorisága Magyarországon. A piros pontok a mikroszeizmikus monitorozás eredményeként ismertek



5.3.4.1-7. ábra: Földrengések fészkmélységének gyakorisága

A mikroszeizmikus monitorozás eddigi eredményeit értékelve összefoglalóan az alábbi megállapítások tehetők:

- A mikroszeizmikus megfigyelő hálózat tervezése, létesítése, üzemeltetése és adatainak kiértékelése a legszélesebb körű hazai – és a PHARE programon keresztül külföldi, British Geological Survey, OVE ARUP – szakemberek bevonásával, a korszerű nemzetközi szeizmológiai gyakorlatban elfogadott szokásoknak megfelelően, teljesen transzparens módon történt.
- A mikroszeizmikus megfigyelő hálózat 1995 április óta működik folyamatosan. A hálózat technikai működéséről Havi Jelentés, a mért adatok kiértékeléséről Éves Jelentés és időszakonként összefoglaló értékelés (1998, 2005, 2008) készül. Bár az állomások egy részénél a geológiai adottságok nem teljesen ideálisak, a hálózat észlelési képessége – kiegészítve más létező magyarországi szeizmográf állomásokkal – Paks 50 km-es környezetében M_L 2,0 alatt van, de az ország területének nagy részén nem sokkal több, mint M_L 2. 1995 és 2015 között kétezer földrengést regisztráltak Magyarországon és közvetlen környezetében. A rengések nagy része ismert forráshoz köthető. Figyelembe véve a mérőhálózat észlelési képességének Paks környéki fókuszáltságát, nagy biztonsággal kijelenthető, hogy a megfigyelési időszak alatt Paks közvetlen környezetében nem volt olyan földrengés, melynek magnitúdója elérte volna az $M_L=1,5$ értéket. Ily módon az itteni szerkezetek esetleges aktivitása egyre növekvő valószínűséggel zárható ki.
- Megállapítható, hogy a rengések döntő többsége az 5-15 km-es mélységtartományban keletkezett. A hálózat érzékenységének köszönhetően lehetővé vált a kisebb méretű földrengések fészekmechanizmusának meghatározása. Az 1995 és 2015 közötti időszakban a vizsgált területen közel 200 olyan rengés volt, amelynél legalább 6 P hullám első kitérésirány állt rendelkezésre, és így lehetőség volt a fészekmechanizmus meghatározására. Ezek közül kb. az esetek felénél sikerült e módszerrel megbízható megoldást találni. Hullámforma inverzió révén olyan kis rengések mechanizmusát is rekonstruálni lehetett, ahol a klasszikus algoritmus alkalmazása a polaritás-adatok elégtelen száma miatt nem vezetett eredményre. Megállapítható az is, hogy a vizsgált terület egészére nem jelölhető ki egyetlen jellemző feszültségirány, vagy feszültségtér-jelleg, mindhárom vetőtípus (normálvető, harántvető, feltolódás) előfordul.
- A monitorozás eredményeképpen lényegesen megbízhatóbbá vált a földrengések gyakoriságára vonatkozó $\log N=a-bM$ reláció (TBJ II. [5.3.4.1-6. ábra](#)), amely a veszélyeztetettségi számítások egyik legfontosabb bemenő adata.
- A Pannon-medence tektonikailag aktív, a kéregmegnyúlás befejeztével a pliocén-negyedidőszaktól kezdődően szerkezeti értelemben invertálódik. A legújabb tektonikai, geodéziai és geomorfológiai eredmények, valamint a szeizmikus értelmezések azt valószínűsítik, hogy a recens horizontális és vertikális mozgások sebessége a 0,1 mm/év nagyságrendben van. Ez mérsékelt ütemű deformációnak számít a lemezperemi területekhez képest.
- Az állomáshálózat elmúlt húszévi működése az üzemelő atomerőmű telephelyének közvetlen monitorozásán túl jelentősen hozzájárult a Pannon-medence általános földtani megismeréséhez is. Az így összegyűjtött adatok több általános kutatási programba beépültek, ezen keresztül komoly hozzájárulással szolgálnak az egész hazai földtudományi megismeréshez, melyet számos tudományos publikációban történt hivatkozás tükröz.

5.3.4.2. A telephelyvizsgálat keretében létesített mikroszeizmikus állomások

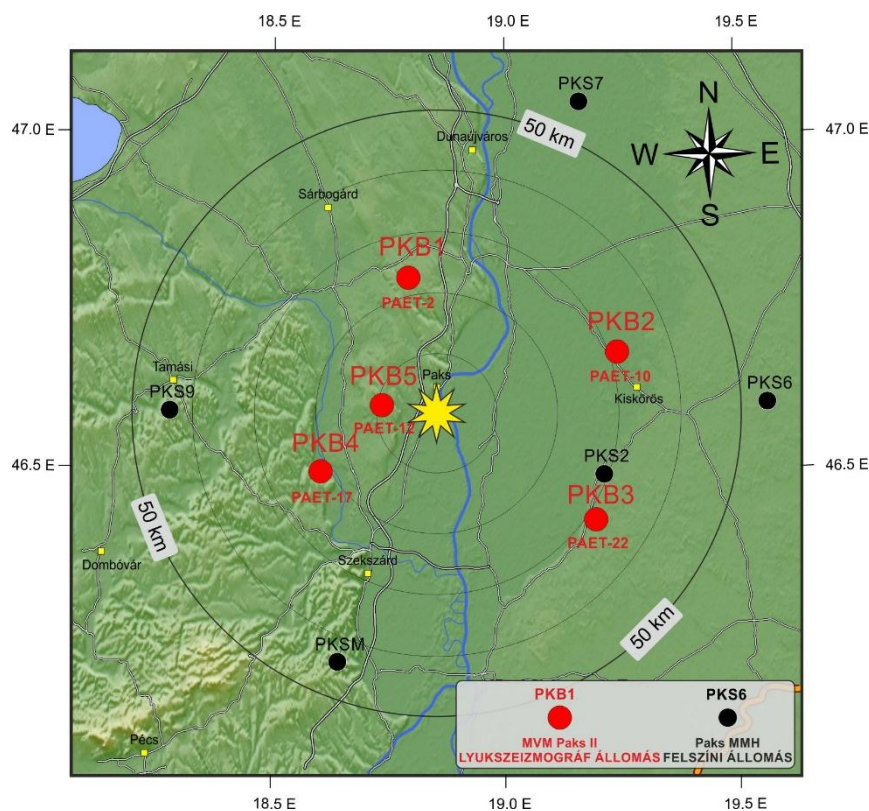
Szeizmológiai és geometriai megfontolásokból – a földrengés paraméterek jobb kiszámíthatósága érdekében – 5 további mérőállomás létesült a telephely 30-40 km-es környezetében (TBJ II. [5.3.4.2-1. ábra](#)).

A mérőállomások a földtani kutatás keretében lemélyített 150 méter talpmélységű fúrólukak helyszínein lettek kialakítva. A kiválasztott helyszínek az alábbiak (TBJ II. [5.3.4.2-1. táblázat](#)):

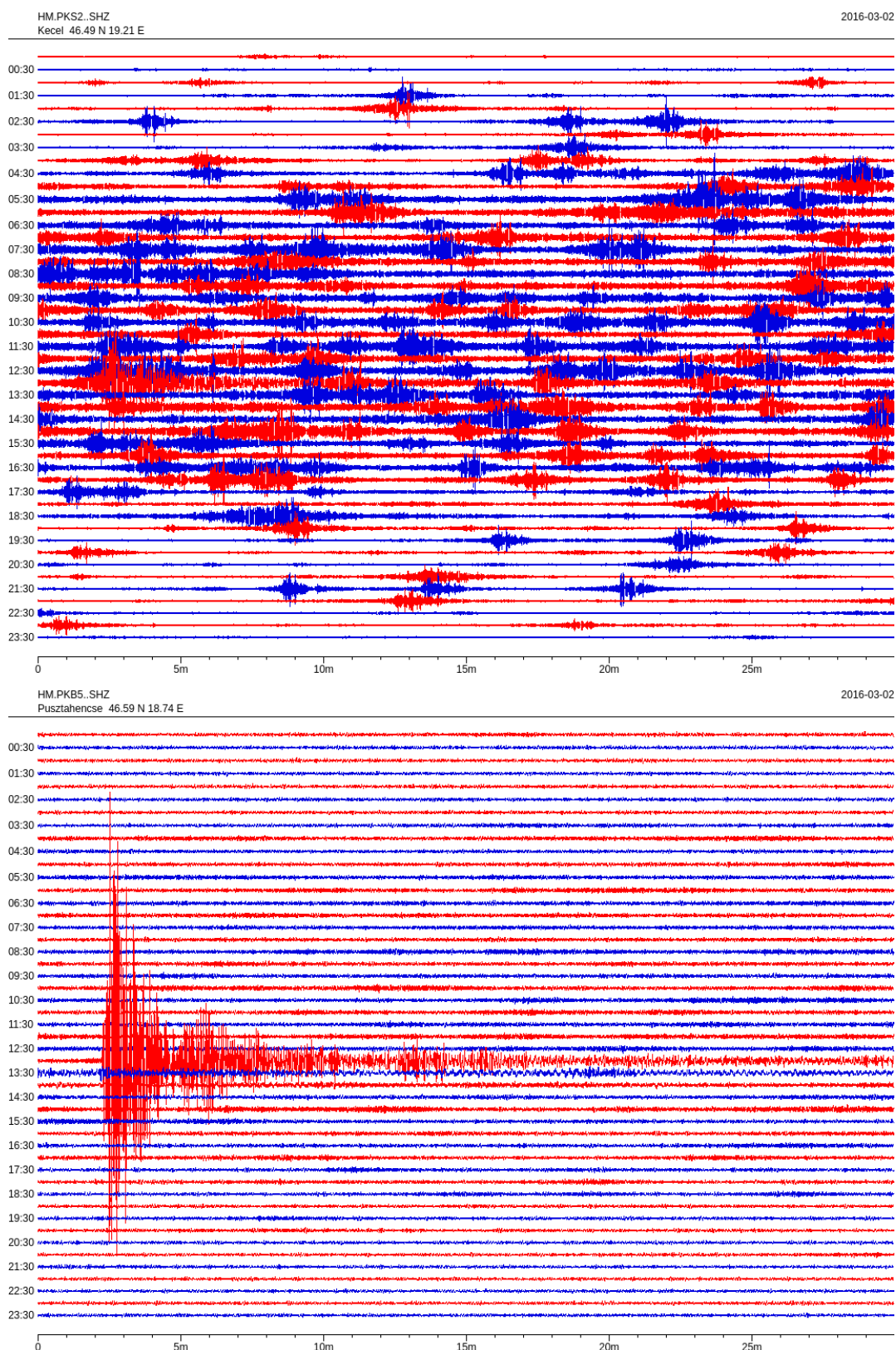
5.3.4.2-1. táblázat: A telephelyvizsgálat keretében létesített mikroszeizmikus állomások koordinátái

Sorszám	Fúrás jele	Földrajzi szélesség	Földrajzi hosszúság	Település	Szeizmológiai állomáskód
1	PAET-2	46.7843	18.7921	Dunaföldvár	PKB1
2	PAET-10	46.6743	19.2418	Akasztó	PKB2
3	PAET-12	46.5950	18.7355	Pusztahencse	PKB5
4	PAET-17	46.4963	18.6038	Kölesd	PKB4
5	PAET-22	46.4242	19.1950	Császártöltés	PKB3

A szeizmográfok fúrólukban történő elhelyezése a szeizmológiai mérés technika legújabb, az utóbbi években elérhető lehetősége. Magas háttérzajjal rendelkező, különösen laza, üledékes területeken ilyen módon nagymértékben csökkenthető a zaj. A TBJ II. [5.3.4.2-2. ábra](#) ugyanazon nap szeizmogramját mutatja a PKS2 felszíni és a PKB5 lyukszeizmográf állomáson. Jól látható, hogy a 150 méter mély lyukban történő méréssel a felszíni zajok jelentős része kiszűrhető, míg a földrengés okozta rezgés amplitúdója a lyukban nem csökken.



5.3.4.2-1. ábra: A telephelyvizsgálat keretében épült mikroszeizmikus állomások. A piros körök az újonnan létesített lyukszeizmográf állomásokat mutatják, a fekete körök pedig a Paksi Atomerőmű mikroszeizmikus állomásai. A sárga csillag a telephelyet jelöli, a 10 - 50 km sugarú körök a tájékozódást segítik



5.3.4.2-2. ábra: Napi (2016.03.02.) szeizmogram a PKS2 felszíni (fent) és a PKB5 lyukszeizmográf (lent) állomáson. A mérőhálózat üzembe helyezése utáni napon regisztrált földrengés (2016-03-02 12:49:46.3 UTC; SOUTHWEST of SUMATRA, Indonesia; Mw=7,8) egyben a hálózat kalibrálására is lehetőséget adott

5.4. Geotechnika

A telephelyvizsgálat szakaszában a telephely általános geotechnikai jellemzése és a geotechnikai szempontú alkalmasságának megállapítása volt a cél. A vizsgálat középpontjában a telephely, illetve ezen belül az építésre kijelölt terület általános geotechnikai jellemzése állt, amely:

- a telephelyi geotechnikai feltárásokra, laboratóriumi vizsgálatokra, ezek értékelésére épült;
- megadta a talajrétegek geotechnikai jellemzőit, azok karakterisztikus értékeit és teherviselő képességének jellemzését, valamint a társ szakágak számára szükséges talajmechanikai adatokat;
- biztosította a talajfolyósodás veszélyének értékeléséhez szükséges adatokat és a megfolyósodás geotechnikai értékelését.

A telephely földtudományi és geotechnikai vizsgálata szoros kölcsönhatásban van. A földtudományi vizsgálat megadta a geotechnikai vizsgálatokhoz a terület földtani, morfológiai, hidrogeológiai leírását. A geotechnikai vizsgálatok eredményei pedig bemeneti adatokat szolgáltattak a felszínközeli földtudományi vizsgálatokhoz, például a mértékadó földrengés szabadfelszíni jellemzőinek kiszámításához. A geotechnikai vizsgálatok alapadatai a földtudományi kutatási eredmények voltak, annak ellenére, hogy a geotechnikai kutatás és vizsgálat mélységében és területi kiterjedésében jelentősen kisebb, mint a földtudományi kutatás, és a célja is más volt. A földtani alapadatok keretet adtak a geotechnikai vizsgálatokhoz, a geotechnikai paraméterek meghatározása, a geotechnikai veszélyek felmérése tekintetében azonban önálló feladatot jelentett.

Figyelembe véve a terület geológiai történetét, a földtani képződmények (rétegek) keletkezését, a rétegződés jellegzetességeit, a réteghatárok és az átmenetek sajátosságait (ld. TBJ II. [5.1. fejezet](#)) a geotechnikai vizsgálat eredménye:

- a telephely alatt fekvő rétegek felépítése, annak térbeli elhelyezkedése és változékonysága,
- az egyes rétegeket alkotó talajok típusa, összetétele, szerkezete, paraméterei és ezek változékonysága, valamint statikus és dinamikus jellemzői.

Ezek alapján felállították azokat a geotechnikai megközelítéseket, amelyek:

- összhangban vannak a terület geológiai történetével,
- más földtudományi szakterületek adatait geotechnikai szempontból szintetizálva, értelmezik a vizsgálati eredményeket,
- bemutatják, jellemzik, illetve kizárják a geotechnikai veszélyeket,
- alkalmasak a tervezési alapba tartozó geotechnikai adatok meghatározására.

Geotechnikai szempontból a vizsgált terület a szélső fúrás pontok (a TBJ II. [5.4-1. táblázat](#) I-1.-I-7., II-8., III-8., IV-8., V-8.-V-1., IV-1., III-1. II-1. és I-1. fúrások) koordinátái által közbezárt 70,7 hektáros terület.

5.4-1. táblázat: A telephelyen létesített fúrások adatai (a fúrások helyét a TBJ II. [5.4.1 1. ábra](#) mutatja)

	Fúrás jele	Tényleges mélység (m)	EOV Y	EOV X	Magasság (mBf.)	Feltöltés vastagsága
1	I-1-A	15,00	634 923,87	137 962,81	96,90	6,25
2	I-2-C	50,10	635 032,58	137 948,98	97,08	5,90

	Fúrás jele	Tényleges mélység (m)	EOV Y	EOV X	Magasság (mBf.)	Feltöltés vastagsága
3	I-3-A	15,00	635 245,99	137 906,64	97,15	6,30
4	I-4-C	50,00	635 418,05	137 905,61	96,91	6,20
5	I-5-A	15,00	635 542,90	137 910,56	96,75	7,20
6	I-6-D	130,00	635 671,82	137 919,56	96,50	7,80
7	I-7-A	15,00	635 697,36	137 952,22	96,33	5,00
8	I-8-B	25,00	635 883,14	138 079,97	96,55	1,50
9	II-1-A	15,00	634 709,99	137 713,26	96,33	3,70
10	II-2-D	131,50	634 916,29	137 741,25	97,16	6,50
11	II-3-A	15,00	635 060,33	137 723,95	97,08	5,20
12	II-4-C	50,30	635 194,80	137 769,64	96,96	6,70
13	II-5-A	15,00	635 318,85	137 760,30	97,02	5,00
14	II-6-D	131,45	635 402,82	137 747,62	96,87	5,20
15	II-7-A	15,00	635 490,15	137 738,12	96,82	5,34
16	II-8-B	25,00	635 546,33	137 735,38	96,78	5,50
17	III-1-A	15,00	634 639,11	137 487,58	97,06	4,70
18	III-2-C	50,05	634 809,63	137 544,77	97,02	3,90
19	III-3-A	15,00	634 919,86	137 507,13	97,01	4,00
20	III-4-C	50,15	635 048,36	137 493,39	97,17	3,80
21	III-5-A	15,00	635 170,90	137 490,12	96,88	4,40
22	III-6-D	131,50	635 240,05	137 514,18	97,33	4,60
23	III-7-A	15,00	635 309,90	137 494,38	97,14	5,90
24	III-8-B	25,00	635 419,54	137 503,26	96,73	6,90
25	IV-1-A	15,00	634 513,85	137 190,74	93,77	3,60
26	IV-2-D	130,00	634 810,26	137 201,34	97,04	4,70
27	IV-3-A	15,00	634 963,96	137 282,49	96,57	5,30
28	IV-4-C	50,45	635 049,95	137 274,57	96,56	4,20
29	IV-5-A	15,00	635 133,23	137 292,68	97,31	7,15
30	IV-6-D	130,10	635 194,27	137 293,99	97,22	6,80
31	IV-7-A	15,00	635 325,16	137 304,30	97,12	7,20
32	IV-8-B	25,00	635 382,41	137 304,42	96,75	6,55
33	V-1-C	50,50	634 622,10	136 949,05	97,06	4,20
34	V-3-A	15,00	634 805,60	136 989,28	97,14	2,80
35	V-4-C	50,50	634 950,94	137 101,19	97,12	2,70
36	V-5-A	15,00	635 072,79	137 098,49	97,20	3,85
37	V-6-D	130,00	635 179,11	137 119,47	97,04	3,30
38	V-7-A	15,00	635 242,37	137 092,07	97,12	6,45
39	V-8-B	25,00	635 285,33	137 092,53	96,91	5,00

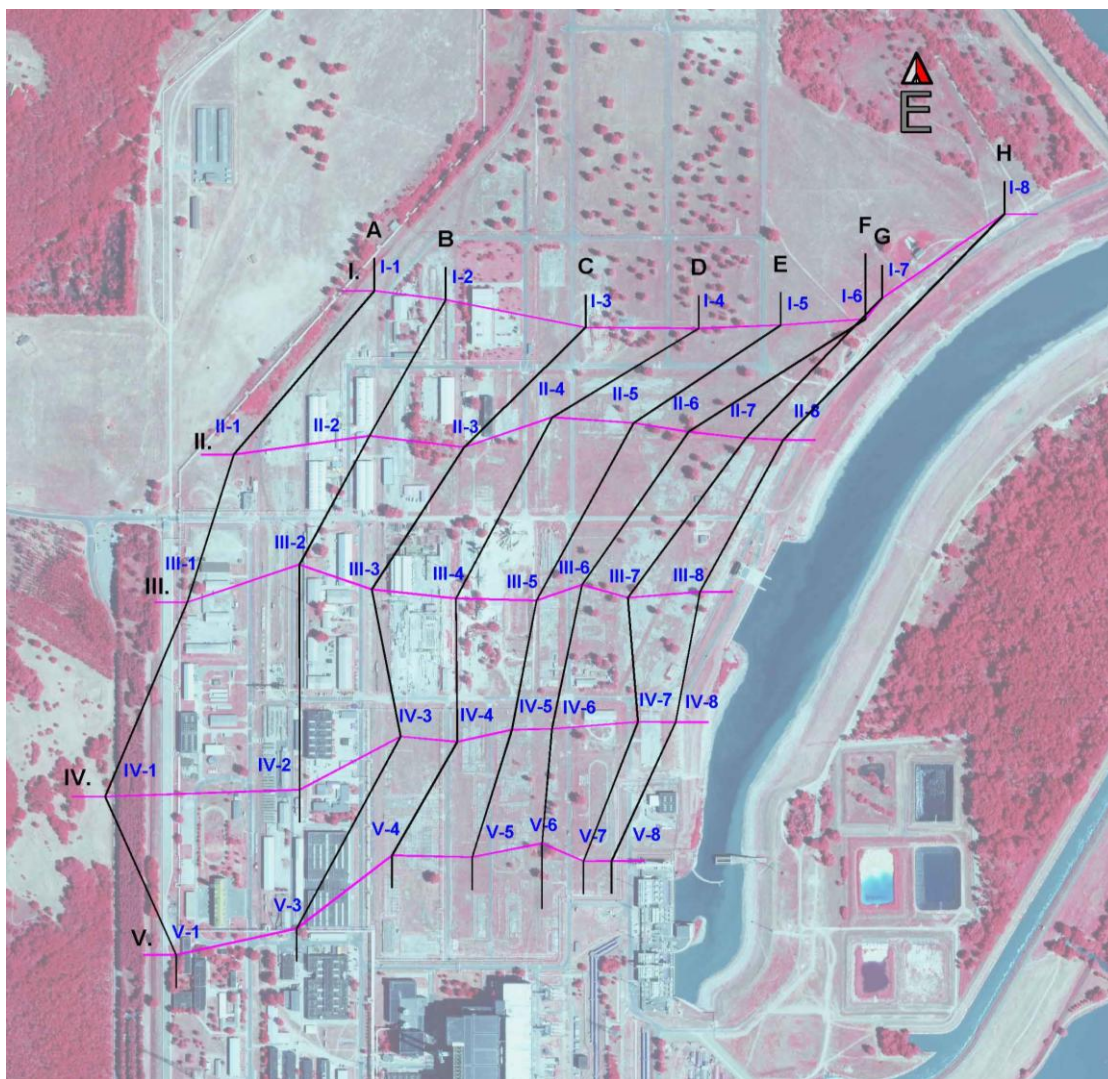
5.4.1. Talajrétegződés, talajállapot

Geotechnikai szempontok alapján a következő alapvető rétegződés vehető figyelembe:

- feltöltés,
- holocén agyag,

- futóhomok,
- öntéshomok,
- kavicssterasz,
- pannon rétegek további felosztás szerint.

A geotechnikai feltárás (TBJ II. [5.4.1-1. ábra](#)) 130 m-es mélységig írja le a rétegződést az Eurocode 7 szerinti vizsgálatok és értékelések alapján. A pannóniai (Újfalui Formáció TBJ II. [5.1.1. fejezet](#)) agyag és homok rétegek az alsó mintegy 100 m-en többször váltogatják egymást, így ezen rétegek más csoportosítása is elképzelhető, figyelembe véve, hogy csak hasonló minőségű, hasonló azonosító jellemzőkkel rendelkező talajok lehetnek egy réteg.



5.4.1-1. ábra: Fúrások és szelvényezések a telephelyen

5.4.2. Az egyes rétegek jellemzése

5.4.2.1. Feltöltés

A feltöltés részben az üzemelő blokkok építéskor keletkezett, térfogatának jelentős része a hidegvíz-csatornából, kisebb része a melegvíz csatornából és a blokkok alapozásából került ki, részben anyagnyerőhelyről való. A feltöltés minden fúrásban jelen van, vastagsága 1,8-8,7 méter között változik, (TBJ II. [5.4-1. táblázat](#)) átlagos vastagsága 5,2 m. A feltöltés anyaga átlagosan 92-93 %-ban homok, 7-8 %-ban iszap és agyag. Maga a feltöltést uraló

homok is tartalmaz más szemcsefrakciót, helyenként 10 %-nál kevesebb agyagot és kavicsot, illetve egyes helyeken 22 %-ot elérő mennyiségű iszapot.

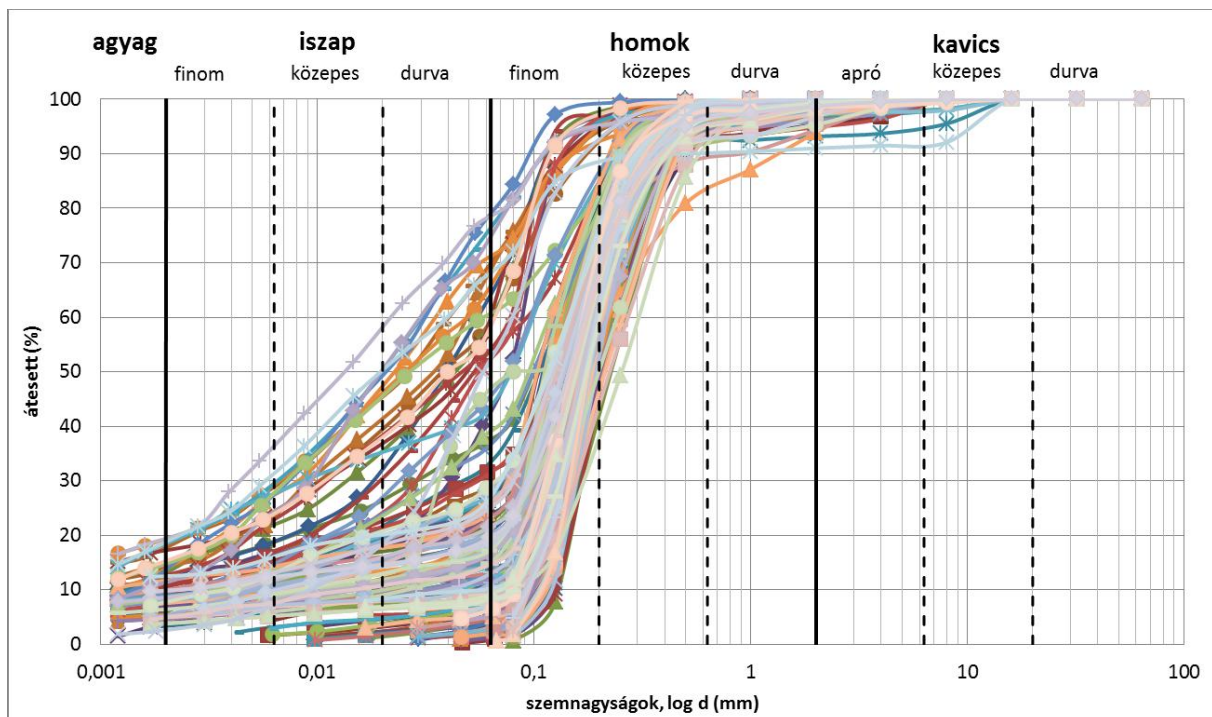
A feltöltésben lévő iszap és agyag is szemeloszlással (TBJ II. [5.4.2.1-1. ábra](#)) lett azonosítva, ezen talajokban az agyagtartalom felmegy 30 %-ig, az iszap+agyag tartalom pedig eléri a 85 %-ot is. A különböző kötött talajok a feltöltésben összefüggő rétegeként nem különíthetők el.

A feltöltés teherbírása alacsony, valószínűleg külön nem tömörítették. A feltöltés feltételezett határát a magminták és a szondázások eredményeinek együttes értékelésével sem lehetett mindenütt egyértelműen meghatározni.

A feltöltés anyaga száraz, víztartalma a szemcsés részben gyakorlatilag sehol sem haladja meg a $w = 20\%$ -ot, de általában a víztartalom kisebb, mint $w = 13\%$. A víztartalom mérések alapján is jól elkülöníthető a homok az egyéb rétegektől, az agyaglencsékben a víztartalom 20 % fölé is nőtt. A feltáráskor talajvíz a feltöltés alatt 3-5 méter mélyen jelentkezett.

A feltöltés anyagának CPT vizsgálattal meghatározott csúcsellenállása meglehetősen eltérő képet mutatott. A felszínen és a felszín közelében 1-4 MPa csúcsellenállást mértek, ami laza talajra utal, ugyancsak ilyen alacsony a kötött, vagy gyengén kötött talajok csúcsellenállása a feltöltésben. Nagyobb értékeket mértek a feltöltés homok, finomhomok talajában, ahol a csúcsellenállás több helyen meghaladta a 20 MPa-os értéket, néhány helyen elérte a 40 MPa-t. Ez utóbbiak elsősorban a feltöltés alsó felében találhatóak. A feltöltés alsó része megfelelően tömör, teherbíró (TBJ II. [5.4.2.1-1. táblázat](#)).

A feltöltésben is több helyen merült fel a minták leírásánál és a kijelölésnél a szerves, szerves szennyeződés gyanúja. Összesen 14 mintánál készült izzítási veszteség meghatározás, mely szerint az izzítási veszteség 1,8 % és 7,3 % között változott, átlag 4,3%. Csak 3 minta volt gyengén szervesnek minősíthető 5,5; 5,6 és 7,3 % izzítási veszteség értékkel. A meghatározott értékek a gyengén szerves kategória alsó határánál voltak.



5.4.2.1-1. ábra: A feltöltés szemeloszlás vizsgálatának eredménye

5.4.2.1-1. táblázat: Feltöltés talajjellemzői

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemzés	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
Kavics frakció arány	K	%	139	0,02	26,91	1,71	3,24	1,89
Homok frakció arány	H	%	226	12,4	100,0	82,8	20,8	0,25
Iszap frakció arány	I	%	167	0,85	85,62	17,42	16,31	0,94
Agyag frakció arány*	A	%	76	2,63	28,05	9,77	4,95	0,51
Víztartalom lab. vizsgálat	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
Nedves térfogatsúly	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 térfogatsűrűség	ρ_d	g/cm ³	575	1,53	1,75	1,63	0,05	0,03
Víztartalom izotópos mérés	w	%	620	4,80	29,9	13,1	5,73	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
Légnemű fázis	l	-	590	0,01	0,36	0,19	0,09	-
SPT	N ₃₀	db	11	5	32	15,6	7,15	0,46
SPT(C)	N ₃₀	db	48	3	22	12,9	6,30	0,49
SPT archív	N ₃₀	db	105	2	50	16,9	11,7	0,69
CPT csúcsellenállás	q _c	MPa	6320	0,11	24,99	7,67	5,69	0,74
CPT sűrűlódási arányszám	R _f	%	6712	0,09	5,00	1,31	0,97	0,74

* Csak azok a vizsgálatok, amelyekben volt kimutatható agyag mennyiség.

5.4.2.2. Humuszos fedőréteg

A feltöltés alatt négy fúrásban gyökérmaradványos humusznymos réteget azonosítottak a vizsgálatok. A négy fúrásban az összvastagság 2,66 m. Ezekből három azonosító vizsgálat készült. Az alacsony elemszám miatt ebből a rétegből statisztikai feldolgozás nem készülhetett, kivéve a CPT vizsgálatokat (TBJ II. [5.4.2.2-1. táblázat](#)). Nem kizárt, hogy a feltöltés készítésekor egyes helyekről a humuszos felső 20-50 cm vastag réteget nem távolították el.

CPT vizsgálattal meghatározott csúcsellenállása meglehetősen alacsony értéket mutatott. A csúcsellenállás mindenhol alacsonyabb volt, mint 6 MPa, átlag 2,4 MPa.

5.4.2.2-1. táblázat: Humuszos fedőréteg

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemzés	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
CPT csúcsellenállás	q _c	MPa	73	0,99	5,92	2,39	1,11	0,46
CPT sűrűlódási arányszám	R _f	%	73	1,05	4,53	2,84	0,92	0,32

5.4.2.3. Holocén agyag

Közvetlenül a feltöltés alatt 12 fúrásban vékony holocén agyagréteg volt található. Ez lehetett a feltöltés előtti eredeti terepszinten lévő talaj. Színe változatos, alapvetően a barna és szürke tónus dominált. A réteg vastagsága 0,25-1,8 méter között változik, az átlag csaknem 0,8 m, azonban ezen belül is több közberétegzett vékony finomhomok réteg található. A rétegek gyakori változása akár folyami kiöntésre is utalhat. A feltöltés alatt átlagosan mintegy 100 kPa terhelés hatására ez a réteg valószínűleg bizonyos mértékben már összenyomódott, konszolidálódott.

Tekintettel arra, hogy az agyag csak az I. és II. számú K-Ny-i irányú talajszelvénynek a Ny-i oldalán helyezkedik el, ezért viszonylag kevés adat állt rendelkezésre a statisztikai feldolgozáshoz (TBJ II. [5.4.2.3-1. táblázat](#)). Víztartalom meghatározás a fúrásokból 26, szemeloszlási vizsgálat 8, plaszticitási index meghatározás 11 db készült. Az agyag állapotjellemzőire – a minták alacsony száma miatt – egyszerűsített statisztikai értékelést lehetett adni.

Az agyag plasztikus indexe alapján sovány, közepes és kövér agyag, plasztikus határa jó közelítéssel $w_p = 19\%$ (16-21 % között), folyási határa $w_L = 42\%$ (32 - 55 % között). A plaszticitási index $I_p = 11$ és 35% közötti, 23%-os átlagértékkel. A konzisztencia indexe széles határok között változik a keménytől a gyúrhatóig. Átlagosan $I_c = 0,84$, merev állapotú. A víztartalomnak és az azonosító jellemzőknek a variációs tényezője mindenhol $c_v < 0,3$ -re adódott.

Az agyagból vett magmintákból készült laboratóriumi vizsgálatokat pótolják a CPT vizsgálatok, melyek szerint a holocén agyag teherbírása alacsony. Az agyag CPT vizsgálattal meghatározott csúcsellenállása meglehetősen alacsony értéket mutatott. A csúcsellenállás mindenhol alacsonyabb volt, mint 6 MPa, de az esetek 90%-ában 3,0 MPa-nál kisebb értéket mértek.

Az agyagrétegben két helyen felmerült a minták leírásánál és a kijelölésnél a szervesség gyanúja. Az elkészült izzítási veszteség meghatározás szerint azok értéke 5,5 % és 7,0 %, vagyis mindkettő gyengén szervesnek minősíthető. A meghatározott izzítási veszteség értékek a gyengén szerves kategória alsó határánál vannak.

5.4.2.3-1. táblázat: Holocén agyag talajjellemzői

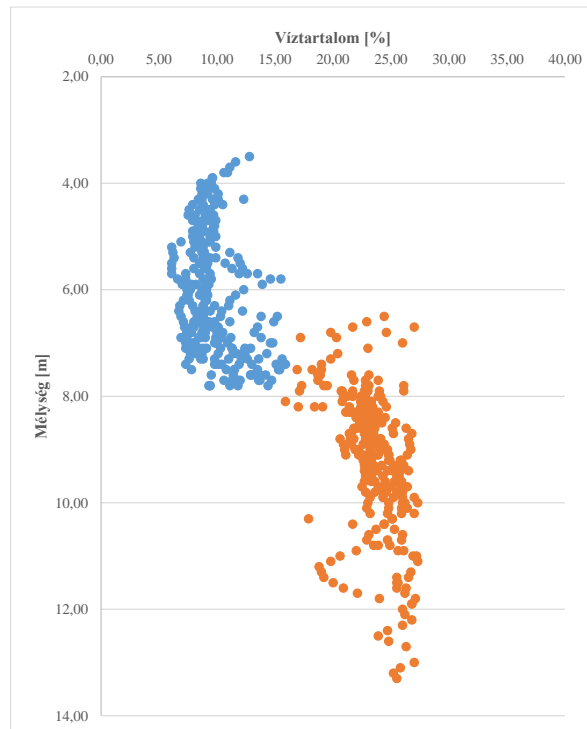
Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemszám	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
Folyási határ	w_L	%	11	31,9	55,2	41,8	6,91	0,17
Sodrési határ	w_p	%	11	15,9	20,6	18,6	1,61	0,09
Plaszticitási index	I_p	%	11	11,3	35,2	23,3	6,67	0,29
Konzisztencia index	I_c	%	11	0,44	1,12	0,84	0,22	0,26
Víztartalom lab. mintákból	w	%	11	16,7	27,5	21,77	3,85	0,18
Nedves térfogatsúly	ρ	g/cm^3	68	1,81	2,07	1,95	0,07	0,034
Telítettség	S_r	-	68	0,43	1,00	0,89	0,14	0,16
Hézagterfogat	n	%	68	36,00	49,00	40,0	2,87	0,07
Hézagtenyező	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 izotópos mérésből	w	%	68	10,70	34,30	22,85	4,98	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	0,00	0,18	0,04	0,05	-
SPT(C)	N_{30}	db	46	2	22	6,7	4,37	0,65
CPT csúcsellenállás	q_c	MPa	629	0,25	6,00	1,64	1,03	0,63
CPT súrlódási arányszám	R_f	%	645	1,01	6,88	3,71	1,34	0,36

5.4.2.4. Futóhomok

A futóhomok pleisztocén szárazföldi üledékek áthalmozódásával keletkezett, s nem csak pusztán az eltérő keletkezése miatt különböztethető meg az alatta fekvő öntéshomok rétegtől, hanem magasabb iszaptartalma miatt is.

A futóhomok réteg az I-1-A és I-2-C fúrások kivételével minden fúrásban jelentkező eltérő vastagságban. Az átlagos rétegvastagság 5,0 m, minimális vastagsága 1,2 méter (ahol jelen van), maximális vastagsága 12,8 m.

A futóhomok anyaga átlagosan 0,4 % kavicsot, 88,4 % homokot, 9 % iszapot és 2,2 % agyagot tartalmaz, tehát egy masszív homok rétegről van szó. A maximális iszaptartalom eléri a 60 %-ot. A réteg szemeloszlási határgörbét a TBJ II. [5.4.2.4-2. ábra](#) tartalmazza.



5.4.2.4-1. ábra: Futóhomok víztartalma talajvízszint felett (kék) és talajvízszint alatt (barna)

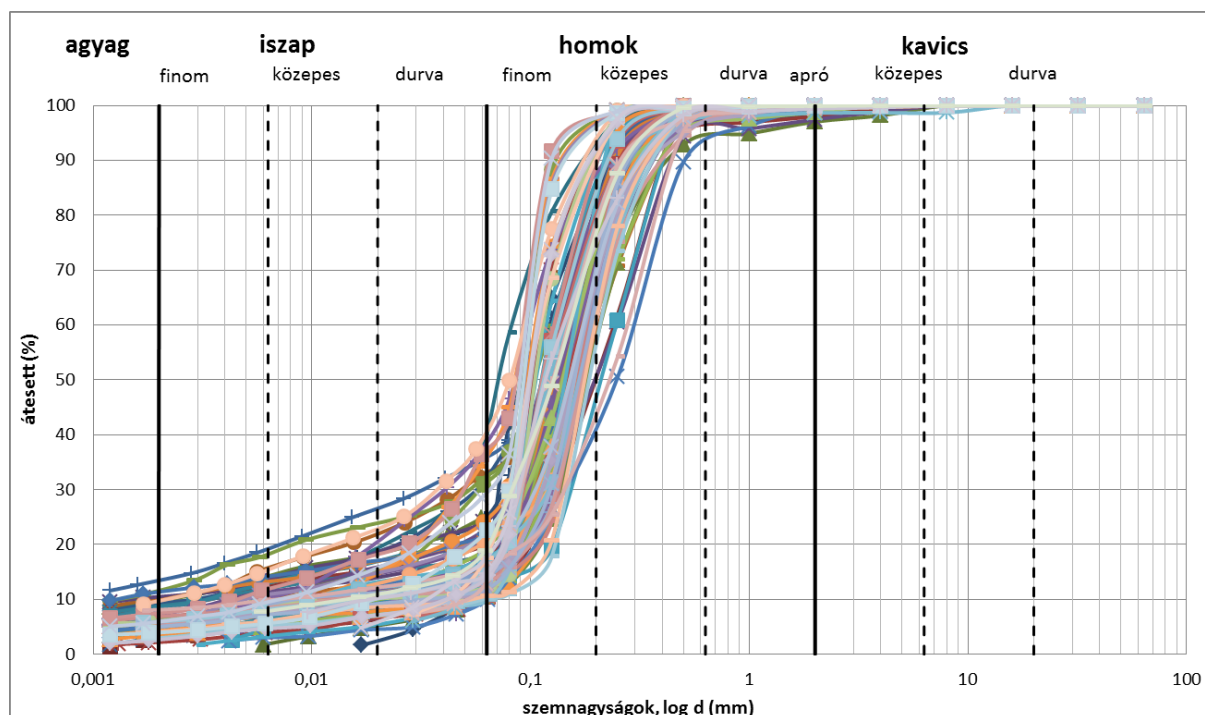
Feltáráskor a talajvíz nyugalmi szintje a futóhomok réteg alsó harmadában volt. A talajvízszint ingadozási zónája elsősorban a futóhomok réteget fedi le, ezért a futóhomok víztartalmának átlagos értéke függ a mindenkori talajvízszinttől (TBJ II. [5.4.2.4-1. ábra](#)). $w = 9,8 \%$, minimális értéke $6,1 \%$, 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 térfogatsúly $\gamma_{\text{sat}} = 19,1 \text{ kN/m}^3$ -re. A talajvízszint ingadozás miatt jellemzőbb lehet a száraz térfogatsúly értéke, $\gamma = 16,0 \text{ kN/m}^3$. 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 hézagtényező 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 talajvízszint feletti rétegről van szó (TBJ II. [5.4.2.4-1. táblázat](#)).

A réteg nyírószilárdsági paramétereinek átlagértékei $\varphi = 30^\circ$, $c = 0 \text{ kPa}$ figyelembe vétele javasolható 14 db triaxiális vizsgálat alapján. Hasonló eredményt szolgáltatott a közvetlen nyíróvizsgálat, $\varphi = 30^\circ$, ahol a vizsgálatok száma 38 volt. Az összenyomódási modulus várható értéke 37 vizsgálat alapján $E_{\text{oed}} = 12,8 \text{ MPa}$ -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.



5.4.2.4-2. ábra: Futóhomok szemeloszlása

5.4.2.4-1. táblázat: Futóhomok talajjellemzői

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemzszám	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
Kavics frakció arány	K	%	107	0,02	6,05	0,51	0,76	(1,48)
Homok frakció arány	H	%	220	39,9	100,0	89,4	11,0	0,12
Iszap frakció arány	I	%	160	1,1	52,9	11,5	8,6	0,74
Agyag frakció arány	A	%	75	2,2	13,3	5,9	2,6	0,44
Víztartalom azonosító vizsg.	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
Nedves térfogatsúly tv. felett	ρ	g/cm ³	289	1,75	1,93	1,85	0,04	0,022
Telítettség tv. felett	S _r	-	287	0,22	0,72	0,40	0,09	0,23
Víztartalom tv. felett	w	%	268	6,10	15,9	9,8	2,16	0,22
Nedves térfogatsúly tv. alatt	ρ	g/cm ³	280	1,82	2,05	1,94	0,04	0,02
Telítettség tv. alatt	S _r	-	318	0,52	1,00	0,89	0,10	0,12
Víztartalom tv. alatt	w	%	288	15,9	27,30	23,4	2,22	0,10
Hézagterefogat	n	%	611	35,0	45,0	39,7	2,00	0,05
Hézagtenyező	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
SPT	N ₃₀	db	9	14	37	23,2	6,46	0,28
SPT(C)	N ₃₀	db	460	3	40	20,5	7,65	0,37
SPT archív	N ₃₀	db	105	3	51	29,8	11,2	0,37
CPT csúcscellenállás	q _c	MPa	9195	1,64	34,7	17,4	5,52	0,32
CPT súrlódási arányszám	R _f	%	9147	0,30	1,99	0,86	0,21	0,25

5.4.2.5. Öntéshomok

Az öntéshomok réteg az V-1-C fúrás kivételével minden fúrásban jelentkezett eltérő vastagságban, szélsőértéke 1,4-8,3 méter közötti, átlagos vastagság 5,4 m. A réteg alsó és felső határa viszonylag sík, vastagsága relatíve egyenletes. Kis eltérésekkel a homokrétegek (futó- és öntéshomok) alsó határa 81 - 81,5 méter között az I-III. talajszelvényben készült fúrásoknál, és a IV. illetve V. szelvény fúrásainál 80-81,5 mBf található.

A réteg anyaga átlagosan 3,4 % kavicsot, 94,4 % homokot, 1,8 % iszapot és 0,4 % agyagot tartalmaz, vagyis durvább szemösszetételű, mint a futóhomok, itt még nagyobb a homokfrakció aránya. A szemcsézettség miatt a plaszticitás meghatározására nem volt szükség. A 10 súlyszázalékhoz 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 változott, az átlagos értéke $C_U = 2,53$, alacsony variációs tényező mellett. A réteg szemeloszlási határgörbéit a TBJ II. [5.4.2.5-1. ábra](#) tartalmazza. A szemeloszlási görbe alapján megállapítható, hogy az öntéshomok közel egyszemcsés, rosszul graduált, szűk határgörbék közötti tartományban elhelyezkedő iszapmentes homok.

A homok víztartalmának átlagos értéke az izotópos mérések alapján $w = 26,1$ %, minimális értéke 19,1%, maximális 31,2%. A talajréteg telített, az átlagos telítettség $S_r = 0,98$. Közeledve a talajvíz mozgási zónájához, emelkedik a telítettség értéke (vö. a fentebb elhelyezkedő futóhomok telítettségű adataival).

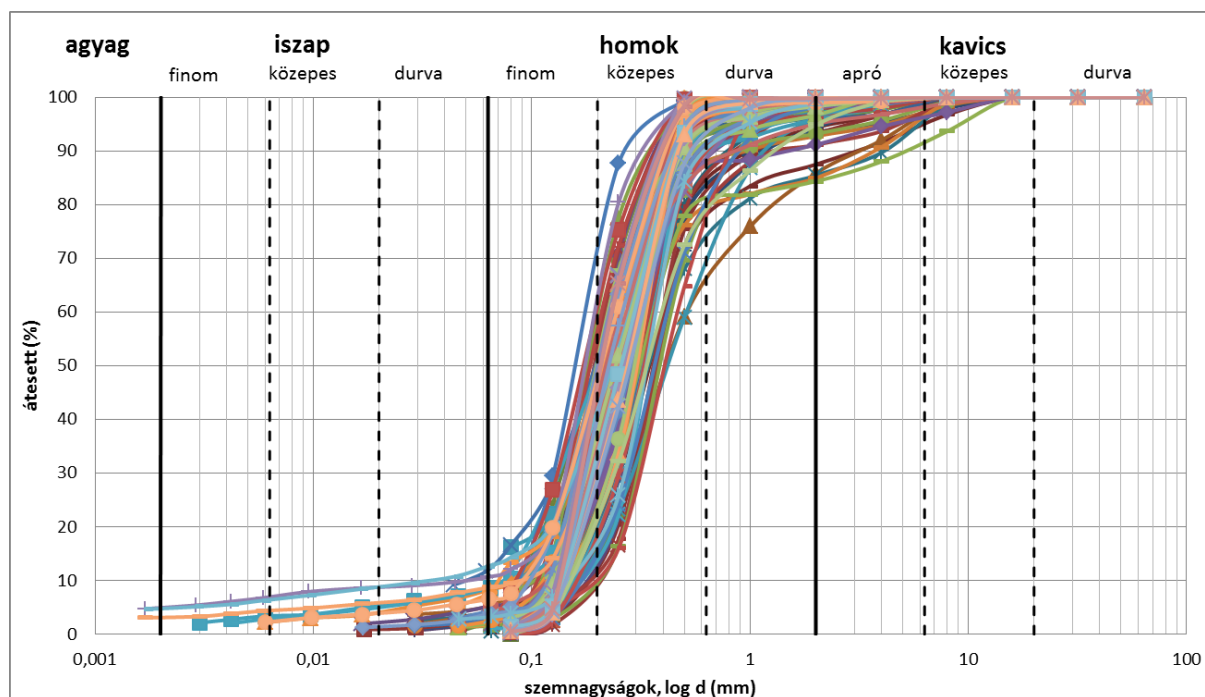
Az öntéshomok nedves térfogatsúlyának átlagértéke $\gamma = 19,6$ kN/m³-re adódott, míg a száraz térfogatsúlyé $\gamma_d = 16,6$ kN/m³. Ezek az értékek összehasonlítva a többi réteg hasonló értékével alacsonynak tűnnek, akkor is, ha figyelembe vesszük az alacsony átlagos hézag tényezőt, $e = 0,65$ (szélsőértékek 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 szondázással meghatározott csúcsellenállás értékeinek átlaga a finomhomokhoz hasonlóan $q_c = 16-17$ MPa, maximális értéke 34 MPa-ban adható meg.

A statisztikai feldolgozás alapján 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 (TBJ II. [5.4.2.5-1. táblázat](#)).

A réteg nyírószilárdsági paramétereinek átlagértékei $\phi = 30 - 31^\circ$, $c = 0$ 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 átteresztőképességi együttható 5 vizsgálat alapján a $k = 3,1 \cdot 10^{-5} - 2,8 \cdot 10^{-4}$ m/s értékek közé adódott.

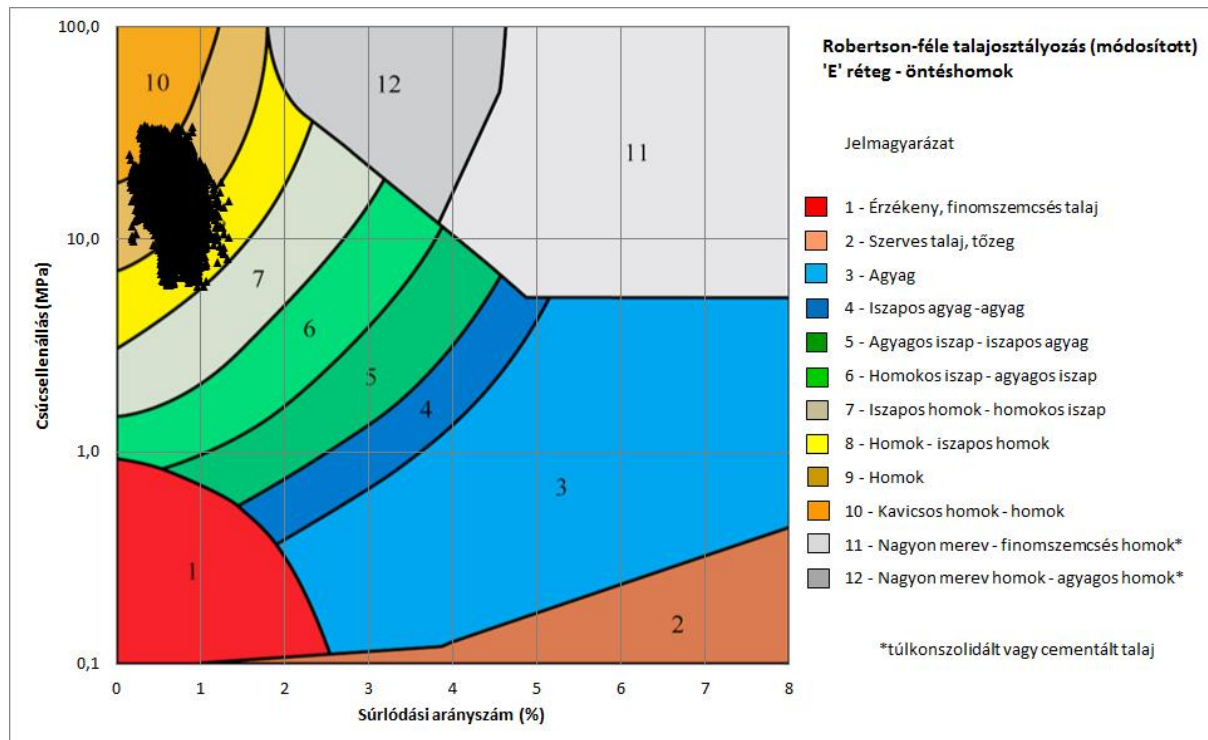
A fentiek alapján az öntéshomok megfelelő teherbíró réteg, ami nem csak az alacsony hézag tényezőben, magas nyírószilárdságban, de a CPT szondázási csúcsellenállások eredményeiben (TBJ II. [5.4.2.5-2. ábra](#)) is megmutatkozik.



5.4.2.5-1. ábra: Öntéshomok szemeloszlása

5.4.2.5-1. táblázat: Öntéshomok talajjellemzői

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elem	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
Kavics frakció arány	K	%	109	0,04	8,86	1,54	1,93	(1,25)
Homok frakció arány	H	%	140	86,92	100,00	97,64	2,79	0,03
Iszap frakció arány	I	%	35	1,64	12,09	4,26	2,52	0,59
Agyag frakció arány	A	%	3	3,12	4,91	4,27	1,00	0,23
Víztartalom lab. vizsgálat	w	%	140	11,7	22,7	18,1	2,1	0,12
10%-hoz tartozó szemmagyság	D ₁₀	mm	139	0,034	0,20	0,13	0,03	0,20
60%-hoz tartozó szemmagyság	D ₆₀	mm	140	0,191	0,52	0,31	0,06	0,20
Egyenlőtlenégi mutató	C _U	-	139	1,76	8,61	2,52	0,68	0,27
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	34,0	45,0	41,2	1,63	0,04
Hézagtenyező	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 izotópos szonda	w	%	785	19,5	31,2	26,0	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	0,00	0,11	0,01	0,02	-
SPT	N ₃₀	db	18	6	23	13,1	4,72	0,36
SPT(C)	N ₃₀	db	583	5	35	16,0	5,97	0,37
SPT archív	N ₃₀	db	129	5	80	38,0	13,5	0,35
CPT csúcsellenállás	q _c	MPa	10467	5,42	34,0	16,4	4,48	0,27
CPT súrlódási arányszám	R _f	%	10517	0,17	1,35	0,72	0,16	0,22



5.4.2.5-2. ábra: Robertson-féle CPT alapú talajosztályozás az öntéshomoknál

5.4.2.6. Kavicssterasz

A pleisztocén Duna kavicssterasz, egy összefoglaló rétegnév, mely sok helyen homokos kavics vagy kavicsos durva homok, illetve helyenként kavicsszórványos homokot jelent. Ezekben a talajokban a homok frakció a domináns. Színe a kijelölés alapján szürke.

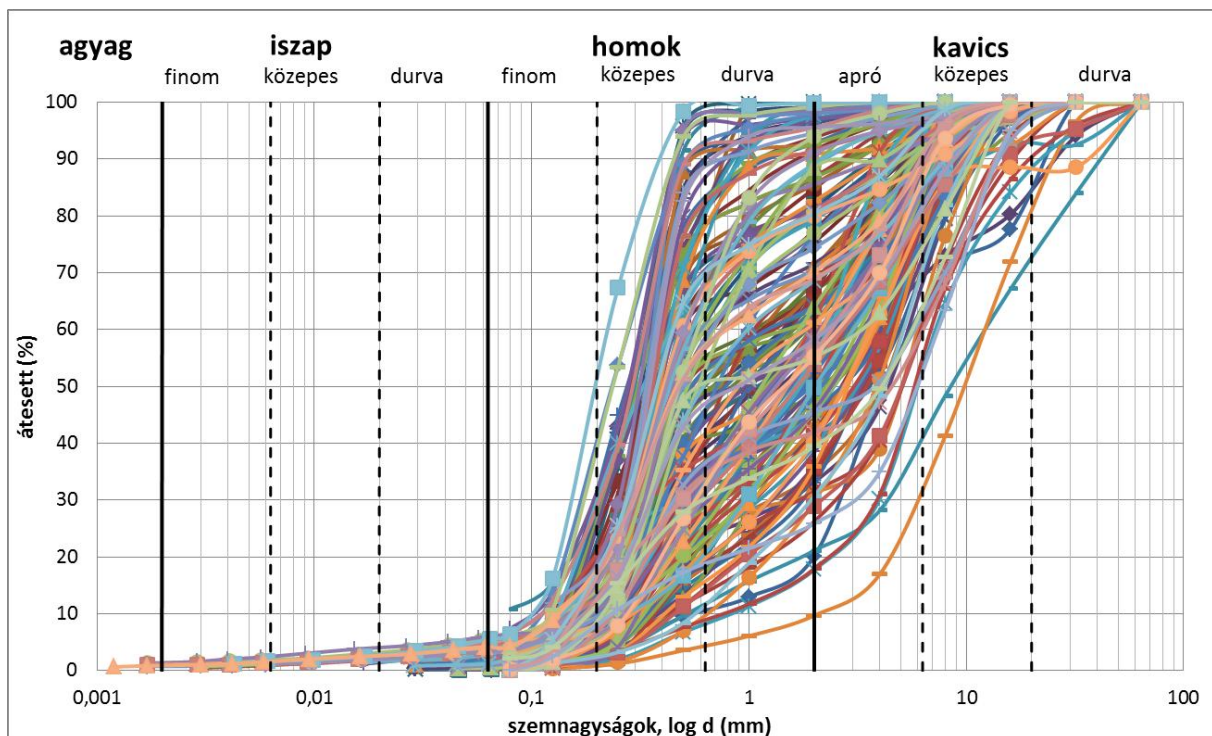
Az öntéshomok alatt a folyóvízi üledékek folytatódnak, először 1-2 méter vastagságban kavicsos homok (5-34% kavicsot tartalmazó durva szemcséjű homok), majd ez alatt 15-18 méter mélységtől 25-28 méter mélységig homokos kavics, több helyen 50% feletti homoktartalommal. A kavics alsó részén görgeteges kifejlődést nem találtak a vizsgálatok, bár a CPT vizsgálat csúcselellása a réteg alján hirtelen megnő.

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 $d_{10} = 0,1 - 0,8$ mm, az átlagos érték 0,16 mm. A réteg szemeloszlási határgörbéit a TBJ II. [5.4.2.6-1. ábra](#) tartalmazza. A kavicssteraszban azonosított talajok szemeloszlását a TBJ II. [5.4.2.6-2. a-c ábrák](#) mutatják.

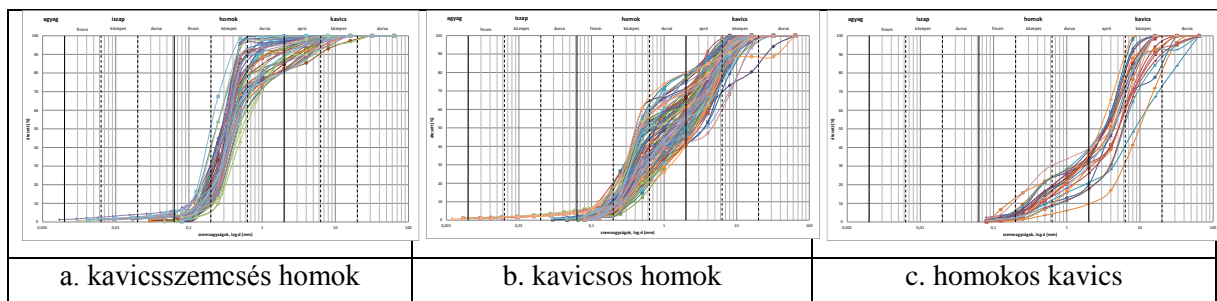
A szemeloszlási görbére jellemző egyenlőtlenségi mutató 2,17 és 4,17 között változott, az átlagos érték $C_u = 2,9$. Tehát a szemeloszlási görbe alapján az állapítható meg, hogy a kavicssterasz taljai alacsony egyenlőtlenségi mutatóval rendelkező, relative szűk szemeloszlási határgörbék között elhelyezkedő iszapmentes talajok. Az átlagos hézagterfogat $n = 38,3 \%$ és az átlagos hézagtenyező $e = 0,62$ alacsony, a nedves térfogatsúly az esetek több, mint felénél magasabb, mint 20 kN/m^2 . A kavicssterasz taljai tömörek. Ezt támasztja alá a CPT vizsgálat eredménye is.

A belső sűrűdési szög $\varphi = 30 - 32^\circ$ -ban, amihez a kohézió $c = 0 \text{ kN/m}^2$ -ben adható meg. Összenyomódási modulus $E_{oed} = 33 \text{ MN/m}^2$ öt vizsgálat átlaga alapján, de a kavicsosabb rétegekben ennél magasabb is lehet. Az áteresztőképességi 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, ezek a durvaszemcsés pleisztocén rétegek rendelkeznek a legjobb teherbírással, amit a CPT vizsgálatok is mutatnak. A kavicsos homok rétegek CPT szondázással meghatározott csúcselellás értékeinek átlaga $q_c = 25,1$ MPa, a kavicsstartalom növekedésével tartósan 40 MPa értéket is meghaladja (TBJ II. [5.4.2.6-1. táblázat](#)).



5.4.2.6-1. ábra: Kavicssterasz szemeloszlása



5.4.2.6-2. a-c ábra: Kavicssterasz szemeloszlása talajok szerinti válogatással

5.4.2.6-1. táblázat: Kavicssterasz talajjellemzői

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemszám	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
Kavics frakció arány	K	%	139	0,02	26,9	1,71	3,24	1,89
Homok frakció arány	H	%	226	12,4	100,0	82,8	20,9	0,25
Iszap frakció arány	I	%	167	0,85	85,6	17,4	16,3	0,94
Agyag frakció arány	A	%	-	-	-	-	-	-
Víztartalom lab. vizsgálat	w	%	224	10,8	19,7	15,6	2,35	0,15
10%-hoz tartozó szemnagyság	D_{10}	mm	202	0,096	0,25	0,16	0,03	0,20
60%-hoz tartozó szemnagyság	D_{60}	mm	226	0,232	0,81	0,45	0,11	0,25
Egyenlőtlenégi mutató	C_U	-	202	2,17	4,17	2,90	0,52	0,18
Nedves térfogatsúly	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
Hézagterfogat	n	%	623	28,0	48,0	38,29	3,81	0,10

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemzés	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
Hézagtenyező	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 izotópos szonda	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	0,00	0,04	0,00	0,00	-
SPT	N ₃₀	db	11	5	32	15,6	7,15	0,46
SPT(C)	N ₃₀	db	48	3	22	12,9	6,30	0,49
SPT archív	N ₃₀	db	172	2	200	38,3	23,1	0,60
CPT csúcsellenállás	q _c	MPa	6320	0,11	25,0	7,67	5,69	0,74
CPT sűrűdési arányszám	R _f	%	6712	0,09	5,0	1,31	0,97	0,74

5.4.2.7. Pannóniai rétegek

A felső-pannon és a kvarter átmeneti zónájában települő vörösgyag a fúrásokban nem volt jelentős, így a talaj azonosítási és fizikai jellemzőivel is csak a meglévő telephellyel kapcsolatos archív adatokra támaszkodhattak, amely szerint anyaga közepes agyag ($I_p = 19 - 26 \%$), kemény talajokra jellemző konzisztencia indexszel ($I_c = 0,8 - 1,4$); hézagtenyező $e = 0,53 - 0,90$; a térfogatsűrűsége $\rho = 1,87 - 2,10 \text{ g/cm}^3$ között változott. A kohézióhoz és a plasztikus indexhez viszonyítva kicsit magas belső sűrűdési szög adódott az archív adatokból, mert korábban az adatokat valószínűleg nem triaxiális vizsgálattal határozták meg: sűrűdési szög $\varphi = 24^\circ$, kohézió $c = 31,9 \text{ kN/m}^2$, összenyomódási modulus $E_{oed} = 11,2 - 28,9 \text{ MN/m}^2$.

A pannon rétegekben egymásra települve több agyag-iszap és homok-iszapos homok réteg váltogatja egymást (Újfalui Formáció TBJ II. [5.1.1. fejezet](#)), ugyanakkor vannak olyan szakaszai a pannonnak, ahol a szemcsés és kötött talajok változása olyan gyors, hogy rétegeket sem lehet az egymástól 200-250 méter távolságban mélyített fúrásokban azonosítani. A pleisztocén kavicsréteg alatt többnyire szemcsés rétegek találhatóak, és ez a pannon meghatározó rétege is a feltárás alsó határáig, hiszen az egyes 130 m-es fúrásokban az iszap-agyag : homok-iszapos homok rétegvastagság arány 1:2 és 1:6 között változott, vagyis 2-6-szorosa volt a homok-iszapos homok az iszap-agyagnak. Ugyanezt bizonyítja az azonosító vizsgálatok aránya is. Ennek ellenére csak kevés helyen lehetett nagyobb vastagságú homogén réteget azonosítani, gyakoriak a betelepülések, a keresztrétegzettség. Erre a geológiai formációra jellemző a keskeny közbetelepült rétegek halmozódása, amit geotechnikai szempontból átlagosítással, statisztikai elemzéssel lehet csak kezelni.

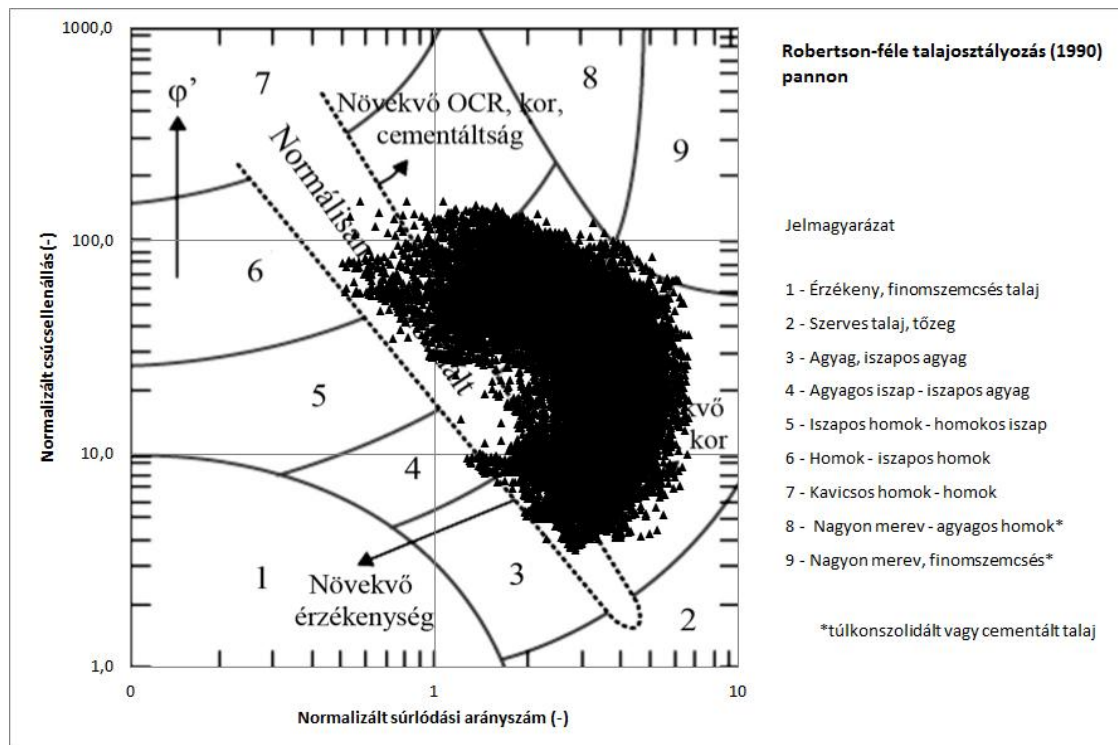
A homokba, iszapos homokba a feltárás, a 130 m-es fúrás alsó határáig 3 olyan iszap-agyag réteg települt, melyek vastagsága eléri a 2 m-t.

A pannon réteg előterhelt, ezt bizonyítják a helyszíni presszióméteres vizsgálatok, a CPT vizsgálatok (TBJ II. [5.4.2.7-1. ábra](#)) és a K_0 mérések eredményei. A mérési eredmények szórása óvatosságra kell, hogy intsen, az előterhelő feszültség nagysága jó közelítéssel 1000-3500 kPa közöttire becsülhető.

A pannon rétegen belül geotechnikai szempontból a következő rétegek kerültek elkülönítésre a feltárás alsó határáig:

- finomhomok, iszapos homok, homokos iszap,
- homok, iszap, agyag összlet,
- homok, iszapos homok,
- agyag,
- homok,
- agyag,

- homok (homokos iszap betelepüléssel),
- agyag (finomhomok, homokos iszap betelepüléssel),
- homok.



5.4.2.7-1. ábra: A pannon réteg felső részét elérő CPT vizsgálatok eredményei. A mérések nagy része a túlkonzolidált kategóriába esik, itt még viszonylag kevés a cementált talaj, mindössze 5 %

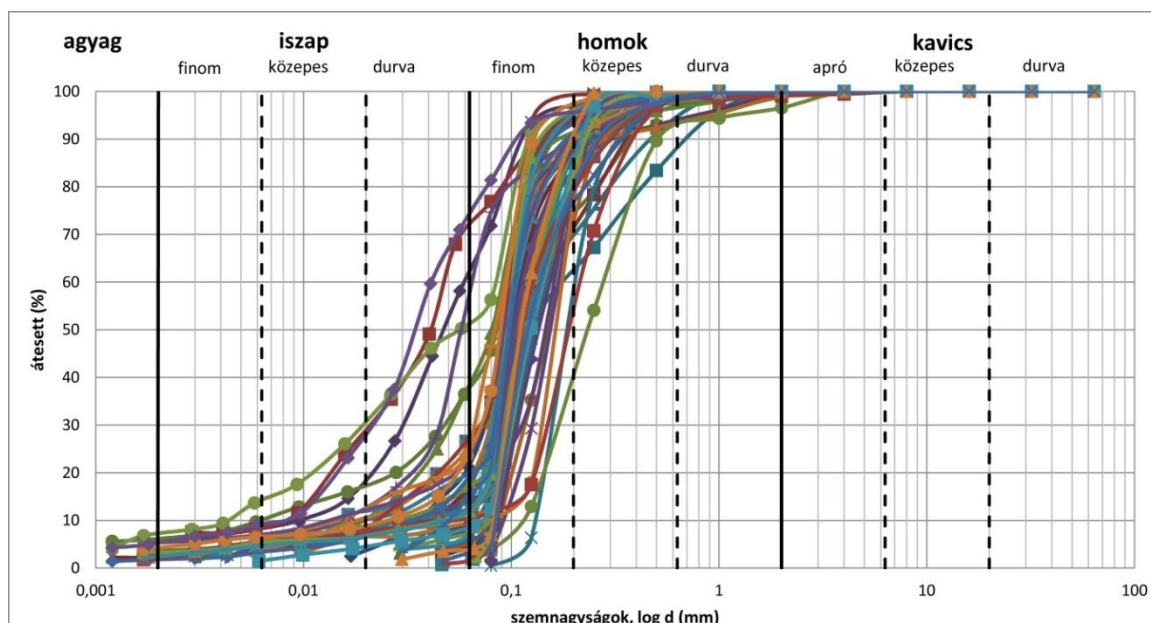
5.4.2.7.1. PANNON FINOMHOMOK, ISZAPOS HOMOK, HOMOKOS ISZAP

A legfelső pannon réteg finomhomok, iszapos homok, homokos iszap réteg a kavicssterasz alatt, átlagosan 13,6 méter vastagsággal (helyenként vékony iszap vagy agyag betelepüléssel, ami összességében mintegy 16 %-ot jelent). A permanensen talajvíz alatti réteg víztartalma $w = 15-34\%$ között változott, az átlag $w = 26,2\%$. A víztartalom változás inkább a hézagtényező változását kell, hogy mutassa, mert minden minta telített volt.

A rétegből mintegy 65 szemeloszlási vizsgálat készült (TBJ II. [5.4.2.7.1-1. ábra](#)), és hat plasztikus index meghatározás utal az agyag betelepülésre. Ez jól mutatja a kötött és szemcsés talajok arányát a rétegen belül. A rétegben kavics csak elvétve fordul elő, de az agyagfrakció sem jellemző. A 10 súlyszázalékhoz tartozó szemcseátmérő széles határok között változik az iszaptartalom függvényében: $d_{10} = 0,004-0,13$ 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 elérte a $C_U = 20$ értéket.

Az összenyomódási modulus $E_{eod} = 33,4$ MN/m² négy minta alapján, a térfogatsűrűség átlagosan $\rho = 2,00$ g/cm³, a belső sűrűlási szög triaxiális nyomóvizsgálatokból $\varphi = 38^\circ$ összesen 10 db minta törése alapján, a hézagtényező $e = 0,65$ és a telítettség átlagosan $S_r = 0,99$ -re adódott. A kohézió értékét $c = 0$ kN/m²-rel javasolható figyelembe venni. A vízáteresztő-képessége együtthatónak a három mért értéke $k = 5,8 \cdot 10^{-10}$ és $2,4 \cdot 10^{-6}$ m/s között változik.

Ezen réteg CPT szondázással meghatározott csúcstelállás értéke 2 - 30 MPa között változott, átlag $q_c = 12,3$ MPa. A rétegen belül is jelentős eltérések vannak (TBJ II. [5.4.2.7.1-1. táblázat](#)).



5.4.2.7.1-1. ábra: Pannon finomhomok, iszapos homok, homokos iszap szemeloszlási görbéi

5.4.2.7.1-1. táblázat: Pannon finomhomok, iszapos homok, homokos iszap réteg talajjellemzőinek statisztikai feldolgozása

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemzés	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
Kavics frakció arány	K	%	14	0,02	3,45	0,67	0,89	1,33
Homok frakció arány	H	%	65	25,89	100,00	85,79	17,34	0,20
Iszap frakció arány	I	%	47	1,67	71,05	18,35	16,72	0,91
Agyag frakció arány	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
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
Hézagterefogat	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
Légnemű fázis	l	%	13	0,0	4,5	0,7	1,60	-**
SPT archív adatok*	N ₃₀	db	253	20	200	113,9	40,6	0,35
SPT(C)	N ₃₀	db	35	22	179	57,1	35,4	0,62
CPT csúcsellenállás	q _c	MPa	5868	1,97	48,96	12,25	8,71	0,71
CPT súrlódási arányszám	R _f	%	5868	0,17	12,22	2,96	1,21	0,41

* Az SPT archív adatok a két felső pannon rétegre azonosan lettek megadva, mert az archív adatoknál nem lehetett megfelelő dokumentáltság híján szétválogatni az értékeket.

** A légnemű fázis értékei kivonás útján kerültek megállapításra (nem statisztikai módszerrel), variációs tényezőjét nem értelmezzük. A későbbi táblázatokban is ezért nem szerepel adat a szórásra.

5.4.2.7.2. PANNON AGYAG, ISZAP, HOMOK VEGYES RÉTEGZŐDÉS

Az első pannon agyag-iszap-homok réteg vastagsága 4,4 – 26,0 m-ben adható meg, az átlag 16,2 m. A réteg az azonosító vizsgálatok száma alapján körülbelül ugyanolyan mennyiségben tartalmaz kötött, átmeneti és szemcsés talajt. A kötött talajok azonosító vizsgálatának statisztikai feldolgozását a TBJ II. [5.4.2.7.2-1. táblázat](#), az átmeneti és szemcsés talajok azonosító vizsgálatának statisztikai feldolgozását a TBJ II. [5.4.2.7.2-2. táblázat](#) tartalmazza. A réteg állapotjellemzőinek szűrt statisztikai jellemzőit a TBJ II. [5.4.2.7.2-3. táblázat](#) mutatja be.

5.4.2.7.2-1. táblázat: Pannon agyag, iszap, homok vegyes rétegződés kötött talajainál az azonosító jellemzők statisztikai feldolgozása

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemszám	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min	max	μ	δ	C_v
Folyási határ	w _L	%	112	50,0	69,3	52,3	6,80	0,13
Sodrasi határ	w _p	%	112	24,4	32,7	25,1	2,85	0,11
Plaszticitási index	I _p	%	112	23,4	43,3	27,3	6,77	0,25
Konzisztencia index	I _c	%	112	1,02	1,53	0,86	0,61	0,71
Víztartalom I _p meghatározáshoz	w	%	112	11,9	36,6	26,7	4,1	0,15

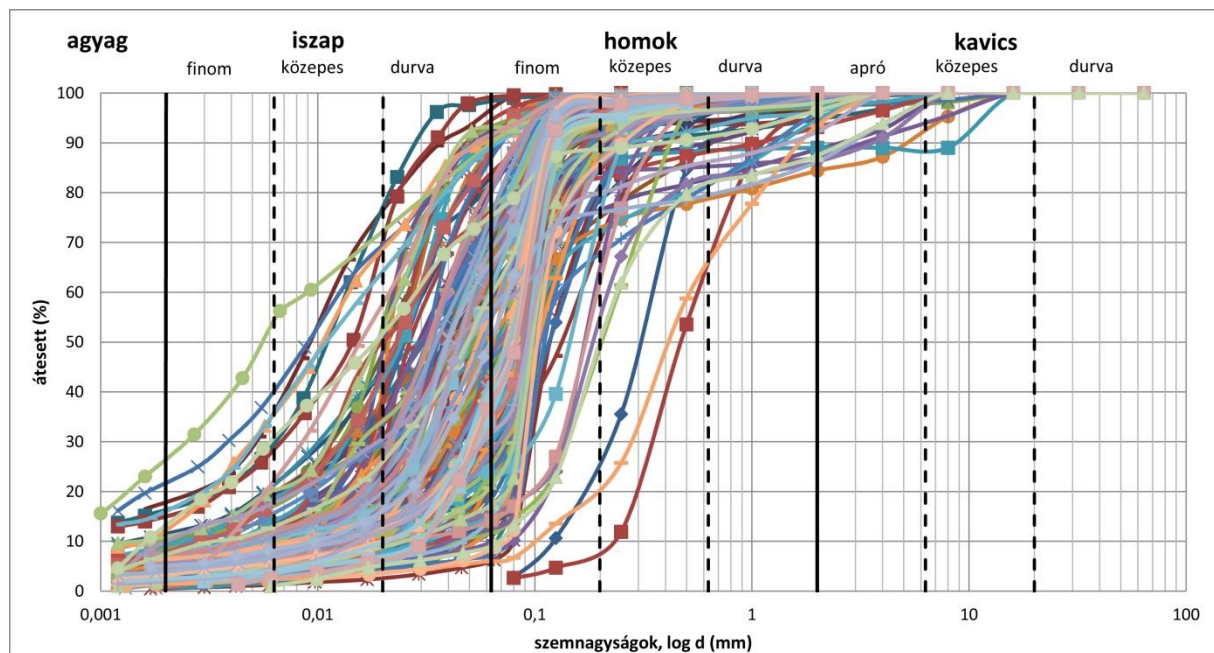
5.4.2.7.2-2. táblázat: Pannon agyag, iszap, homok vegyes rétegződés szemcsés talajainál a szemeloszlások statisztikai feldolgozása

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemszám	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
Kavics frakció arány	K	%	60	0,02	15,6	2,81	4,22	
Homok frakció arány	H	%	177	1,38	98,5	50,2	25,6	0,51
Iszap frakció arány	I	%	175	4,64	93,8	45,7	23,3	0,51
Agyag frakció arány	A	%	110	0,54	25,97	5,88	4,19	0,71
Víztartalom lab. mérésből	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
Egyenlőtlenségi mutató	C _u	-	172	1,64	18,4	6,7	3,6	0,54

5.4.2.7.2-3. táblázat: Pannon agyag, iszap, homok vegyes rétegződés a szondázási talajjellemzők statisztikai feldolgozása

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemszám	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
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 izotópos mérésből	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
Légmű fázis	l	%	84	0,0	4,9	0,3	0,81	-
SPT(C)	N ₃₀	db	46	2	22	6,7	4,37	0,65
SPT archív adatok*	N ₃₀	db	253	20	200	113,9	40,6	0,35
CPT csúcseleállás	q _c	MPa	10508	1,50	59,6	16,1	11,1	0,69
CPT súrlódási arányszám	R _f	%	10508	0,26	18,09	3,12	1,24	0,40

* Az SPT archív adatok a két felső pannon rétegre azonosan lettek megadva, mert az archív adatoknál nem lehetett megfelelő dokumentáltság híján szétválogatni az értékeket.



5.4.2.7.2-1. ábra: Pannon agyag, iszap, homok vegyes rétegződésű réteg szemeloszlási görbéi

A pannon agyag, iszap, homok 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 konzisztencia állapotú (TBJ II. [5.4.2.7.2-1. táblázat](#)).

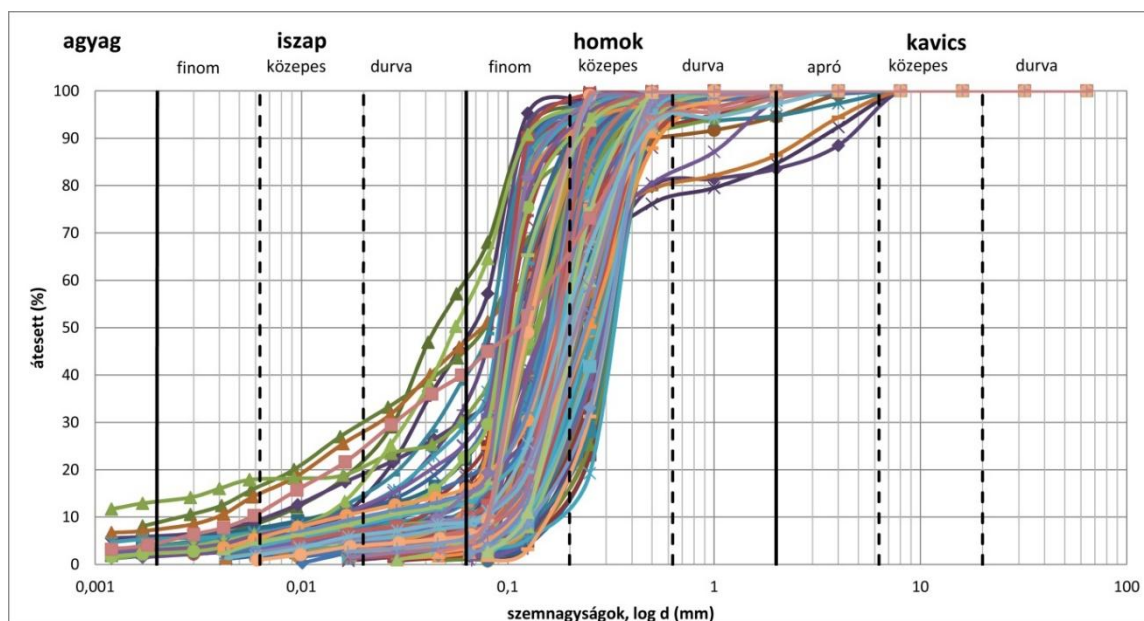
Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapítható, hogy az iszap, agyag, homok réteg telített, tömör és a szemcsés rész helyenként jól graduált (TBJ II. [5.4.2.7.2-1. ábra](#)). A hézag tényező átlagos értéke $e = 0,69$, a nedves térfogatsűrűség átlagos értéke $\rho = 2,01 \text{ g/cm}^3$, a telítettség átlagosan $S_r = 0,99$ -r (TBJ II. [5.4.2.7.2-1. táblázat](#)).

A vízáteresztő-képességi együttható vizsgálatához 12 mérés készült, a mért értéke $k = 3,9 \cdot 10^{-7}$ és $1,9 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ között változnak. Az összenyomódási modulus átlaga $E_{eod} = 32,0 \text{ MN/m}^2$ tizennégy minta alapján, a hozzá tartozó variációs tényező $c_v = 0,44$. A magas variációs tényező a réteg vegyes összetételének tulajdonítható. A belső súrlódási szög 62 darab triaxiális nyomóvizsgálata szerint a réteg vegyes összetétele miatt széles határok között változik, az átlag $\varphi = 23,5^\circ$, minimális érték $\varphi = 3^\circ$. Hasonló változékonyság jellemzi a kohézió értékét, átlagos kohézió $c = 27,5 \text{ kN/m}^2$, minimális $c = 0 \text{ kN/m}^2$, maximális $c = 200 \text{ kN/m}^2$. A négy db egyirányú nyomószilárdság mérés átlaga $q_u = 471 \text{ kPa}$.

A pannon agyag-iszap-homok talajba a szondázás csak részben hatolt be, a CPT szondázással meghatározott csúcscellenállás átlagos értéke 16,1 MPa-ban adható meg. A CPT vizsgálatok szerint a réteg csúcscellenállása 1,5-60 MPa-os tartományban adható meg. Teherbírása a rétegen belül is jelentősen változik.

5.4.2.7.3. PANNON HOMOK (HOMOK, ISZAPOS HOMOK)

A pannon homok réteg 12 db fúrásban jelentkezett, ezekből 148 db szemeloszlási és 7 db Atterberg-határ vizsgálat készült, a réteg mintegy 5 %-át adja csak betelepült agyag. Ez a réteg viszonylag egységes szemcsés talaj. A rétegnak a terepszinttől mért mélysége 48,8-62,8 méter közötti. Átlagos rétegvastagság 14 m.



5.4.2.7.3-1. ábra: A pannon homok réteg szemeloszlási vizsgálata

5.4.2.7.3-1. táblázat: Pannon homok réteg talajjellemzőinek statisztikai feldolgoása

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemzés	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
Kavics frakció arány	K	%	44	0,02	16,5	1,73	3,86	-
Homok frakció arány	H	%	149	39,9	100,0	91,0	12,1	0,13
Iszap frakció arány	I	%	103	1,1	56,17	11,46	10,95	-
Agyag frakció arány	A	%	19	1,66	13,27	4,50	2,83	0,63
Vízart. azonosító vizsg.-nál	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
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 kijelölésnél	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
Légmű fázis	l	%	32	0,0	4,5	0,6	1,25	-

A pannon homok-iszapos homok rétegben az átmeneti és szemcsés talajok azonosító vizsgálatának eredményét a TBJ II. [5.4.2.7.3-1. ábra](#) mutatja be. A réteg állapotjellemzőinek szűrt statisztikai jellemzőit a TBJ II. [5.4.2.7.3-1. táblázat](#) tartalmazza.

Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a homok-iszapos homok réteg telített, tömör és a szemcsés rész többnyire rosszul graduált. A hézagtenyező átlagos értéke alacsony $e = 0,64$, a nedves térfogatsűrűség átlagos értéke magas $\rho = 2,01 \text{ g/cm}^3$, a telítettség átlagosan $S_r = 0,99$ -re adódott. A víztartalom átlaga $w = 23,5 \%$.

A vízáteresztő-képességi együttható vizsgálatához 2 mérés készült, a mért értékek $k = 4,0 \cdot 10^{-6}$ és $4,8 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ voltak. Az összenyomódási modulus átlaga $E_{eod} = 32,0 \text{ MN/m}^2$ nyolc minta alapján. A belső súrlódási szög 20 db triaxiális nyomóvizsgálata szerint az átlag $\varphi = 35^\circ$ -ra

vehető fel, a kohézió $c = 0 \text{ kN/m}^2$. A hat db egyirányú nyomószilárdság mérés átlaga $q_u = 578 \text{ kPa}$.

A pannon homok-iszapos homok talajt a szondázások nem érték el. A réteg teherbíró képessége a talajfizikai jellemzők és állapotjellemzők alapján jónak ítéltető.

5.4.2.7.4. PANNON AGYAG (ISZAPOS HOMOK BETELEPÜLÉSSSEL)

A viszonylag vékonyabb réteg vastagsága 2,1 – 7,6 méter között változik, átlagértéke 4,0 m, mélysége 70-76 méter körüli a terepszint alatt azokon a helyeken, ahol nincs vető.

Az iszapos homok betelepülésű pannon agyag vizsgálatához 34 azonosító vizsgálat készült, amiből 17 db volt a szemeloszlási vizsgálat. Ez alapján azt lehet mondani, hogy az agyag részaránya körülbelül ugyanannyi, mint a finomszemcsés és a szemcsés talajé együtt.

5.4.2.7.4-1. táblázat: Pannon agyag réteg talajjellemzőinek statisztikai feldolgozása

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemzés	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
Folyási határ	w_L	%	17	49,6	66,40	58,33	4,92	0,08
Sodrasi határ	w_p	%	17	21,8	34,00	27,36	3,54	0,13
Plaszticitási index	I_p	%	17	23,6	39,60	30,96	4,83	0,16
Konzisztencia index	I_c	%	17	0,95	1,25	1,08	0,09	0,08
Vízart. azonosító vizsg.-nál	w	%	17	18,3	32,4	25,9	4,08	0,16
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	0,00	0,00
Hézagterfogat	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 kijelölésnél	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	-

A folyamatosan talajvíz alatti réteg átlagos víztartalma $w = 25,9\%$ (TBJ II. [5.4.2.7.4-1. táblázat](#)). A víztartalom változás inkább a hézagtenyező változását kell, hogy mutassa, mert a talaj telített $S_r = 1,00$. A konzisztencia index átlaga $I_c > 1,0$, ez a réteg kemény állapotú.

Az alacsony hézagtenyező (legalacsonyabb $e = 0,50$; átlagos $e = 0,59$ és legmagasabb $e = 0,77$), és a magas átlagos nedves térfogatsűrűség $\rho_n = 20,7 \text{ g/cm}^3$ azt valószínűsíti, hogy tömör, jó teherbírási a pannon agyagréteg is.

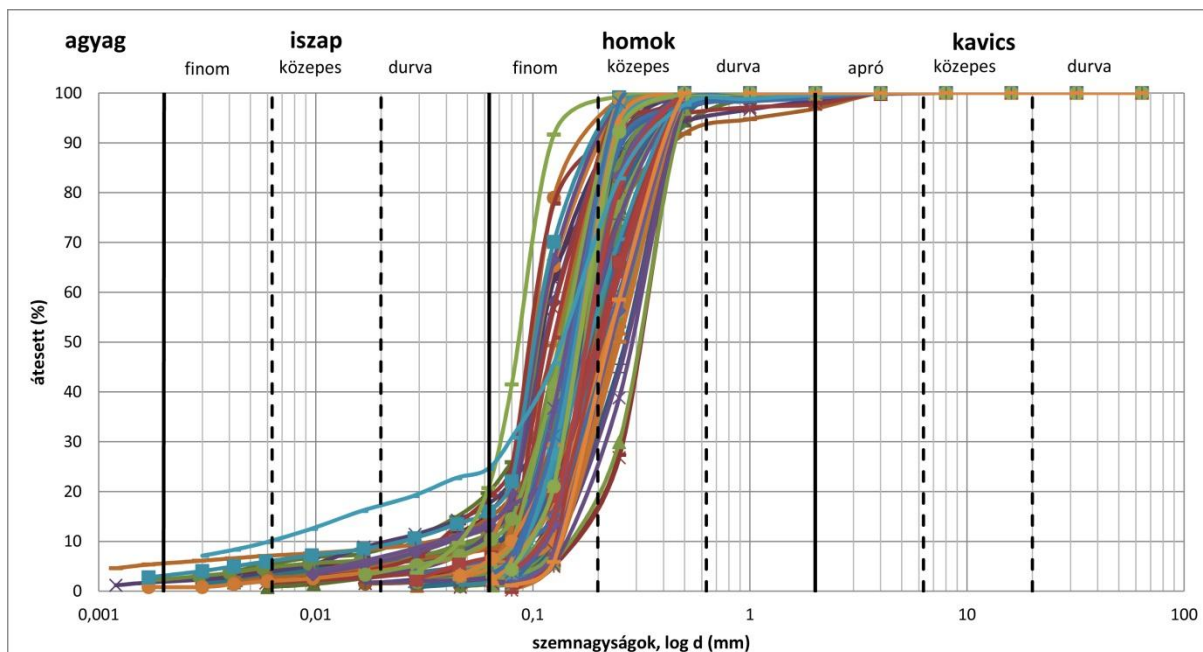
Egy magminta alapján meghatározott összenyomódási modulus átlagos értéke $E_{oed} = 28,6 \text{ MPa}$ értékre adódott. Hét triaxiális nyomóvizsgálat eredménye szerint $\varphi = 32 - 35^\circ$ vehető fel a belső súrlódási szög értékére, $c = 0 \text{ kPa}$ kohézió mellett szemcsés rétegnél és $\varphi = 24^\circ$ -ra kötött talaj esetén $c = 20 \text{ kPa}$ figyelembe vétele mellett.

5.4.2.7.5. MÁSODIK PANNON HOMOK

A második pannon homok (+ iszapos homok) réteg átlagos vastagsága 14,4 méter (ahol a vastagság 12,8-16 méter szélsőértékek között változik). A réteg terepszint alatti mélysége 64-85 méter közötti ott, ahol nem a vetődött részen van. Csak két vékonyabb agyag csík található a rétegben.

A permanensen talajvíz alatti réteg átlagos víztartalma $w = 22 - 24\%$ között változott (TBJ II. [5.4.2.7.5-1. táblázat](#)). A víztartalom változás inkább a hézagtényező változását kell, hogy mutassa, mint a telítettségét, mert az összes minta kvázi telítettnek ($S_r > 0,95$) tekinthető.

A 10 súlysúlyalékhoz tartozó szemcseátmérő (TBJ II. [5.4.2.7.5-1. ábra](#)) 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 $C_U > 10$.



5.4.2.7.5-1. ábra: A második pannon homok rétegben készült szemeloszlási vizsgálatok görbéi

Az alacsony hézagtényező (legalacsonyabb $e = 0,50$; átlagos $e = 0,61$ és legmagasabb $e = 0,77$), és a magas átlagos nedves térfogatsűrűség $\rho_n = 2,02$ g/cm³ azt valószínűsíti, hogy tömör, jó teherbírású a második pannon homok, iszapos homok réteg is.

Egy magminta alapján meghatározott összenyomódási modulus átlagos értéke $E_{oed} = 66,70$ MPa értékre adódott kis szórás mellett. Egy mintán mért vízáteresztő-képességi együttható értéke $k = 1,08 \cdot 10^{-10}$ m/s-ra adódott. Öt db triaxiális nyomóvizsgálat eredménye szerint $\varphi = 33^\circ$ -ra vehető fel a belső súrlódási szög értékére, $c = 0$ kPa kohézió mellett. Egy magminta vizsgálata alapján az egyirányú nyomószilárdság $q_u = 9006$ kPa.

5.4.2.7.5-1. táblázat: Második pannon homokrég talajjellemzőinek statisztikai feldolgoása

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemzés	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
Kavics frakció arány	K	%	17	0,05	3,14	0,66	0,87	-
Homok frakció arány	H	%	89	74,66	100,00	95,11	6,06	0,06
Iszap frakció arány	I	%	53	1,53	24,95	7,74	5,54	0,72
Agyag frakció arány	A	%	5	0,83	5,54	2,73	1,77	0,65
Víztart. azonosító vizsg.-nál	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

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemszám	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
Egyenlőtlenségi mutató	C_U	-	89	1,53	8,18	2,53	1,16	0,46
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
Víztartalom kijelölésnél	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	-

5.4.2.7.6. MÁSODIK PANNON AGYAG

A második, viszonylag vékony pannon agyagréteg minimális szemcsés betelepülést tartalmaz, a réteg átlagos vastagsága 2,8 méter (1,5 - 4,1m szélsőértékek között). Az agyag kemény állapotú ($I_c > 1,0$), a plaszticitási index $I_p = 20 - 44$ % közötti – közepes-kövér agyag. A relatív egységes rétegződéshez közepesen alacsony hézagtenyező és magas térfogatsúly, $\gamma > 20$ kN/m³ tartozik (TBJ II. [5.4.2.7.6-1. táblázat](#)). Az előterheltség miatt a talajfizikai jellemzőik a felszínközeli talajokénál jobbak. A nyírószilárdsági paramétereiknél a belső súrlódási szöveget $\varphi = 21$ °-ban, a kohéziót $c = 180$ kPa-ban egy mérés, az egyirányú nyomószilárdságot $q_u = 1086$ kPa-ban javasolható felvenni három mérés alapján.

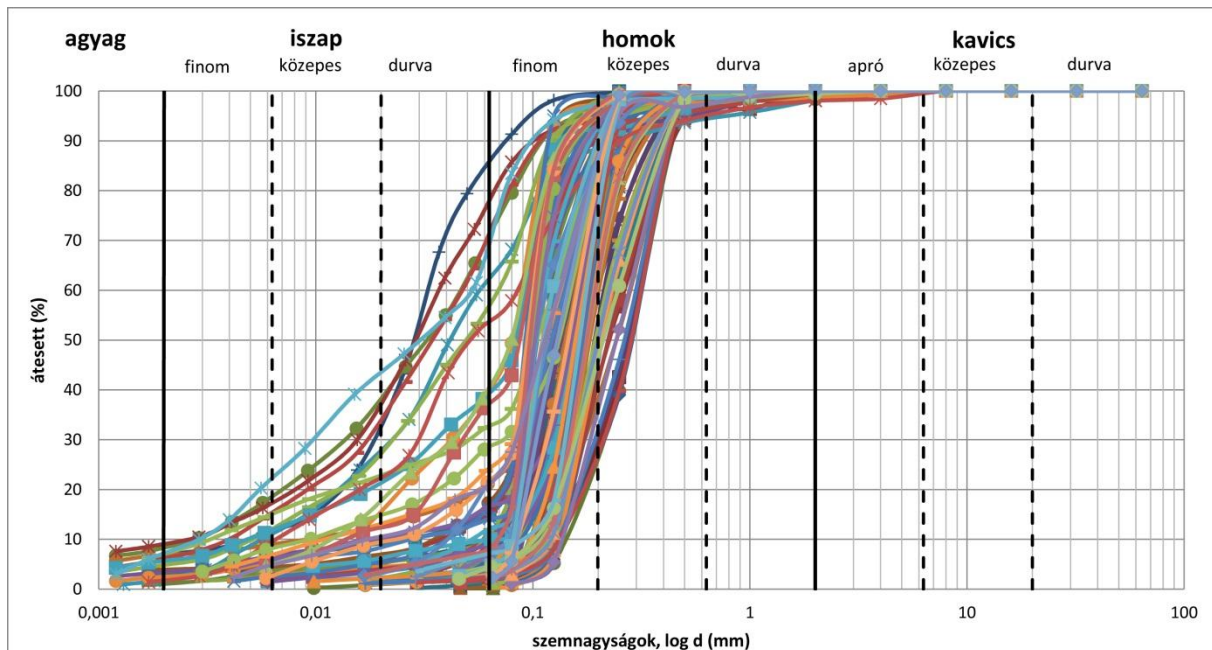
5.4.2.7.6-1. táblázat: Második pannon agyag réteg talajjellemzőinek statisztikai feldolgoása

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemszám	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
Folyási határ	w_L	%	16	49	74,90	61,31	7,50	0,12
Sodrasi határ	w_p	%	16	22,8	35,20	27,09	3,29	0,12
Plaszticitási index	I_p	%	16	20,1	44,20	34,21	6,83	0,20
Konzisztencia index	I_c	%	16	0,968	1,33	1,16	0,11	0,09
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	0,00	0,00
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 kijelölésnél	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	-

5.4.2.7.7. HARMADIK PANNON HOMOK

A harmadik pannon homok réteg (TBJ II. [5.4.2.7.7-1. ábra](#)), mintegy 15 % kötött (iszap, agyag betelepülést tartalmaz) talaj betelepülést tartalmaz, a réteg vastagsága 30 méter körüli azokban a fúrásokban, ahol a feltárás elérte a réteg alsó határát. A vegyes rétegződés mellett az átlagosnál alacsonyabb hézagtenyező és magasabb térfogatsúly (TBJ II. [5.4.2.7.7-1. táblázat](#)) alakult ki. Az előterheltség miatt a talajfizikai jellemzői viszonylag keskeny határok között helyezkednek el. Az összenyomódási modulus $E_{oed} = 55,6$ MPa-ban értékelhető 3 mérés, az egyirányú nyomószilárdság $q_u = 883$ kPa-ban vehető fel 4 mérés alapján. Az áteresztőképességi együtthatóra $k = 3,51 \cdot 10^{-7} - 2,11 \cdot 10^{-6}$ m/s adható 2 mérés alapján. A nyírószilárdsági

paramétereknél a belső súrlódási szög átlaga 20 mérés alapján $\varphi = 34^\circ$ -ban, a kohézió $c = 0$ kPa-ban vehető fel szemcsés talajoknál, és $\varphi = 25^\circ$ -ban, a kohézió $c = 15$ - 20 kPa-ban kötött talajoknál.



5.4.2.7.7-1. ábra: A harmadik pannon homok rétegben készült szemeloszlási vizsgálatok görbéi

5.4.2.7.7-1. táblázat: Harmadik pannon homok réteg talajjellemzőinek statisztikai feldolgozása

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemzészám	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
Kavics frakció arány	K	%	24	0,02	1,98	0,59	0,56	(0,95)
Homok frakció arány	H	%	140	15,37	100,00	90,35	16,98	0,19
Iszap frakció arány	I	%	105	0,15	77,87	11,95	16,84	(1,41)
Agyag frakció arány	A	%	17	1,01	9,04	4,83	2,44	0,50
Vízart. azonosító vizsg.-nál	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
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
Hézagtenyező	e	(-)	29	0,40	0,80	0,64	0,09	0,14
Víztartalom kijelölésnél	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
Légfázis	l	(%)	29	0,0	1,9	0,2	0,44	-

5.4.2.7.8. HARMADIK PANNON AGYAG (FINOMHOMOK, HOMOKOS ISZAP BETELEPÜLÉSEL)

A harmadik pannon agyag réteg 30 - 35 % finomhomoktól iszapig terjedő betelepülést tartalmaz, a réteg vastagsága 7,4 és 8,5 méter között változott, átlagosan 7,9 m. A vegyes rétegződés mellett egységes az alacsony hézagtenyező és a magas térfogatsúly

(TBJ II. [5.4.2.7.8-1-3. táblázatok](#)). Az előterheltség miatt a talajfizikai jellemzői viszonylag keskeny határok között helyezkednek el. Az áteresztőképességi együttható megadható, $k = 4,25 \cdot 10^{-6}$ m/s kevés számú mérés alapján.

5.4.2.7.8-1. táblázat: A harmadik pannon agyagrétegben lévő agyagok talajjellemzőinek statisztikai feldolgozása

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemszám	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
Vízart. azonosító vizsg.-nál	w	%	21	12,9	28,1	22,1	4,22	0,19
Folyási határ	w _L	%	21	52,1	80,2	62,4	7,17	0,11
Sodrasi határ	w _p	%	21	22,5	37,8	27,3	3,65	0,13
Plaszticitási index	I _p	%	21	24,8	48,8	35,1	5,84	0,17
Konzisztencia index	I _c	%	21	0,946	1,58	1,16	0,15	0,13

5.4.2.7.8-2. táblázat: A harmadik pannon agyagrétegben lévő finomhomok, homokos iszap betelepülések szemeloszlási jellemzőinek statisztikai feldolgozása

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemszám	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
Kavics frakció arány	K	%	12	0,04	6,91	1,33	1,94	(1,46)
Homok frakció arány	H	%	24	17,2	100,0	64,1	23,8	0,37
Izlap frakció arány	I	%	23	3,86	69,5	32,5	20,2	0,62
Agyag frakció arány	A	%	18	1,63	10,7	5,39	2,84	0,53
Víztartalom szemeloszlásnál	w	%	24	16,6	29,5	23,6	4,17	0,18
10%-hoz tartozó szemnagyság	D ₁₀	mm	23	0,001	0,09	0,03	0,03	1,10
60%-hoz tartozó szemnagyság	D ₆₀	mm	24	0,03	0,18	0,09	0,03	0,34
Egyenlőtlenségi mutató	C _u	-	23	1,43	21,0	8,05	6,37	0,79

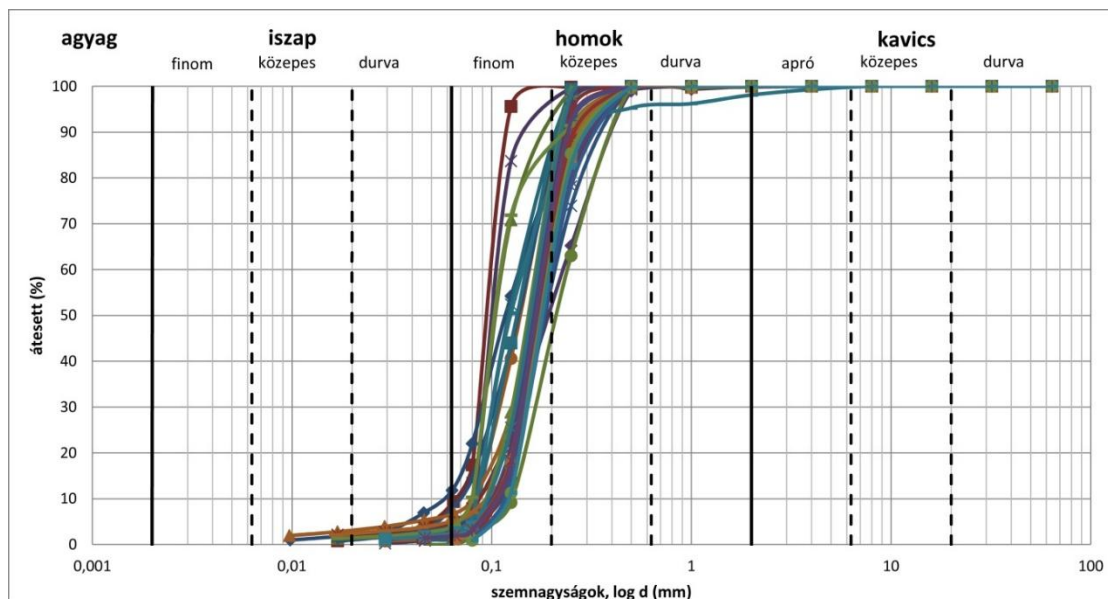
5.4.2.7.8-3. táblázat: A harmadik pannon agyagréteg állapotjellemzőinek statisztikai feldolgozása

Talajjellemző neve	Jele	Mértékegység	Elemszám	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	min	max	μ	δ	C_v
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
Hézagtenyező	e	-	8	0,38	0,61	0,49	0,09	0,18
Víztartalom magmintánál	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	-

5.4.2.7.9. PANNON FINOMHOMOK, HOMOK

A feltárt talajok közül a legegységesebb a finomhomok, homok réteg (TBJ II. [5.4.2.7.9-1. ábra](#)). A feltárás alsó határáig a rétegvastagság 4,0 és 11,2 méter között változott. Közel egyszemcsés, alacsony egyenlőtlenségi mutatójú talaj. A hézagtenyező az átlagosan megszokottól alacsonyabb, a réteg tömör. A pannon finomhomok, homok réteg talajjellemzőinek statisztikai feldolgozását a TBJ II. [5.4.2.7.9-1. táblázat](#) mutatja. Az előterheltség és a szűk szemeloszlási

görbesereg miatt a talajfizikai jellemzői viszonylag keskeny határok között helyezkednek el. A nyírószilárdsági paramétereknél a belső súrlódási szög $\varphi = 31^\circ$ -ban, a kohézió $c = 0$ KPa-ban, az összenyomódási modulusz $E_{oed} = 100,0$ MPa-ban, az egyirányú nyomószilárdság $q_u = 69$ KPa-ban adható meg kevés számú mérés alapján.



5.4.2.7.9-1. ábra: A pannon finomhomok, homok rétegben készült szemeloszlási vizsgálatok görbéi

5.4.2.7.9-1. táblázat: Pannon finomhomok, homok talajjellemzőinek statisztikai feldolgoása

Talajjellemző neve	Jele	Mértéke.	Elemzés	Min.	Max.	Átlag	Szórás	Variációs tényező
			n	%	%	μ	δ	C_v
Kavics frakció arány	K	%	2	0,16	1,88	1,02	1,22	1,19
Homok frakció arány	H	%	34	88,3	100,0	97,2	2,87	0,03
Iszap frakció arány	I	%	24	0,19	11,72	3,83	2,67	0,70
Agyag frakció arány	A	%	-	-	-	-	-	-
10%-hoz tartozó szem nagyság	D ₁₀	mm	34	0,057	0,13	0,09	0,02	0,16
60%-hoz tartozó szem nagyság	D ₆₀	mm	34	0,105	0,24	0,18	0,03	0,19
Víz tartalom	w	%	34	19,9	29,2	25,7	2,28	0,09
Egyenlőtlen mutató	C _u	-	34	1,35	2,69	1,97	0,29	0,15
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
Hézagterefogat	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
Víz tartalom	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
Lég nemű fázis	l	%	4	0,0	4,1	1,9	2,16	-

5.4.2.8. Helyi betelepülések

Mindamellet, hogy a rétegek átfedése jelentős a vizsgált területen, a már említett feltöltésen kívül a szerves szennyezettségű rétegekről, duzzadásra-zsugorodásra képes rétegekről és cementálódott rétegekről is kell összefoglalóan említést tenni. Fontos megemlíteni a folyósodásra hajlamos rétegeket, valamint az azonosított vetőket.

5.4.2.8.1. SZERVES RÉTEGEK

A feltárt rétegekből a minták leírása alapján 29 esetben merült fel a szerves anyag előfordulásának esélye. A 29 megvizsgált mintából csak 8 bizonyult szervesnek (LOI > 5%), azonban ezek is csak gyengén szervesek voltak (TBJ II. [5.4.2.8.1-1. táblázat](#)), mert az izzítási veszteség LOI < 7%. Szerves talajok a feltöltésben és közvetlenül a feltöltés alatt lévő, eredetileg termett talaj felszínén voltak azonosíthatóak, ugyanakkor a rétegek vastagsága sem volt jelentős, tehát megállapítható, hogy a néhány szerves réteg jelenléte nem jelent veszélyforrást.

Az elvégzett vizsgálatok tözeget, közepesen vagy erősen szerves réteget nem azonosítottak a vizsgált területen. A vizsgált terület alatt erősen összenyomható magas szerves tartalmú iszap és agyag rétegeket nem mutattak a vizsgálatok. Ugyanakkor a 130 méter mély fúrásokban jelentkező vékony fekete lignites réteg jó marker rétegnek bizonyult a vetők azonosításához.

5.4.2.8.1-1. táblázat: Elvégzett izzítási veszteségek eloszlása a vizsgált telephelyen

Fúrás	Mélység (m)	Rétegnév	LOI (%)	vtg. (m)
II-3-A	5,70	sötétszürke, barna foltos közepes agyag	5,5	1,5
II-6-D	82,50-82,65	fekete, nagyon tömör toronyi formáció	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	0,45
V-7-A	3,65	sötétszürke agyag és iszapos homok feltöltés	5,2	0,4

5.4.2.8.2. HOMOKKŐ

A horizontálisan vékony rétegekben elhelyezkedő homokkő és cementált homok eltérőségüknél fogva jelentenek különlegességet a vizsgált területen, mély településükkel, átlagnál jobb talajfizikai tulajdonságukkal nem jelentenek műszaki veszélyt a tervezett létesítményre. Alapvetően két réteg különíthető el, egy erősebben és egy kevésbé cementált talajé.

A feltárásokban 14 helyen azonosítottak a vizsgálatok homokkővet. A legmagasabban 28,5 m-en az III-4-C fúrásban, legmélyebben 120 m-en az I-6-D fúrásban. Vastagságuk 3 cm és 40 cm között változott (TBJ II. [5.4.2.8.2-1. táblázat](#)).

Cementált réteget 220 helyen említene a fúrás leírások, összesen mintegy 260 fm hosszban, átlagos hosszuk így mintegy 1,16 m-re tehető. Vastagságuk 2 cm és 11,4 méter között változik. Legmagasabban 24,6 méter mélyen az I-2-C fúrásban, legmélyebben a V-6-D fúrásban 124 méter mélységben került azonosításra. Tíz méteres osztásközökben vizsgálva a legtöbb cementált réteget a 40 és 50 méter közötti mélységben azonosítottak a vizsgálatok, 61 helyen 47,7 fm hosszban.

5.4.2.8.2-1. táblázat: Homokkő megjelenési helyei a vizsgált területen

Fúrás	Mélység (m)	Leírás	Vtg.	
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	0,4
I-6-D	120	120,2	homokkő	0,2
III-4-C	28,5	28,75	szürkésárga, homokkő betelepüléssel	0,25
IV-6-D	63,2	63,3	homokkőpad	0,1

Fúrás	Mélység (m)		Leírás	Vtg.
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

A vékony homokkő rétegekből talajfizikai és állapotjellemzőt meghatározó vizsgálatok nem készültek. Az archív adatok szerint a homokkő a következő jellemzőkkel bír:

- Hézagtenyező $e = 0,34-0,73$
- 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 a következők:

- Egyenlőtlenégi 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 $R_c = 125-227 \text{ kN/m}^2$

5.4.2.8.3. TÉRFOGATVÁLTOZÓ TALAJOK

Térfogatváltozásra (duzzadásra és zsugorodásra) hajlamos magas plaszticitású agyagok ($I_p > 30\%$) a feltárásokban a felső 30 m-ben összesen 7 helyen találhatóak, vastagságuk 0,2 és 1,7 méter közötti. A 7 helyből 5-nél az új blokkok alapozása szempontjából amúgy is kerülendő feltöltésben találhatóak, a maradék kettő a feltöltés és a termett talaj határán van. A térfogatváltozó talajok nem jelentenek veszélyforrást a tervezett létesítményre, mert ezek a talajok a talajvízszint felett helyezkednek el.

További magas plaszticitású talajok 30 m-nél mélyebben találhatóak, olyan mélységben, ahol a geostatikus önsúly már olyan nagy, hogy ezen talajok duzzadásra, duzzadási nyomásra nem veszélyesek. Ugyanakkor ezek a talajok zsugorodásra azért nem veszélyesek, mert folyamatosan a talajvíz szintje alatt vannak, vagyis nem tudnak kiszáradni.

5.4.2.8.4. MEGFOLYÓSODÁSRA HAJLAMOS TALAJOK

A klasszikus megfogalmazás alapján a talajok megfolyósodásának kritériumai:

- megfelelő szemeloszlás;
- telítettség;
- a Terzaghi-féle kritikus hézagtenyezőnél nagyobb hézagtenyező;
- a megfolyósodás szempontjából kritikus mélységnél nem mélyebben elhelyezkedő réteg;
- megfelelően nagy földrengés.

Ha a fenti kritériumok közül bármelyik nem teljesül egy vizsgált rétegre, megfolyósodás nem jön létre.

Az első négy paraméter értékelése az egyes rétegek esetében a TBJ II. [5.4.2.8.4-1. táblázatban](#) található rétegenként és rétegben lévő talajonként. A táblázat szerint több olyan réteg is van, mely megfelelően nagy földrengés esetén megfolyósodhat, a szemeloszlási, telítettségi, mélységi és hézagtenyezői kritériumok alapján.

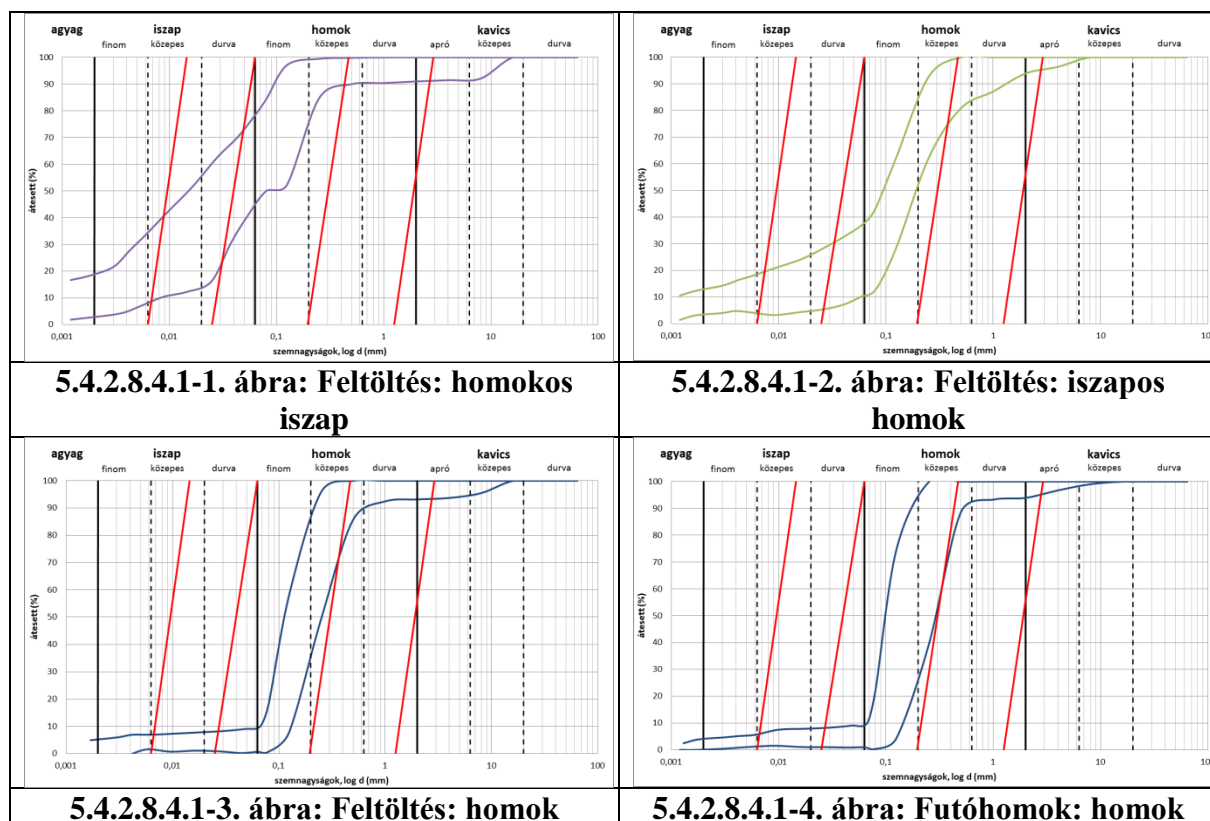
5.4.2.8.4-1. táblázat: Talajrétegek megfolyósodási hajlama (+ hajlamos, - nem hajlamos, v valószínűsíthető)

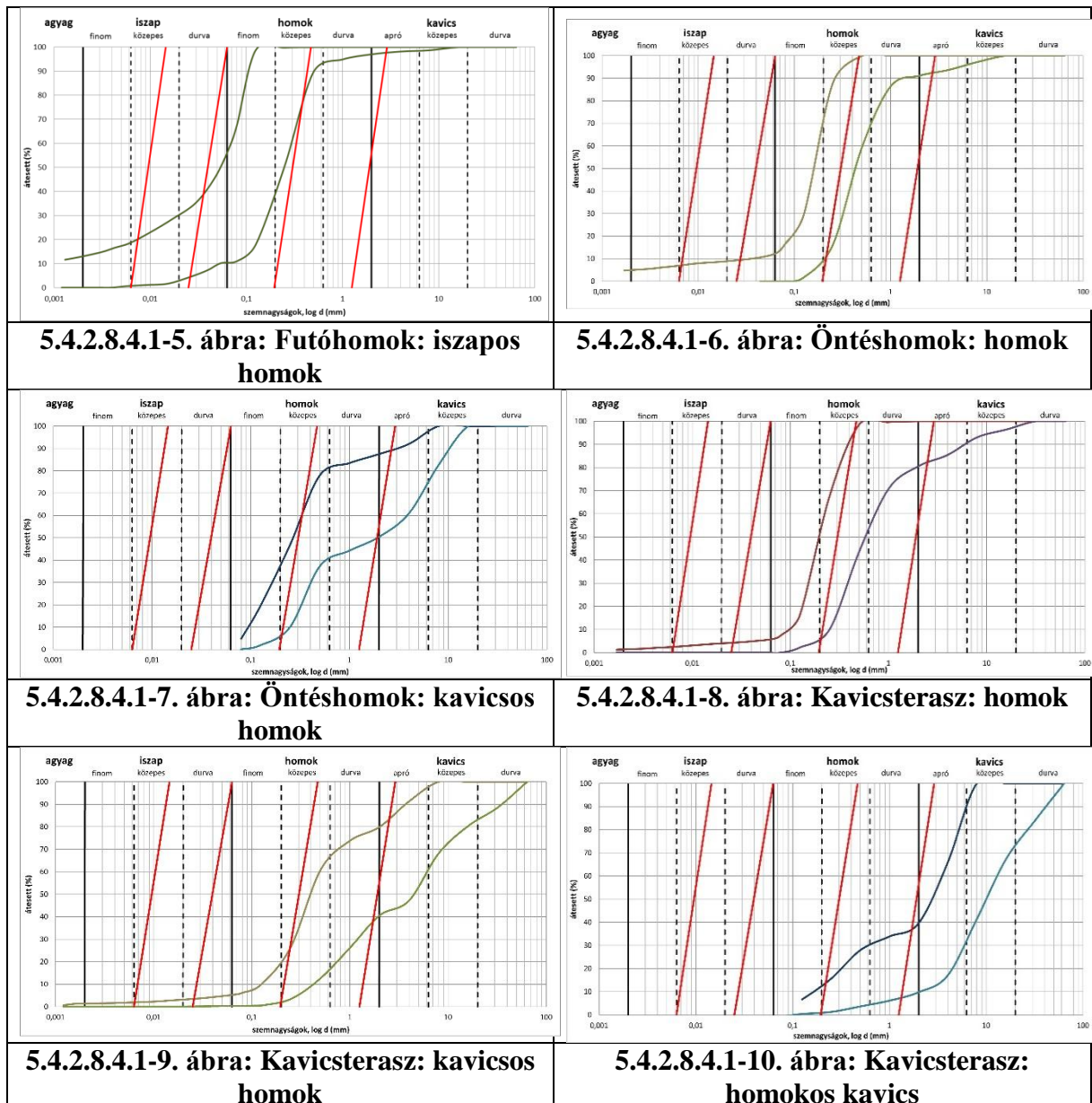
Réteg	Talajok a rétegben	Szemeloszlás	Telítettség	Hézag tényező	Mélység	Értékelés	Ábra
Feltöltés	Homokos iszap	-	-	+	+	-	5.4.2.8.4.1-1.
	Iszapos homok	v+	-	+	+	-	5.4.2.8.4.1-2.
	Homok	+	-	+	+	-	5.4.2.8.4.1-3.
Holocén agyag		-	-	-	+	-	
Futóhomok	Homok	+	v+	+	+	+	5.4.2.8.4.1-4.
	Iszapos homok	v+	v+	+	+	+	5.4.2.8.4.1-5.
Öntéshomok	Homok	+	+	+	+	+	5.4.2.8.4.1-6.
	Kavicsos homok	v-	+	v-	+	-	5.4.2.8.4.1-7.
Kavicsterasz	Kavicsszemcsés homok	+	+	v+	+	+	5.4.2.8.4.1-8.
	Kavicsos homok	-	+	v-	+	-	5.4.2.8.4.1-9.
	Homokos kavics	-	+	v-	-	-	5.4.2.8.4.1-10.

A megfolyósodási hajlamnak az SPT és CPT vizsgálatok alapján történt értékelése a TBJ II. [5.3.3. fejezetben](#) található. A pannon rétegekben megfolyósodás az előterheltség miatt nem várható.

5.4.2.8.4.1. Szemeloszlási görbe kritérium

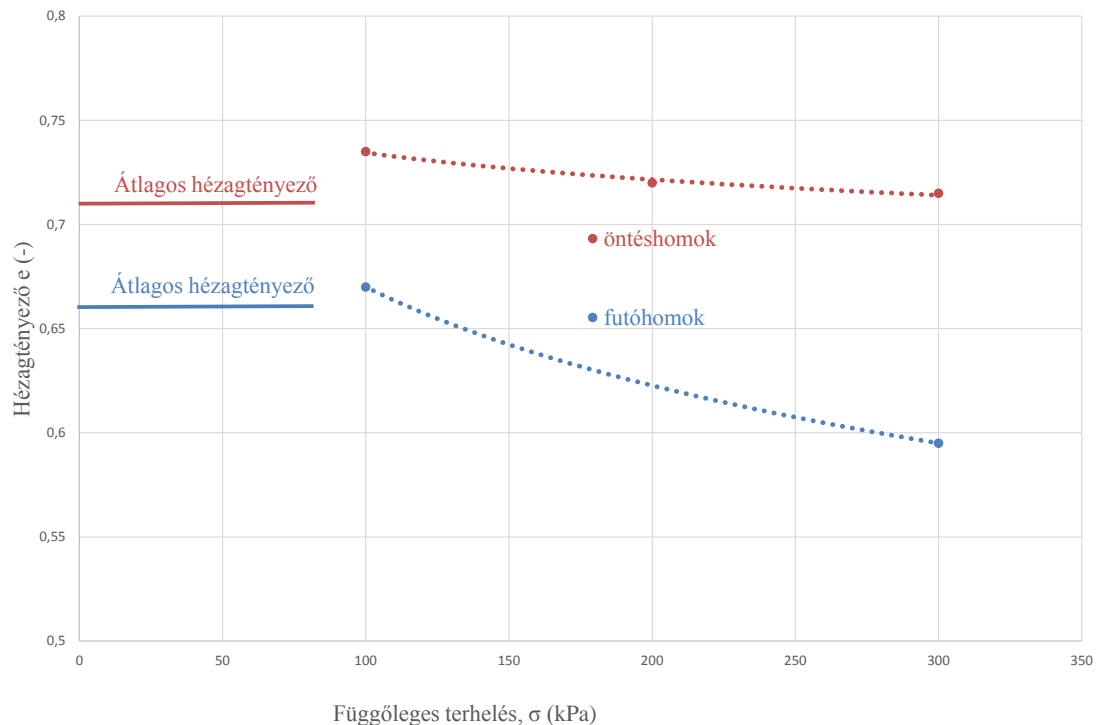
A szemeloszlási görbe kritériumokat a TBJ II. [5.4.2.8.4.1-1.- 5.4.2.8.4.1-10. ábrák](#) mutatják (Tsuchida H. (1970) *Prediction and Countermeasure Against the Liquefaction in Sand Deposits*, Abstract of the Seminar in the Port and Harbor Research Institute határgörbéinek Smoltczyk U. ed. (2002): *Geotechnical Engineering Handbook*, Ernst & Sohn, p. 808. féle sematizált ábrázolásában). Meredek lefutású szemeloszlási görbék a TBJ II. [5.4.2.8.4.1-2.](#), [5.4.2.8.4.1-3.](#), [5.4.2.8.4.1-4.](#), [5.4.2.8.4.1-5.](#) [5.4.2.8.4.1-6.](#) és [5.4.2.8.4.1-8. ábrák](#) határgörbéi között voltak azonosíthatók, melyekből az 5.4.2.8.4.1-4. ábra iszapmentes futóhomok és a TBJ II. [5.4.2.8.4.1-5. ábra](#) ugyancsak iszapmentes öntéshomokja lehet a legveszélyesebb.





5.4.2.8.4.2. Hézagtényező kritérium

Telített talajoknál a laza finomszemcsés talajok képesek dinamikus hatásra elveszteni eredeti vázszerkezetüket. A hézagtényező nagysága lehet az egyik indikátora a laza és tömör talajok elválasztásának. A két tömörség között a kritikus hézagtényező (e_{kr}) mutatja meg az átmeneti értékeket, melyek feszültségfüggők. A kritikus hézagtényező vonala és a helyszínen mért hézagtényező értéke adja meg azt, hogy az adott réteg laza állapotban van-e a megfolyósodás szempontjából. A laboratóriumi mérési eredményeket a kritikus hézagtényező értékére két talaj esetén a TBJ II. [5.4.2.8.4.2-1. ábra](#) mutatja.



5.4.2.8.4.2-1. ábra: A kritikus hézagtényező vonala a futóhomoknál és az öntéshomoknál

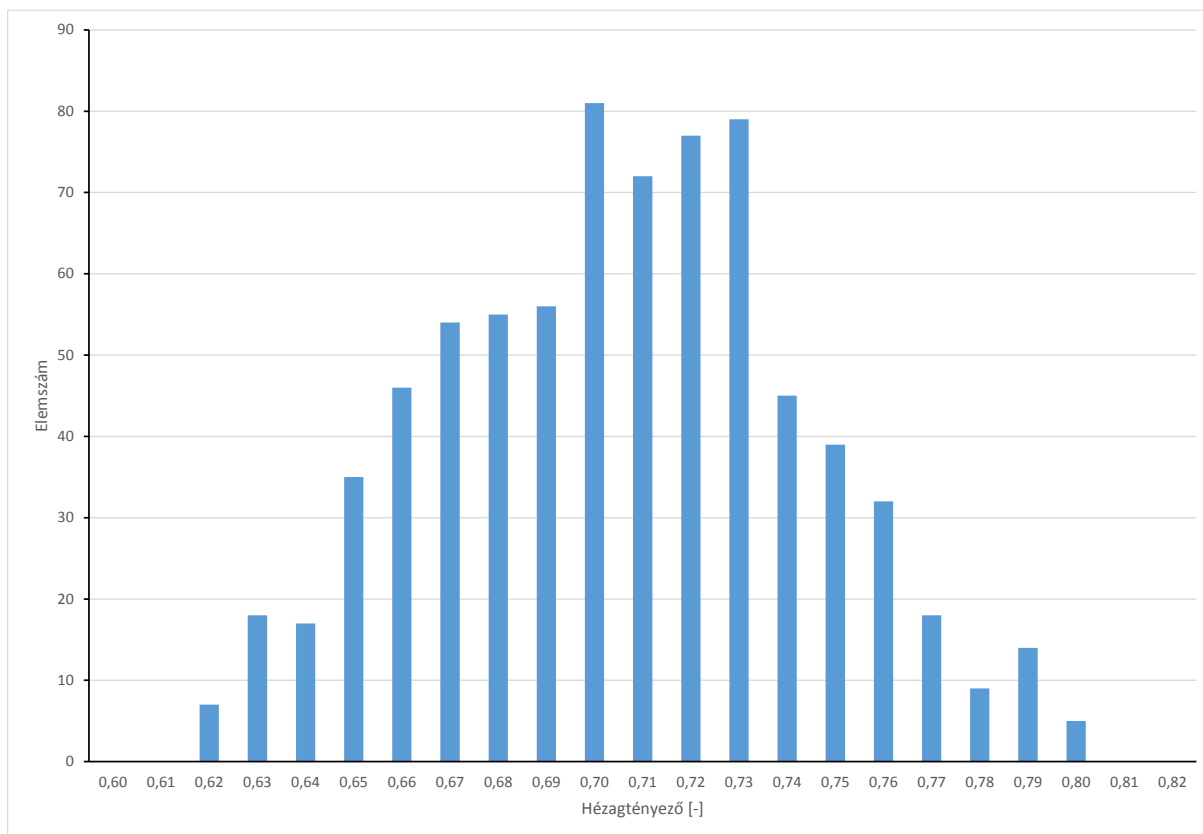
A hézagtényező helyszíni értékeit az izotópos szondázásból nyerték. Ezen szondázási eredmények a hézagtényezőre átszámolva a TBJ II. [5.4.2.8.4.2-2. ábrán](#) láthatók öntéshomok esetén. Az egyes vizsgált talajoknál a hézagtényező viszonylag széles határok között változik, amiből arra lehet következtetni, hogy a kritikus hézagtényező feszültségfüggő értéke közbelső érték.

A hézagtényező változását a TBJ II. [5.4.2.8.4.2-1. táblázat](#) mutatja a különböző talajoknál. A magasabb hézagtényező a laza, közel egyszemcsés talajoknál alakulhatott ki, míg a jól graduált talajoknál alacsonyabb hézagtényező található. A kavicsterasznál a minimális és maximális hézagtényező nagy eltérése a változatos összetétel következménye, az öntéshomok magas átlagos hézagtényezője a finomszemcsék hiánya miatt van.

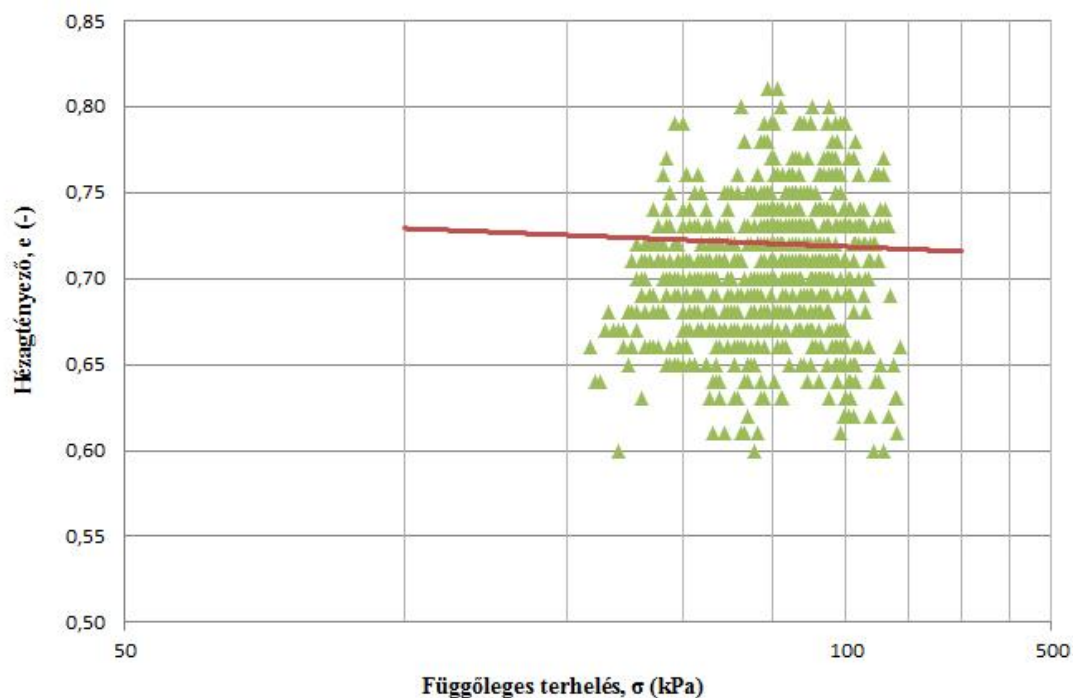
A TBJ II. [5.4.2.8.4.2-3. ábrán](#) a kritikus hézagtényező és a helyszínen meghatározott hézagtényező kapcsolata mutatható be. Az izotópos méréssel meghatározott hézagtényező értékek mintegy fele magasabb, mint a kritikus hézagtényező, vagyis megfolyósodásra hajlamosak.

5.4.2.8.4.2-1. táblázat: A hézagtényező változása a különböző talajoknál

Talaj	Minimális	Maximális	Max-Min	Átlag
Feltöltés	0,5	0,74	0,24	0,63
Futóhomok	0,54	0,80	0,26	0,66
Öntéshomok	0,62	0,80	0,18	0,71
Kavicsteras	0,41	0,86	0,45	0,62



5.4.2.8.4.2-2. ábra: Öntéshomok hézagteljesítőjének eloszlása az izotópos mérések alapján



5.4.2.8.4.2-3. ábra: Az öntéshomok kritikus hézagteljesítő vonala és az izotópos méréssel meghatározott hézagteljesítők

5.4.2.8.5. VETŐK

A vetőket a 130 méter hosszú fúrásokban lévő lignites réteg korrelációjával határozták meg. A rétegdölések figyelembe vételével a vetők menti függőleges elmozdulás 16, illetve 19 méterre tehető. Ezen méretű elmozdulások nem lépnek ki a pannon rétegből (TBJ II. [5.4.3-4. ábra](#)).

5.4.3. Geotechnikai összegzés

A vizsgált területen közel a felszínnel párhuzamos talajrétegződés van. A feltárt talajokkal kapcsolatban alapvetően megállapítható, hogy:

- a vizsgált terület alatt kisebb mennyiségű szerves réteg található és a szervesnek bizonyult rétegek szervesanyag-tartalma is alacsony;
- a vizsgált területen görgeteges réteget nem tártak fel a kavicssterasz alsó részében.

A pannon felső szintjének eléréséig a talajrétegek szemcséi egyre durvábbak lesznek a közbetelepült holocén agyag réteget leszámítva (TBJ II. [5.4.3-1. ábra](#)).

A vizsgálatok alapján egyértelműen kijelenthető, hogy nincsen olyan geotechnikai körülmény, mely a vizsgált területen az új erőműblokkok építését kizárná. A hely legkedvezőtlenebb talajmechanikai adottsága - a felszíni vastag feltöltés - az iparági gyakorlatban bevált geotechnikai módszerekkel teljes mértékben kiküszöbölhető.

Alapozás szempontjából több kedvező réteg van, melyek közül a legmegfelelőbb a telephelyen mindenhol megtalálható kavicssterasz (durva homok, kavicsos homok, homokos kavics). A tervezett műtárgy alapozásához a munkagödör megtámasztás tervezésének geotechnikai akadálya nincs.

A közvetlen feltárásoknak a CPTu szondázásokkal kiegészített eredményei fúrásszelvényeken szerepelnek, melyek közül egy 130 méter mélyet a TBJ II. [5.4.3-2. ábra](#) szemléltet.

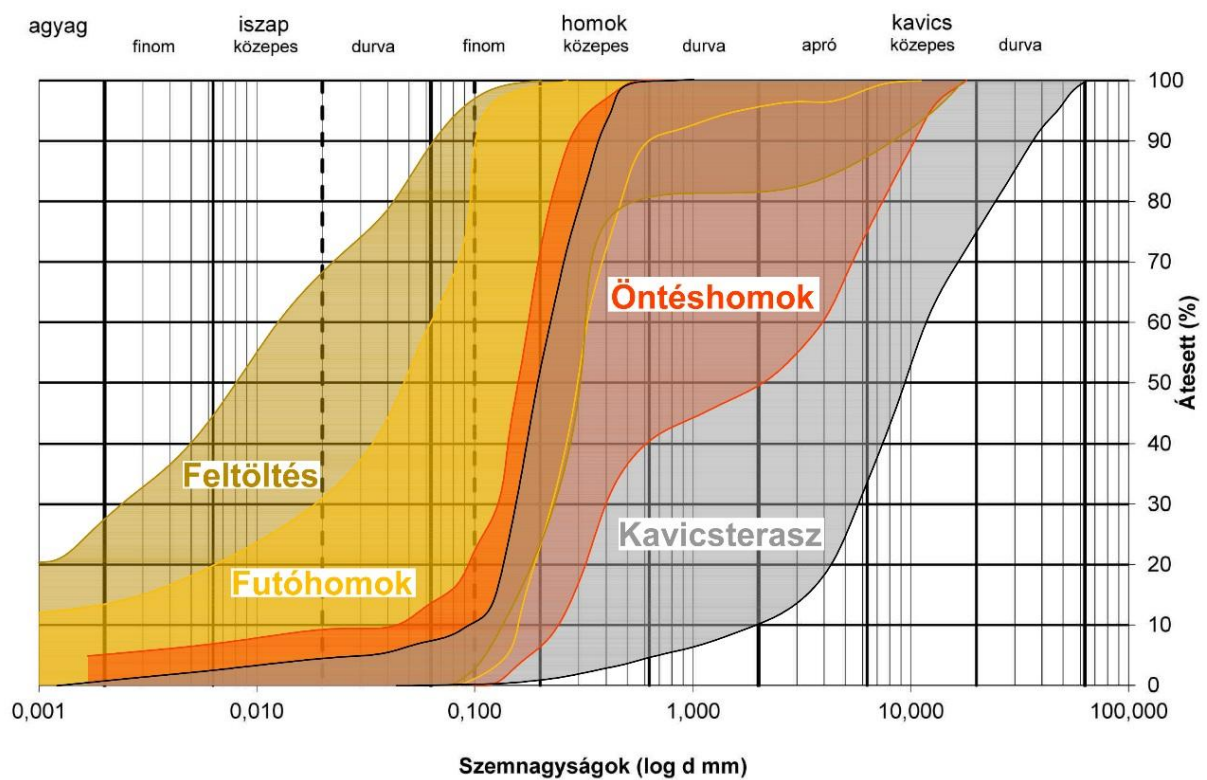
A nagyszámú vizsgálat alapján meghatározott statisztikai jellemzők lehetővé teszik nem csak a determinisztikus elven történő, de akár a megbízhatósági elven alapuló ellenőrzését az alapozás tervezésének. Egy K-Ny és egy É-D irányú talajszelvény mutatja be a rétegek elhelyezkedését a vizsgált telephely alatt (TBJ II. [5.4.3-3.](#) és [5.4.3-4. ábra](#)).

Az alacsony szervesanyag-tartalmú rétegek területi kiterjedése kicsi, vastagságuk csekély, hatásuk elenyésző. A homokkő, illetve cementálódott homok rétegek „úsznak” a körülöttük lévő talajban, egységes réteget nem képeznek, geotechnikai szempontból a tervezett létesítményekre nem jelentenek negatív hatást.

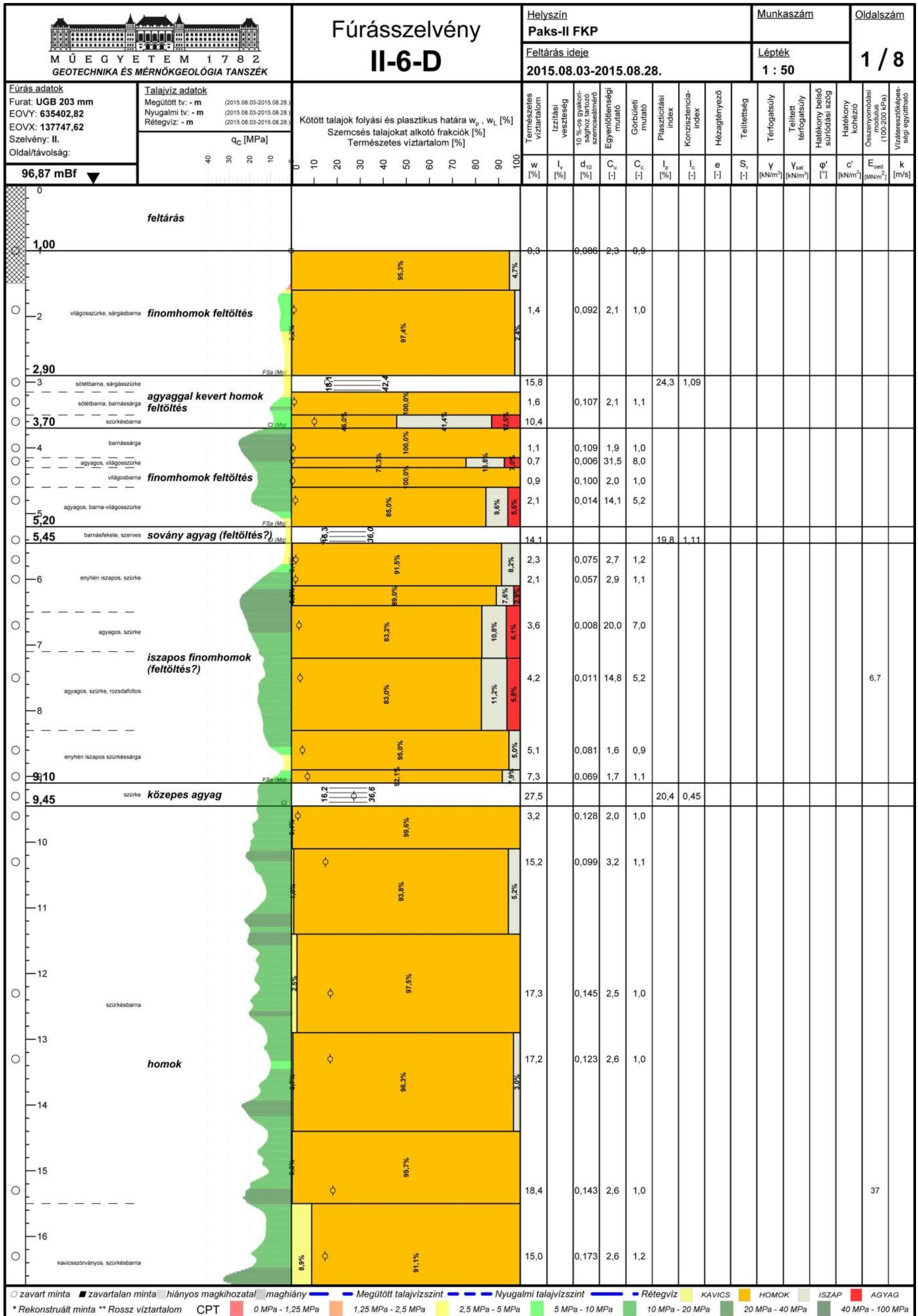
A zsugorodásra-duzzadásra képes talajok felszín közelében, vagy mélyen a talajvíz alatt helyezkednek el, vagyis nem a talajvíz ingadozási zónájában. Mivel vastagságuk sem jelentős, ezért veszélyforrásként nem kell számon tartani ezeket.

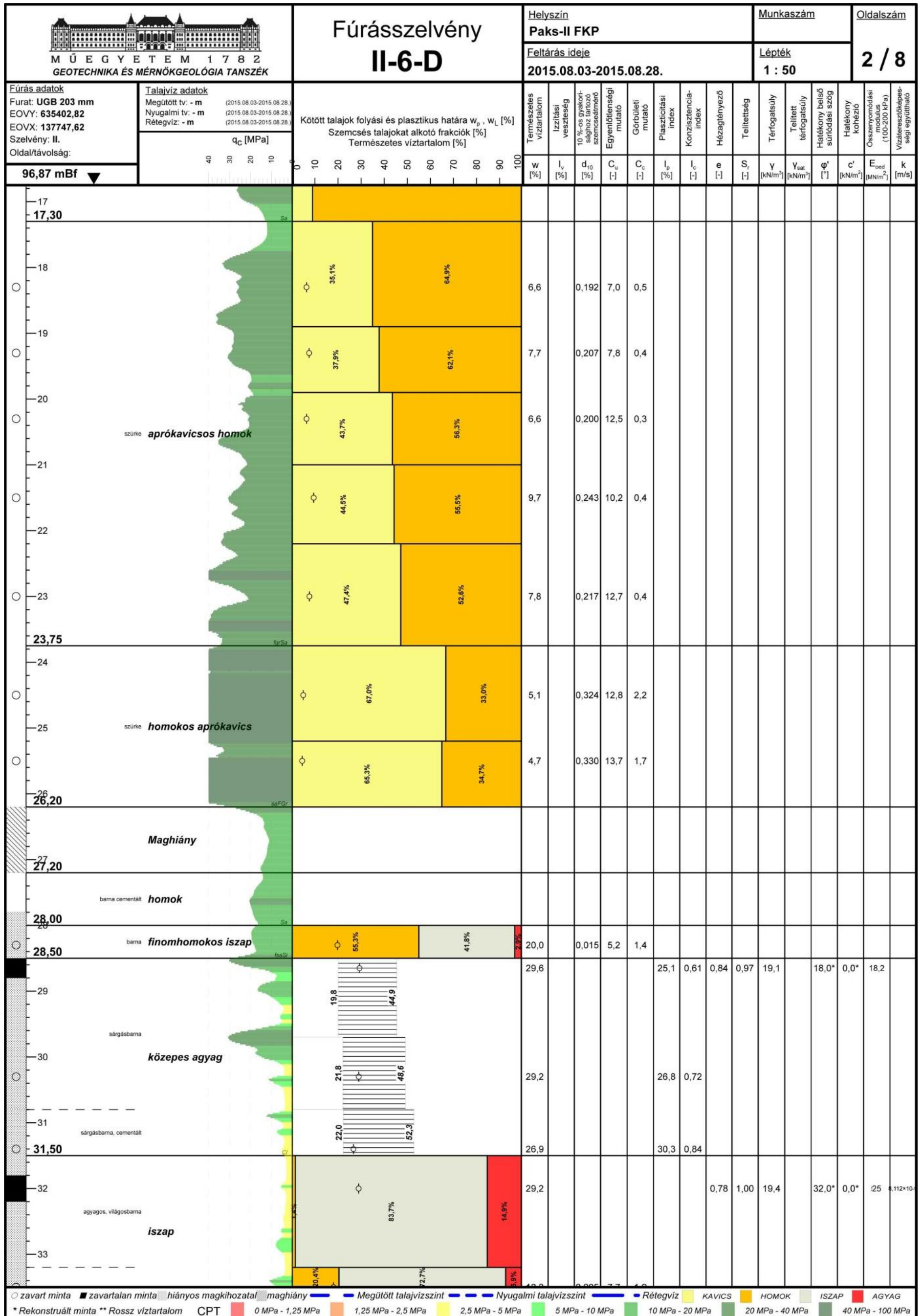
A vizsgálatokkal valószínűsített vetők csak a 130 méter mély fúrások alsó harmadában lévő marker réteggel voltak azonosíthatóak. A talajrétegződés alapján megállapítható, hogy a 16-19 m-es elmozdulások nem lépnek ki a pannon rétegből, mint ahogy a TBJ II. [5.4.3-4. ábra](#) É-D irányú talajszelvénye mutatja.

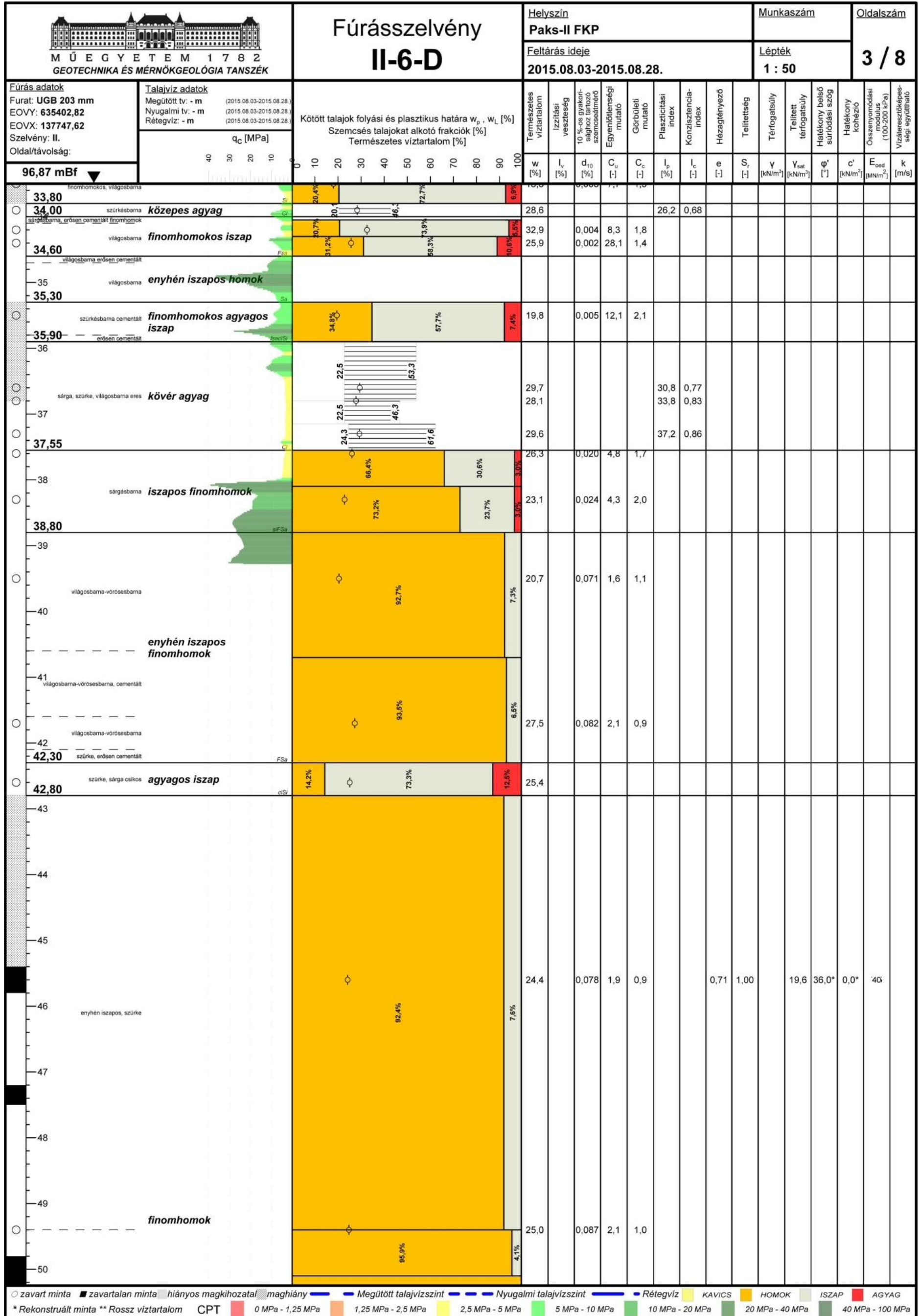
Több talajrétegben is jelentkezett megfolyósodásra hajlamos talaj, legnagyobb összefüggő talajblokkban az öntéshomokban. Ezek állékonyság csökkentő hatása is kiküszöbölhető hagyományos geotechnikai módszerekkel.

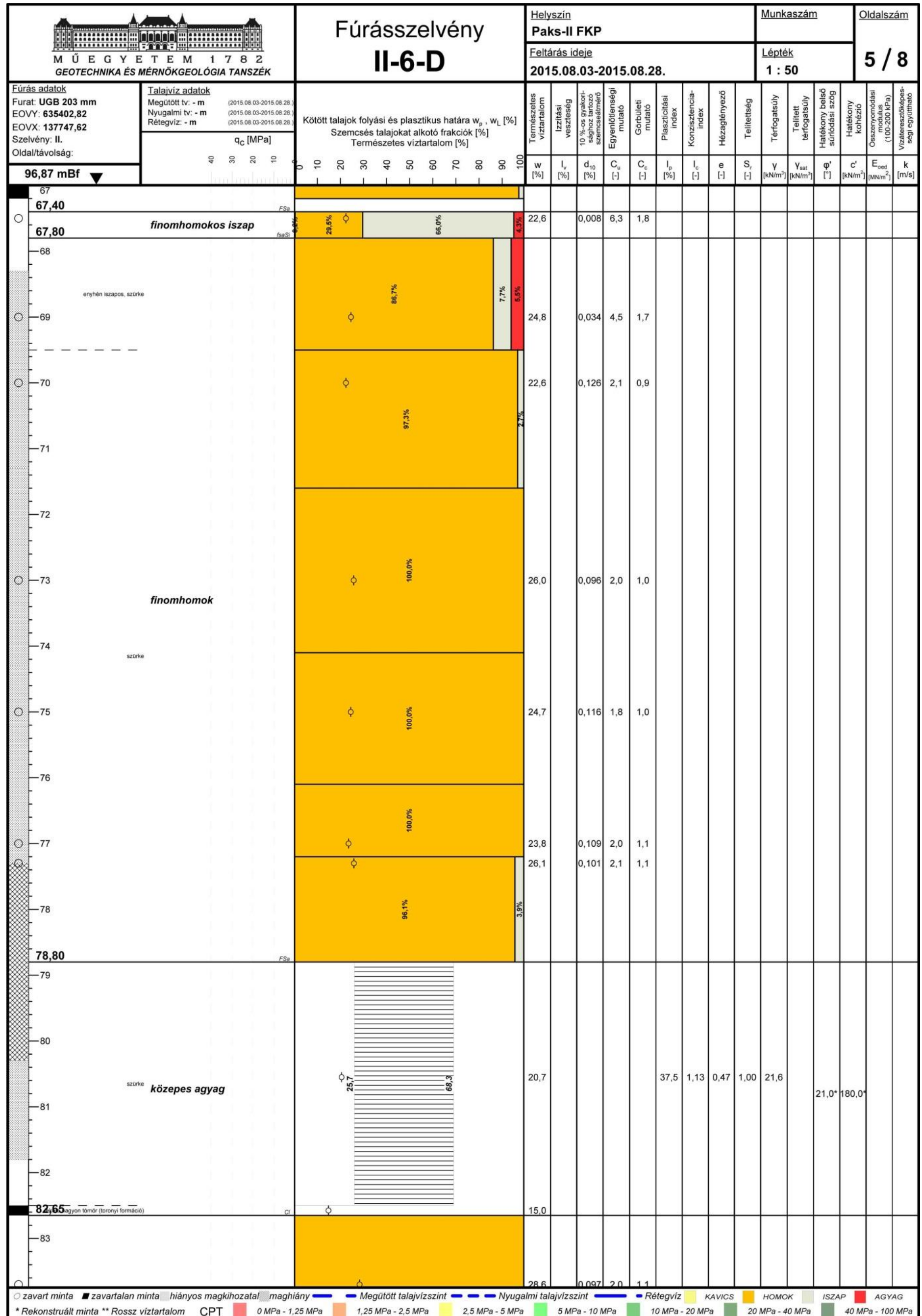


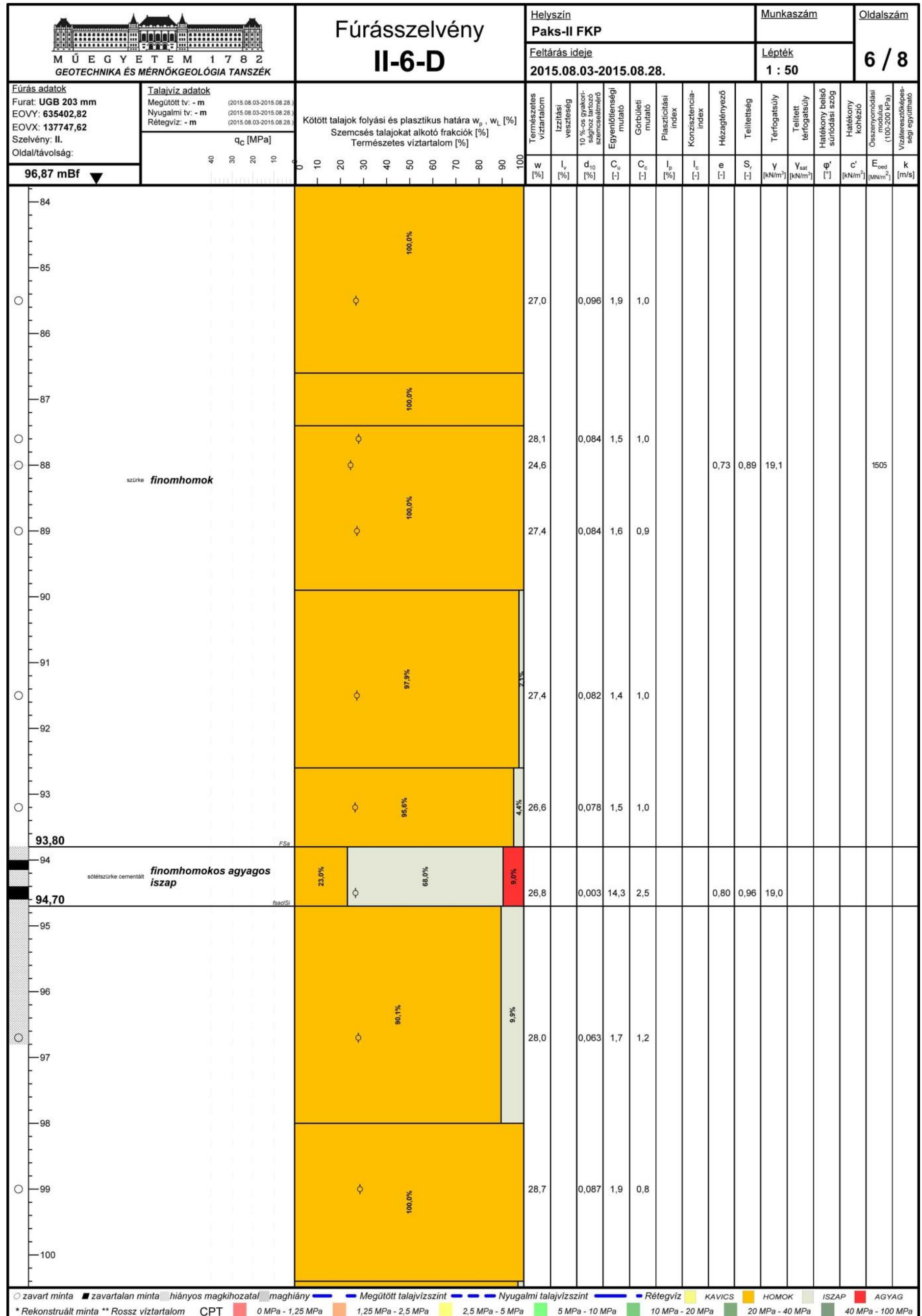
5.4.3-1. ábra: A pannon feletti rétegek összegző szemeloszlási határgörbéi

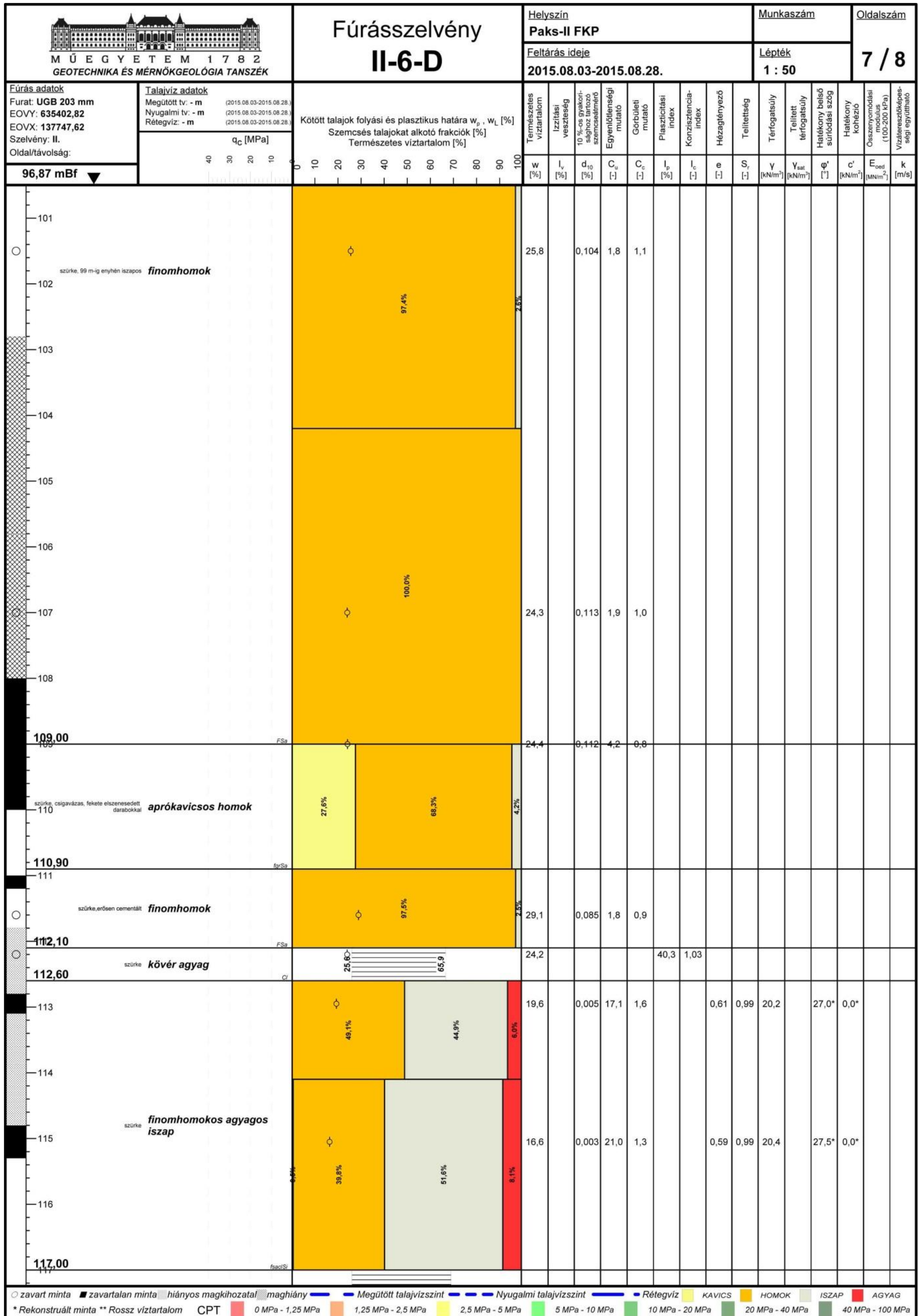


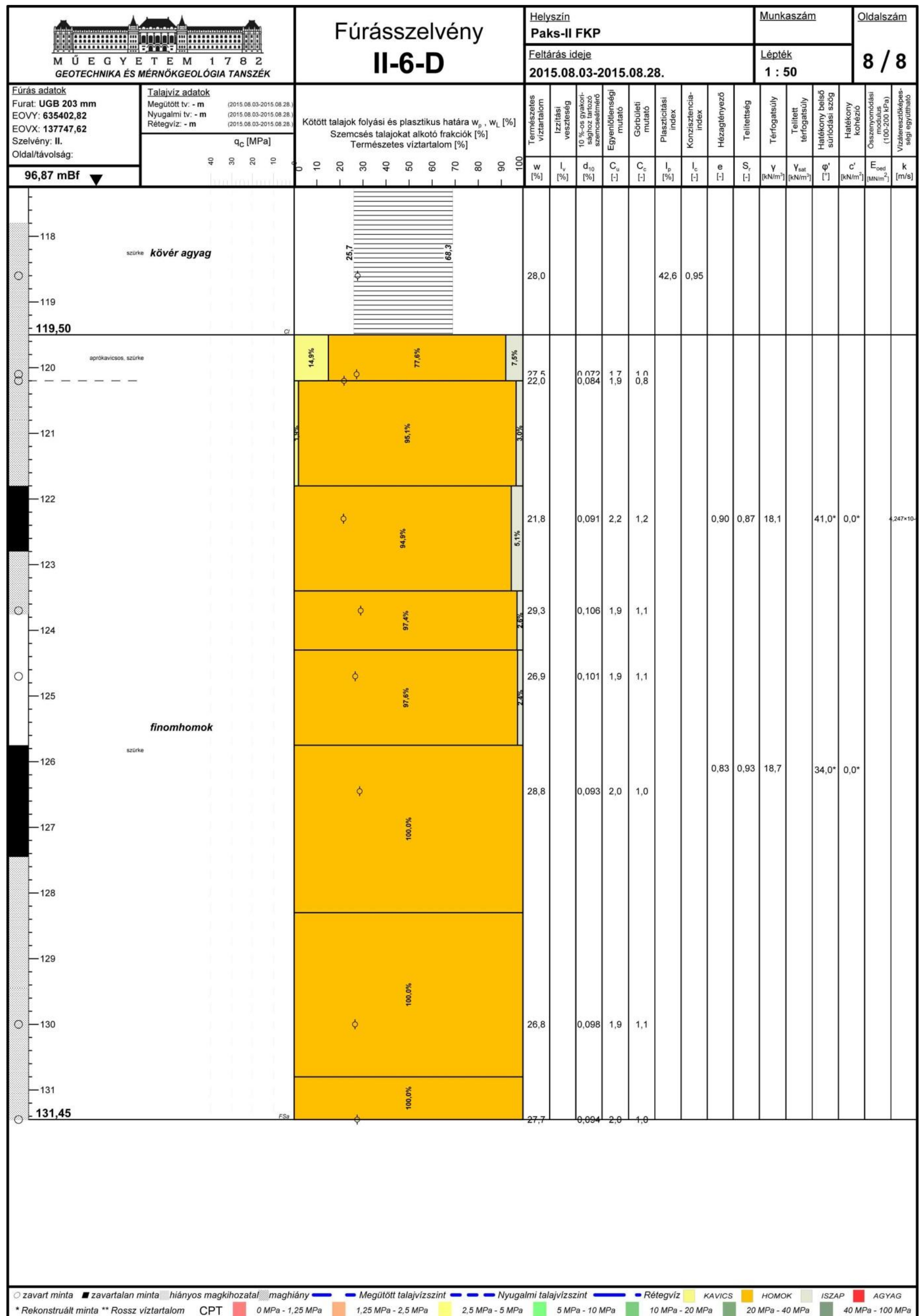




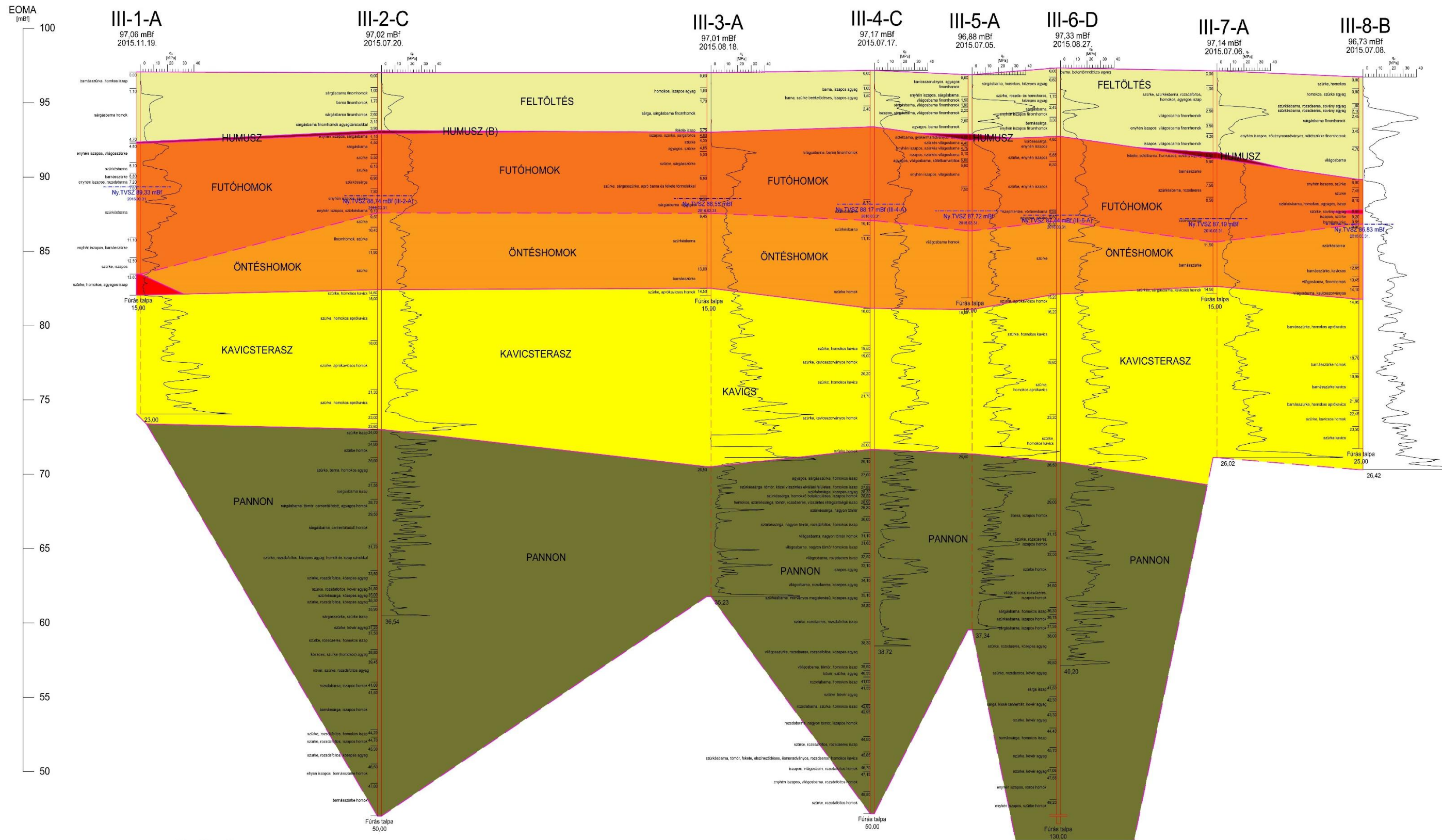




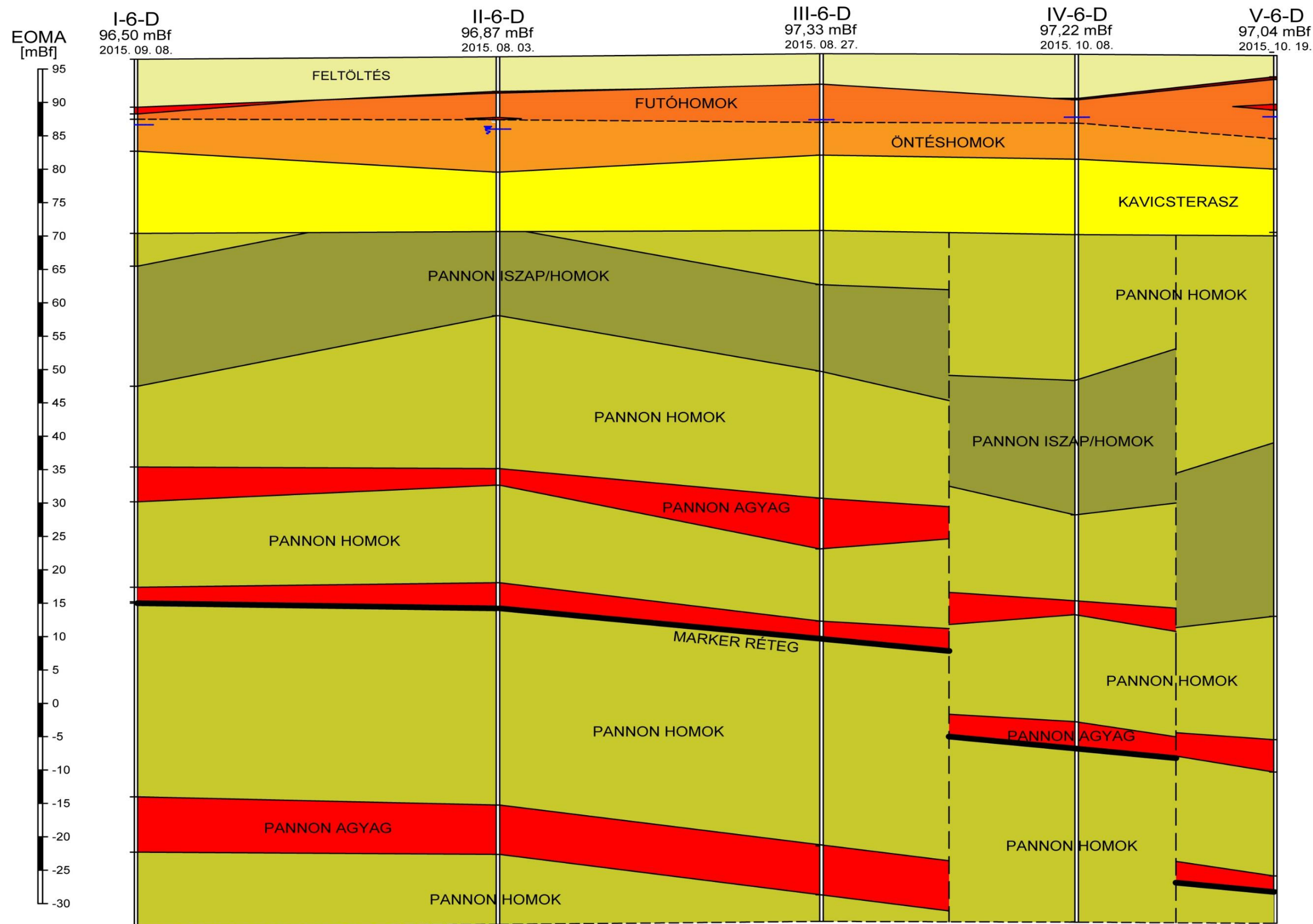




5.4.3-2. ábra: A II-6-D fúrászelvény



5.4.3-3. ábra: Nyugat-keleti talajszelvény



5.4.3-4. ábra: Észak-déli talajszelvény

5.5. Hidrogeológia

A vizsgált terület környezetében, a Duna-völgyében a talajvizet a pleisztocén, holocén korú dunai alluviális, kavicsos, homokos összlet tárolja (TBJ II. [5.1.1. fejezet](#)). A talajvíz összefüggő rendszert képez, közvetlen kapcsolatban áll Ny felől a Duna-völgy határát képező Mezőföld holocén-pleisztocén korú löszplatóin a csapadékból beszivárgott és a vályogszinteken összegyülekezett magasabb fekvésű talajvízszinttel. Ez a területrészt biztosítja Ny felől a Duna-völgy talajvízkészletének mindenkori utánpótlását.

A talajvíz általános áramlási iránya a domborzat lejtését követi, a Duna jobb partján ÉNy-ről DK felé mutat, míg a bal parton az áramlás K-ről Ny felé történik. A talajvíz áramlási viszonyait a Duna erózióbázisa, részben pedig a süllyedékek területi elhelyezkedése határozza meg. A legmagasabb talajvízszintek Pakstól Ny-ra a löszplatón találhatóak. A hidraulikus gradiens a Mezőföldtől a Duna felé mutat.

A háttérvízi talajvízszint a bal parton is magasabb fekvésű, mint a folyóvölgyben, ezért az általános áramlás iránya K-ről Ny felé, azaz a Duna irányába mutat. A bal part topográfiailag kevésbé tagolt, így a hidraulikus gradiens értékek itt kisebbek.

A Duna hidrodinamikai hatásterületén kívüli kutak vízszintjei egymással közel párhuzamosan mozdulnak el, azaz a területen a hidraulikai gradiens értéke jelentősen nem változik a különböző kisvízi és nagyvízi időszakokban. Ezzel szemben a Duna hidrodinamikai hatásterületén a hidraulikus gradiens emelkedő, illetve nagy vízállásoknál csökken, sőt akár ellentétes irányúvá is válhat.

A Duna-völgy vízföldtani szempontból meghatározó vízáradó képződménye a pleisztocén-holocén homokos, kavicsos komplexum. Képződése úgy képzelhető el, hogy a felső pleisztocénben folyamatosan süllyedő kalocsai területeket az akkori Duna folyamatosan töltötte fel.

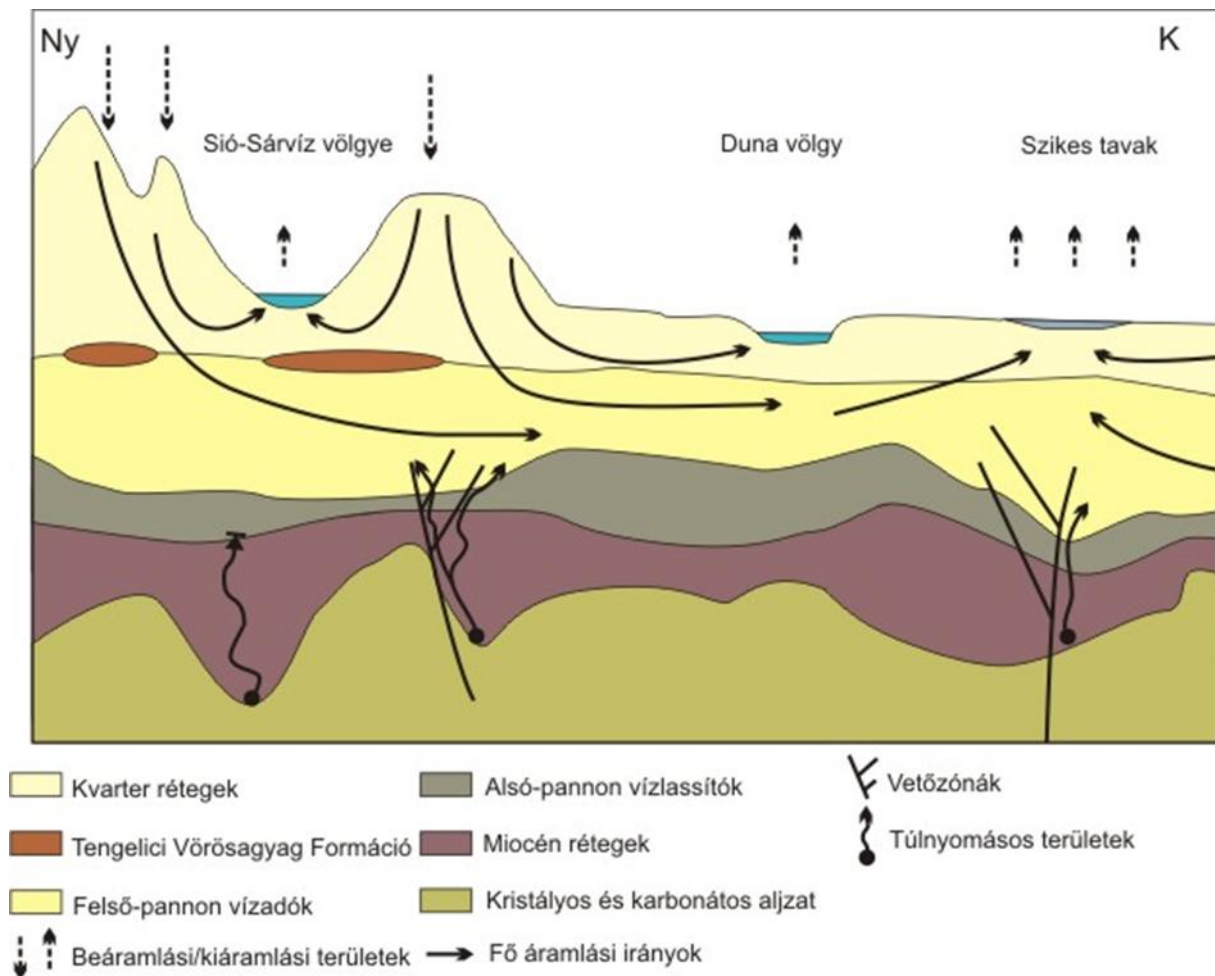
Az árvízi időszakok közötti deflációs periódusban a bal parti részeken intenzív futóhomok képződés folyt, az újabb dunai eróziókat és feltöltéseket fokozatosan Ny felé szorítva. A futóhomokos területek és a Duna keleti ártéri részei találkozásánál a futóhomokon beszivárgó talajvizek felszínre fakadtak, tözeges területeket hozva létre. Az eltemetett tözeges, illetve szerves anyagban dúsabb aleurit lencsék hatására a talajvíz nagy területeken redukált állapotú, magas vas, mangán és ammónium tartalommal. Ennek eredményeként jött létre a K felé fokozatosan vastagodó, összefüggő homokos-kavics vízáradó komplexum.

A mezőségi dombvidékek negyedidőszaki képződményei között a területen meghatározó a több tíz méter vastagságú lösz és a néhány méter vastagságú futóhomok. Mindkét képződmény egyúttal talajvíztartó képződmény is, és a dombvidéki beszivárgás közvetítésében van szerepe elsősorban a Duna-völgy talajvizei, másodsorban a pannóniai rétegvizek irányába (TBJ II. [5.5 1. ábra](#))[5-76].

A jó vízvezető homokos-kavics vízáradó komplexum fekvését egy regionális elterjedésű, de néhol lokálisan hiányzó, rossz vízvezető képességű, néhány méter vastagságú pannon iszapos agyag, agyagos kőzetliszt, helyenként kőzetlisztes réteg, a Tengelic Formáció alkotja.

A vízáradó homokos-kavics komplexum fekvését, a Tengelic Vörösayag Formáció rossz vízvezető képességű kőzetei alkotják. A formáció jelentősége abban áll, hogy gátolva a kvarter és a felső-pannon vízáradók közötti kapcsolatot, a felszín felől terjedő szennyeződésekkel szemben védetté teszi a felső-pannon rétegvízre települő vízbázisokat.

A Tengelic Vörösayag Formáción kívül, a rétegvíz védettségét a rétegekben uralkodó nyomásviszonyok is biztosítják.



5.5-1. ábra: Ny–K irányú elvi hidrogeológiai szelvény a regionális vizsgálati területen keresztül

Természetes állapotában a Duna-völgyben a rétegvíz potenciálszintje lefelé növekszik, így a felszín alatti víz felfelé áramlik. A Duna-völgy tehát, és így a telephely alatti terület is, hidrogeológiai szempontból feláramlási terület. További lokális kiáramlási területként értelmezhető még a Sió, Sárvíz, illetve a Kapos völgye. Feltételezhető, hogy a völgyeket övező dombvidéki területekről, sekély mélységű áramlási pályákon mehet végbe a vízáramlás. A feláramlási rezsim jelleg védeltséget biztosít a földtani közeg mélyebb rétegei és a bennük tárolt felszín alatti víz részére a felszínről lefelé szivárgó, vízben oldott szennyeződésekkel szemben.

A mélyebben elhelyezkedő felső-pannon rétegvizek és talajvizek kapcsolata alapvetően függ a domborzati helyzettől, illetve a Tengelici Vörösagyag Formáció vastagságától. A kiemelt, elsősorban Ny-i, illetve DK-i (Illancs) területeken lefelé mutató gradiens figyelhető meg. A felső-pannon rétegeket elérve a fő áramlás Ny-K-i irányt mutat, Illancs területén K-Ny-i. A regionális hidrodinamikai modell keleti pereme a fő kiáramlási terület. Ez az általános kép a modell terület DK-i részén változhat meg, ahol az Illancs kiemelkedése a fő kiáramlási területet enyhén Ny-ra, a Duna-völgyébe helyezi át. Ebben a tekintetben a felső-pannon áramlási rendszer egyértelműen gravitáció hajtotta rendszer, mely tompítva követi a felszíni topográfiát. A terület talán legfontosabb vízadója az Újfalui Formáció felső homokos kifejlődése, mely közvetlenül a kvarter/Tengelici talp alatt jelenik meg. A területen felmért vízkitermelések jelentős hányada innen származik. A felső-pannon rendszer esetében is feltételezhető, hogy az uralkodóan horizontális vízáramlás mellett leáramlás leginkább a dombvidékeken történik, míg

a telephely és attól K-re eső modell területeken feláramlás jellemző. Ebből következően a felső-pannon rendszerek helyenként rátáplálhatnak az egyébként lokálisan feláramló negyedidőszaki rendszerekre.

5.5.1. A földtani képződmények hidrosztratigráfiája

A földtani képződmények hidrosztratigráfiai jellemzői az [5-80] alapján kerülnek ismertetésre.

5.5.1.1. Negyedidőszaki képződmények

A tervezett telephely környezetében a felszínen jellemzően világos színű, sárgásbarna illetve barna finomhomok, iszapos homok és agyagos homok egyvelegéből álló antropogén feltöltés található, amelyet az üzemelő blokkok megépítését megelőzően szállítottak ide a természetes térszín megemlése céljából. A feltöltés vastagsága 1,5 méter és 8,7 méter között változik, a tervezett telephely alatti átlagos vastagsága 5,3 méter.

A feltöltés alatt a terület É-ÉNy-i részén készült több feltárásban azonosítható volt egy jellemzően 1,0 méternél vékonyabb, változó plaszticitású, de általában merev-kemény konzisztenciájú agyag réteg. Az agyag réteg vastagsága 0,25–1,80 méter között változik, átlagosan 0,8 méter.

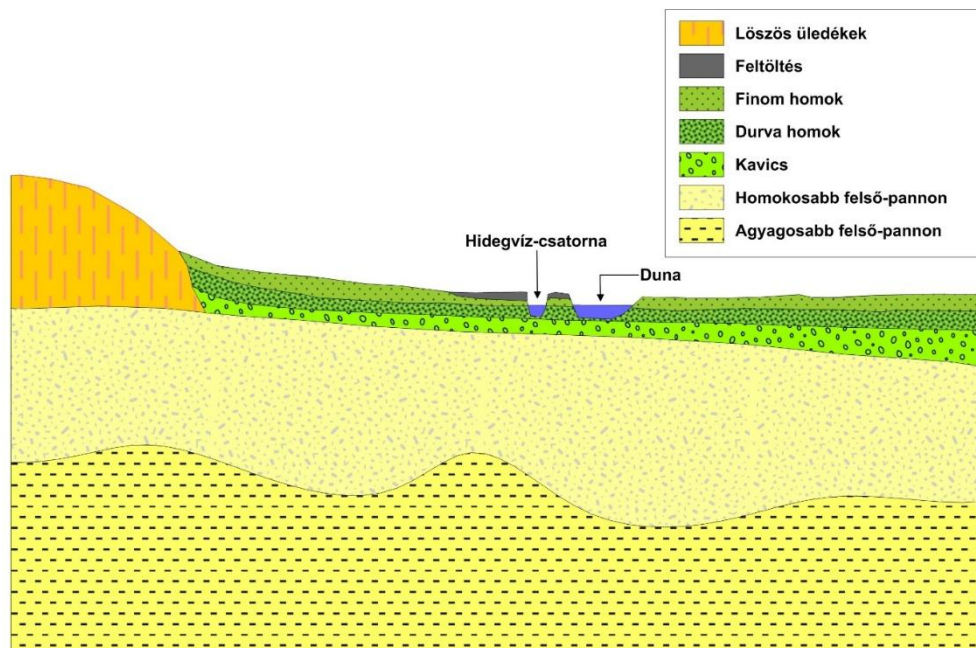
A feltöltés és az agyag réteg alatt eolikus eredetű réteg, futóhomok (zömében finomhomokból álló) réteg található. Vastagsága változó, a terület nagy részén jellemzően 3–6 méter közötti, átlagosan 5,0 méter.

A futóhomok alatt található alluviális eredetű homokréteg – az V-1-C fúrás kivételével – minden feltárásban megjelent. Vastagsága 1,2–12,8 méter közötti, átlagosan 5,0 méter.

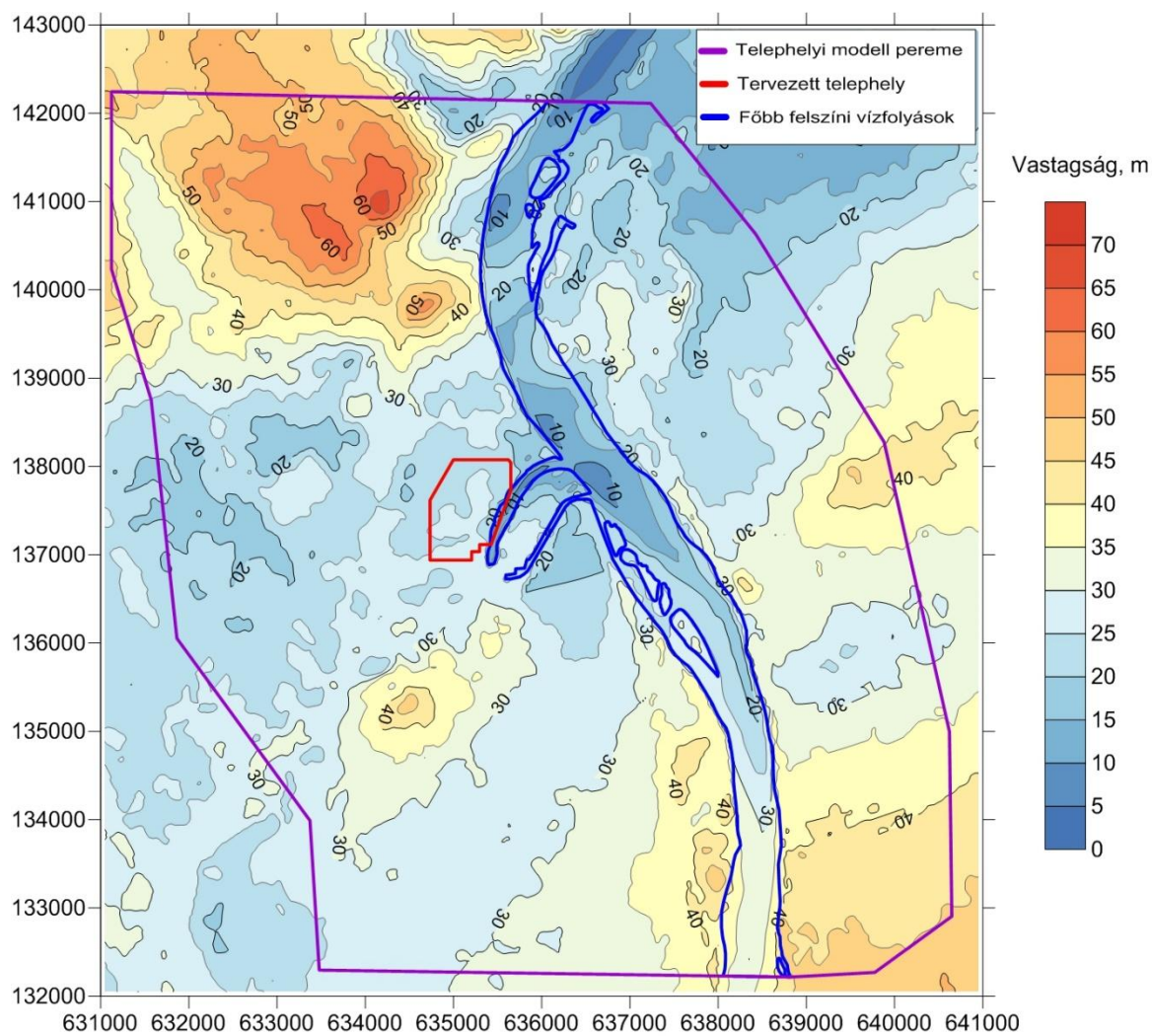
Az eolikus és alluviális homokos horizontok alatt kiterjedt kavicssterasz réteg jelentkezik. A kavicsos összlet kiterjedéséről volt elérhető a legnagyobb számú, és a vizsgált területre vonatkozó legátfogóbb információ. A kavicsréteg változatos vastagságú kifejlődésben fordul elő, a mezőföldi dombságtól K-DK i irányba távolodva egyre vastagodó összletként jelentkezik. A vizsgált területen belüli legnagyobb vastagságát a Duna bal partja mentén húzódó alacsony ártéri térszínen éri el, itt eléri a 34 métert. A réteg tervezett telephelyen belüli átlagos vastagsága 12 méter.

A fontosabb hidrosztratigráfiai egységek elvi modelljét a TBJ II. [5.5.1.1-1. ábra](#) mutatja be.

A negyedidőszaki üledékek vastagsági viszonyait a TBJ II. [5.5.1.1-2. ábra](#) szemlélteti. A tervezett telephely térségében jellemzően 25–30 méter a kvarter üledékek vastagsága.



5.5.1.1-1. ábra: ÉNy-DK irányú elvi hidrológiai szelvény a vizsgálati területen keresztül



5.5.1.1-2. ábra: A kvarter üledékek vastagsága a vizsgálati területen [m]

5.5.1.2. Felső-pannóniai képződmények

Mind az alluviális, mind az eolikus pleisztocén rétegek fekéjében felső-pannóniai finomszemcsés üledékek, illetve üledékes kőzetek találhatóak (TBJ II. [5.1.1. fejezet](#)). A pleisztocén vízadók fekéjében lévő felső-pannon rétegek jellemzően iszapos, agyagos és homokos kifejlődések váltakozásából álló réteg együttesek, melyekben konszolidált, gyengén, illetve közepesen cementált horizontok váltogatják egymást. Ezen rétegek már a nyomás alatt lévő rétegvizeknek adnak otthont. A vizsgált térrészen belül nem ismert a felső-pannon formációk felszíni előfordulása.

A pleisztocén rétegek alatt jellemzően 67–74 mBf szint között jelenik meg a telephelyi fúrások max. 130 m-es talpáig feltárt felső-pannon üledékes összlet.

A pannon rétegsorban is a homokrétegek uralkodnak. Ezeket a homokrétegeket jellemzően finomabb szemcséjű, kötött rétegek választják el egymástól.

5.5.1.3. Alsó-pannóniai képződmények

A mélyebb áramlási egységekről a sekélyebb egységeknél kevesebb vízföldtani információ áll rendelkezésre. A víztermelés nagy része a felső, porózus rétegekre koncentrálódik, így a felső-pannonnál idősebb testeket elsősorban szénhidrogén, illetve termásvíz termelés céljából kutatták és fűrték meg. Az általános pannon-medencei tapasztalatokat figyelembe véve, az alsó-pannon Algyői Formáció és Endrődi Formáció regionális vízzáró testként viselkednek. Hatásukat elsősorban vastagságuk és kifejlődésük (agyagtartalom, vízzáró képesség) határozza meg, így egyes lokális mélymedencékben teljesen elszeparált mélységi áramlási rendszert alakíthatnak ki.

5.5.1.4. Pre-pannon képződmények

A pre-pannon és a pre-kainozoos kristályos és karbonátos aljzat nyomásviszonyairól mindössze a korábbi kutató, illetve a telephelyvizsgálat során kialakított PAET jelű fúrások adnak pontszerű képet (TBJ II. [5.1.1. fejezet](#)). A kiemelt hátak felszín alatti vízármlási pályái, túlnyomórészt azonos gravitációs rendszerbe tartoznak, mint a felső-pannon rétegvizei. A nyomás-mélység profilok elemzése arra utal, hogy az alsó-pannon üledékek kiterjedése, vastagsága vagy agyagtartalma nem elegendő adott helyen a két áramlási rendszer (a mélységi és a felső-pannon) elszeparálására.

Feltételezhető, hogy a kristályos és karbonátos aljzat, illetve a kora miocén vulkanitokon belül a repedezett, zúzott vetőzónák rendelkezhetnek számottevő szivárgási tényezővel, ezáltal szerepük a mélyebb régiókban a regionális áramlás tekintetében is fontos.

Mélységi túlnyomásra utaló nyomásértékeket mindössze néhány fúrásban észleltek, amelyek a Tengelic K-37, PAET-34, PAET-30, illetve Kiskőrös Észak-1. Földtani, szerkezetföldtani adatok alapján valószínűsíthető, hogy a tengelici fúrásban, illetve a PAET-34-ben észlelt, a hidrosztatikus nyomást kb. 1 MPa-lal meghaladó nyomástöbblet területileg a Tengelic-Paks árokszerkezethez kapcsolódhat. Az árokszerkezet DNy-i oldalán, két normálvető által közre zárt részegységen a PAET-30 fúrás nyomásszintje is hasonló, kb. 1 MPa-os eltérést mutat a hidrosztatikushoz képest. A Kisk-É-1 fúrás pakkeres tesztekéből vett adatai jelentős, majdnem 3 MPa túlnyomást mutatnak. A fúrásban a túlnyomást, mind a mezozoos (karbonátos-mészmárgás) aljzatban, mind a fedő alsó-pannon finomszemcsés üledékben észlelték.

5.5.1.5. Szerkezetföldtani viszonyok szerepe

A felszín alatti víz áramlását a vetők, illetve törések jelentősen befolyásolják. Szivárgáshidraulikai szempontból lényeges megkülönböztetni a vezető, illetve „kvázi” záró szerkezeteket.

A vizsgált területen lévő közel 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. A maximális főfeszültségre közel merőleges csapású vetők, ezzel szemben „kvázi” záró vetőként értelmezhetők. Az összes szerkezeti elem esetében horizontálisan, azaz a vetősíkokra merőlegesen gyengébb szivárgási tényezőt tételeztek fel. Ennek elméleti alapját az a feltételezés adta, hogy a túlnyomásos zónák, limitált mértékben, de hidrodinamikailag kommunikálhatnak a fedő üledékekkel. A vízzáró pannon üledékek kiékelődéseinel, vagy a vetőzónákon keresztül találkozhat a gravitációs és a túlnyomásos áramlási rendszer.

5.5.2. A kőzetek vízvezető képessége

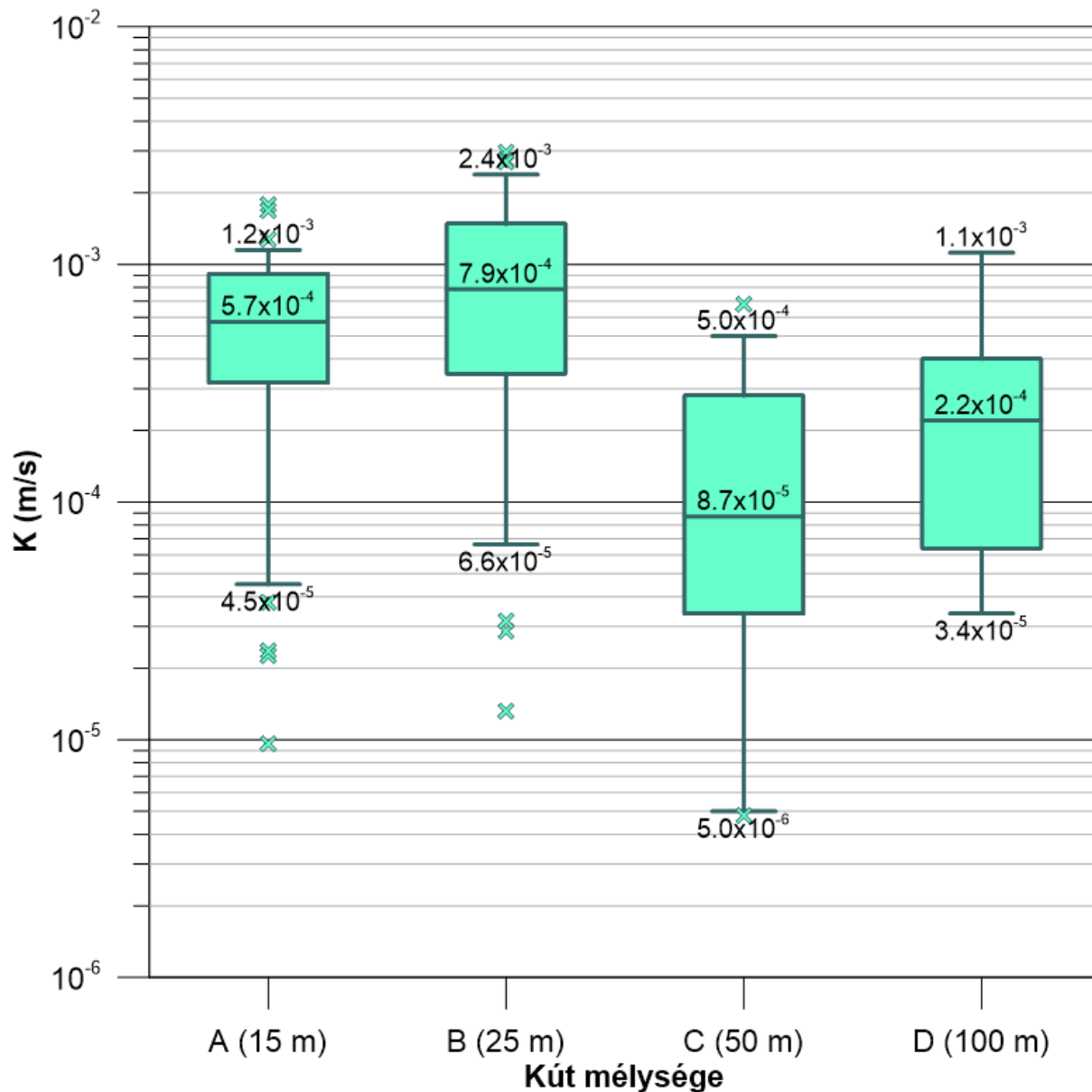
A telephelyvizsgálat keretében 81 figyelőkútban hidrodinamikai vizsgálatot végeztek. A 3 lépcsős próbaszivattyúzás és az azt követő visszatöltődés során mérték a talajvízszint, ill. hidraulikus potenciál időbeli változását, majd ezt analitikus módszerekkel kiértékelve meghatározták a réteg transzmisszivitását, ill. szivárgási tényezőjét (vízvezető-képességét).

A vezetőképesség statisztikai jellemzőit mutatja be a TBJ II. [5.5.2-1. ábra](#). Látható, hogy a „B” jelű kutakkal megnyitott kavicssterasz vezetőképessége a legjobb, a medián értéke eléri a $7,9 \times 10^{-4}$ m/s értéket. Az „A” jelű kutakkal beszűrőzött finom-, ill. durvahomok-réteg vezetőképessége az előbbinél némileg kisebb, mediánja $5,7 \times 10^{-4}$ m/s.

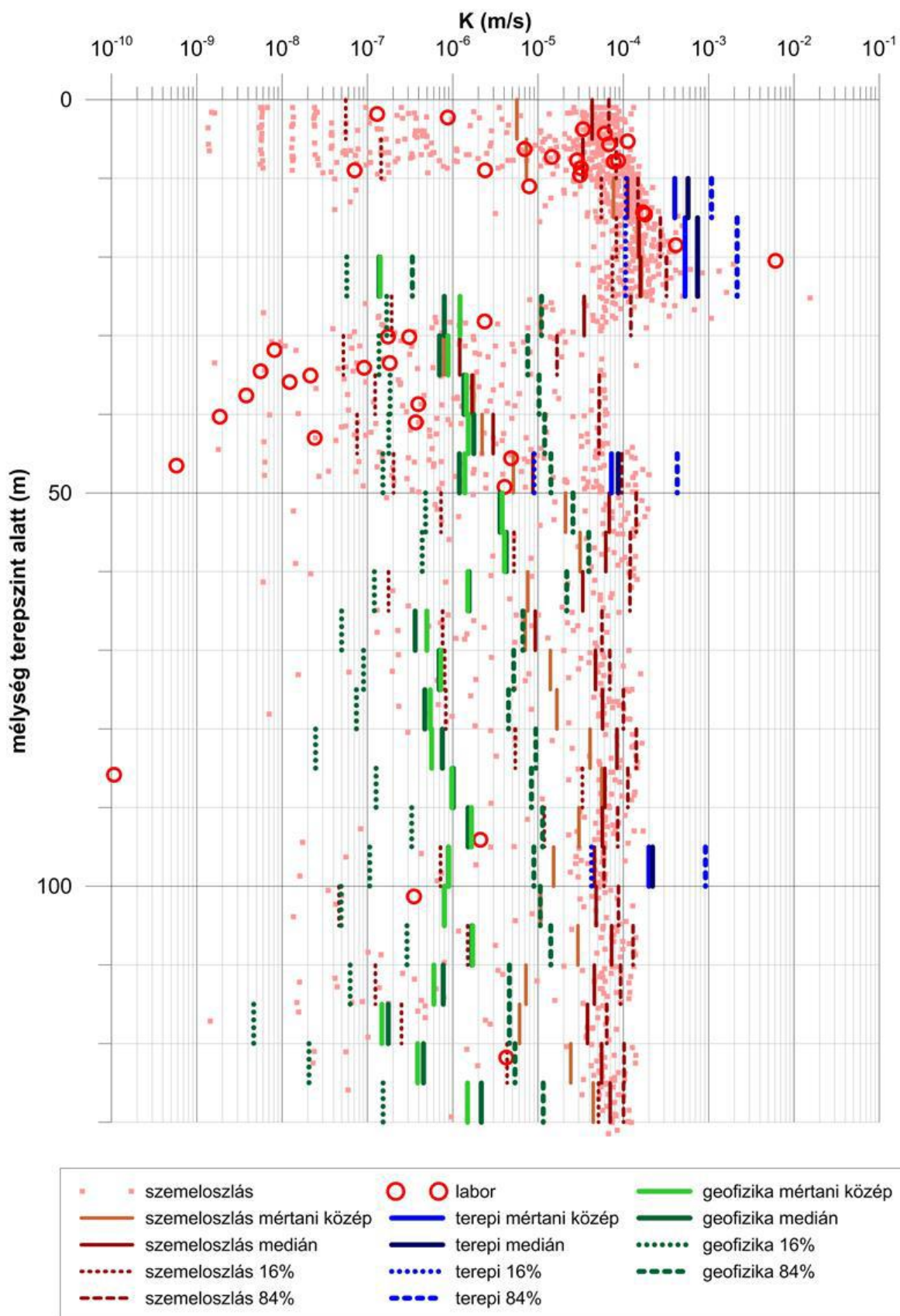
A felső-pannon képződmények vezetőképessége kb. egy nagyságrenddel kisebb a kvarter üledékekénél, a „C” kutakban mért értékek mediánja $8,7 \times 10^{-5}$ m/s, a „D” kutakban mért értékek mediánja $2,2 \times 10^{-4}$ m/s, szórása kisebb a „C” kutakban mért értékek szórásánál.

Mivel a kúttesztekből származó értékek nem folytonosak a mélység szerint, a szivárgási tényező értéke mélység szerinti alakulásának bemutatására felhasználhatók a szemeloszlásokból számított szivárgási tényezők és a laboradatok is (TBJ II. [5.5.2-2. ábra](#)).

Az ábrán jól kivehető a felső-pannon legfelső szakaszának kis átteresztőképessége, de a pannon rétegsorra jellemző homokos-agyagos üledékek ciklikus települése is (ez utóbbi elsősorban a mértani közép, ill. a 16%-os percentilis mélység szerinti ingadozásából látszik). A felső-pannóniai rétegek a tervezett telephely alatt DK-i irányban dőlnek, ezért az azonos mélységhez helyenként akár nagyságrendekkel eltérő szivárgási tényezők társulnak. Tovább bonyolítja a képet a vetőzónák mentén a rétegek elmozdulása.



5.5.2-1. ábra: A telephelyi fúrásokban egyedi kúttesztekkel és egymásrahatás-vizsgálattal meghatározott szivárgási tényezők dobozdiagramja. A doboz alsó és felső éle a 25%-os ill. 75%-os percentilist, az alsó és felső értékek a 10%-os ill. 90%-os percentilist reprezentálják



5.5.2-2. ábra: A szivargási tényező szemelozslásból számított értékei, laboratóriumi adatok, a kútesztekéből meghatározott medián, 16%-os és 84%-os percentilisei, valamint a szemelozslásból számított értékek mediánja és percentilisei

5.5.3. A földtani képződmények nyomás- és potenciálviszonyai

5.5.3.1. A talajvízszint

A talajvíz a területen összefüggő rendszert képez, az átlagos talajvízszint a feltáráskor a felső homokos képződményekben húzódott, a terepszint alatt 8-10 m-es mélységben. A mindenkori talajvízállást döntően a Duna aktuális vízállása szabályozza.

A talajvíz a paksi telephely térségében módosult helyzetben van. A víznívót és a vízjárást a természetes hatások mellett a hidegvíz-csatorna vízszintje, a mesterséges tározók betáplálása, a tűzvíz rendszer kútjainak a termelése, csapadékvíz elvezetése, a terület feltöltöttsége, valamint a közműhálózat (pl. vízvezeték és csatorna meghibásodások) is befolyásolja [5-64].

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 hatása – a vízjáték meghaladja a 8,5 m-t – a talajvízfigyelő kutak adatai szerint a folyót szegélyező mintegy 200-500 m-es szélességű sávban jelentkezik leginkább. 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 m-re kb. 2 nap múlva jelentkezik.

A hidegvíz-csatorna mellett a maximális talajvízszintek 93-94 mBf körül várhatók. A háttérben a sokéves átlagos szezonális vízszintingadozás 2 méter körül van. A talajvíz áramlási sebessége nem egyenletes, a vízáadó réteg szemcseösszetételétől függően változik.

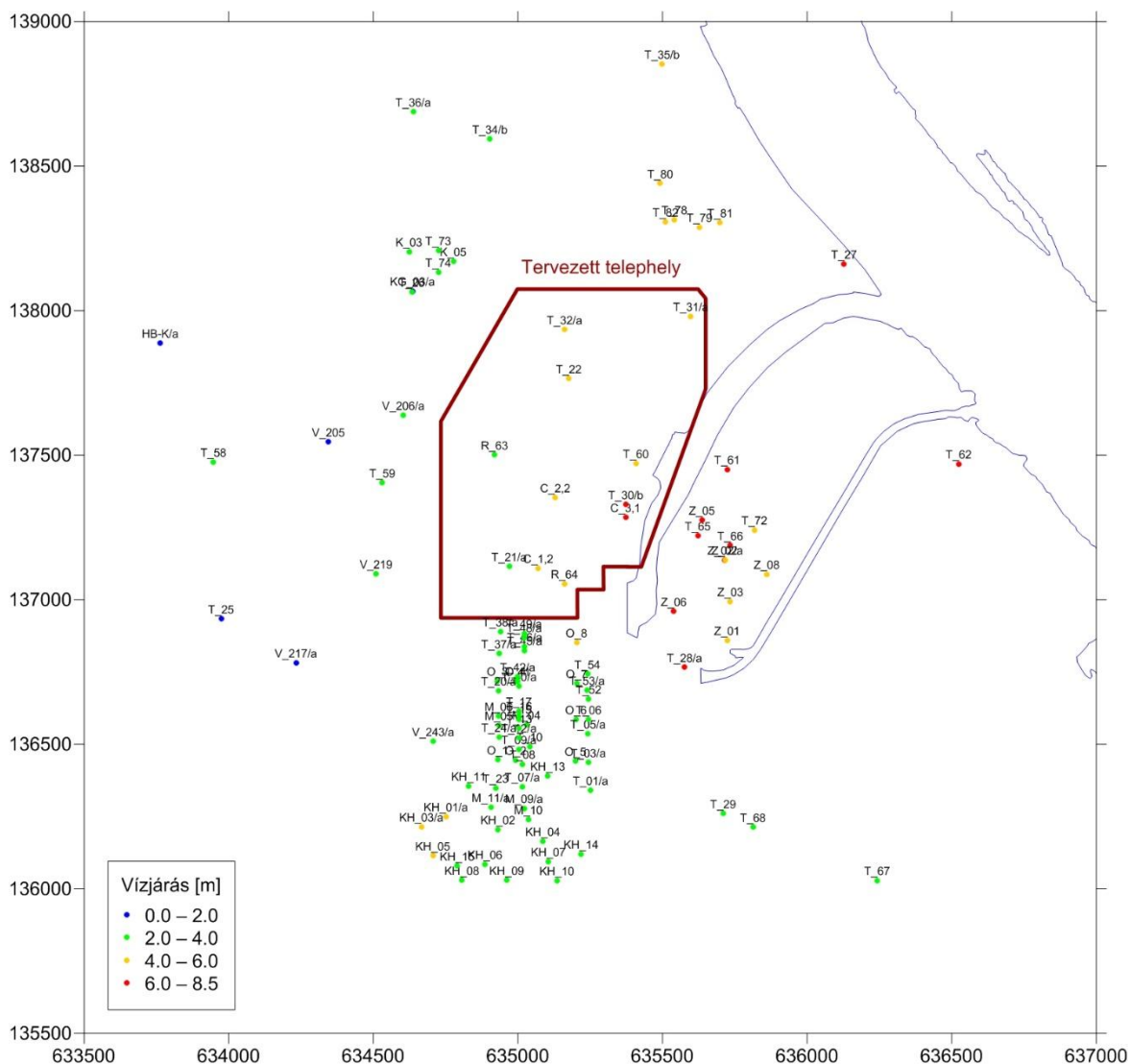
A TBJ II. [5.5.3.1-1. ábra](#) a figyelőkutak vízjárását mutatja be a talajvízszint-adatsorok alapján.

A Duna-völgy térségében a talajvíz mindenkori nyomásviszonyait a Duna élővízfolyásának vízjárása határozza meg. Vizsgálták az elmúlt 10 év dunai vízjárását és keresték azt az időszakot, amelynek vízjárása jellemzi a KV-i, KÖV-i és NV-i időszakokat. A 2012 és 2013-as évek a dunai vízjárás tekintetében alkalmasak a jellemző időszakok kiválasztására (TBJ II. [5.5.3.1-2. ábra](#)).

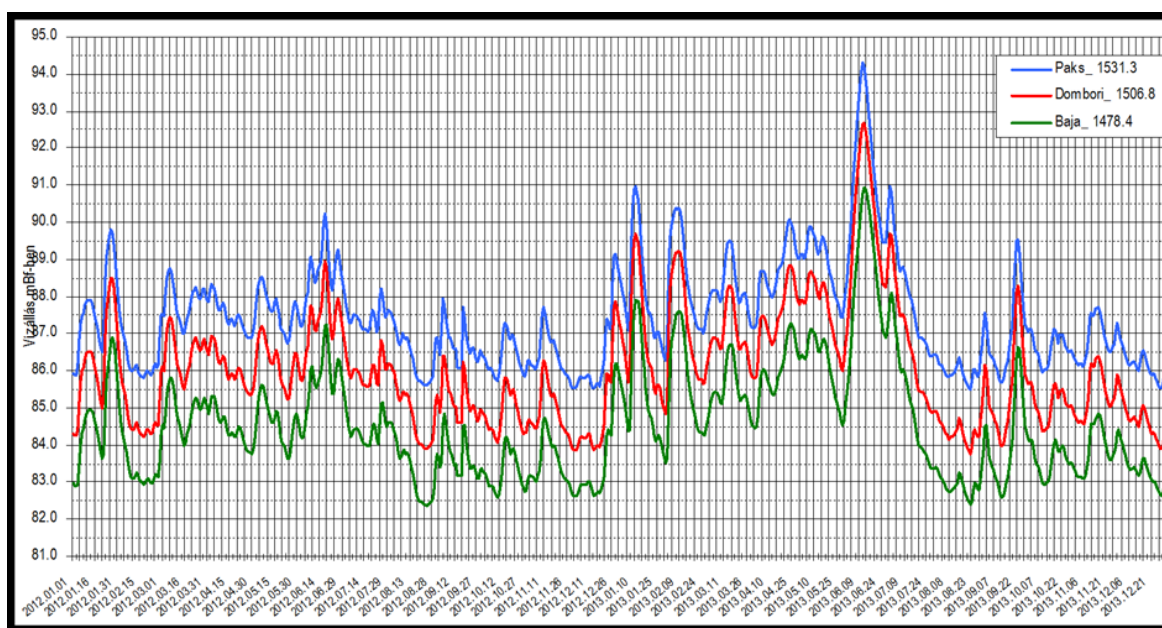
A 2012 végén a „zöldár”-mentes nyári időszakot egy tartós őszi kisvízi időszak követte, melynek végén, december közepén érte el az évi minimumot a vízállás. Az időszak kiválóan alkalmas volt arra, hogy a térség jellemző kisvízi (KV) talajvízszintjét erre az időszakra határozzák meg.

Ezt követően 2013-ban a Dunán, több téli, tavaszi árhullám levonulását követően, az „évszázad árvize” vonult le, Bajáig új LNV szintek beállításával. A júniusi időszak kiválóan alkalmas volt arra, hogy a térségre jellemző nagyvízi (NV) talajvízszint térképet erre az időszakra szerkesszék meg.

A 2013. október végi időszak a közepes dunai vízállásokhoz tartozó átlagos talajvízszint jellemzésére alkalmas. A Duna ezen időszakokra vonatkozó hidrológiai jellemzőit a TBJ II. [5.5.3.1-1. táblázat](#) összesíti.



5.5.3.1-1. ábra: A telephelyi talajvízfigyelő-kutak csoportosítása a vízjárás alapján



5.5.3.1-2. ábra: A Duna 2012-2013. évi vízállása

5.5.3.1-1. táblázat: A Duna jellemző vízállásai

		Dombori 1506.8 fkm	Paks 1531.3 fkm			Hidegvíz-csatorna 1526,4 fkm		Dombori 1506.8 fkm	Baja 1478.4 fkm	
Duna		vizhozam m ³ /s	Vizállás cm	Vizállás mBf	esés cm/km	Vizállás mBf	esés cm/km	Vizállás mBf	esés cm/km	Vizállás mBf
KV	2012.12.18	1360	20	85.58	6.69	85.24	-3.00	83.94	4.30	82.72
KÖV	2013.10.22	8980	883	86.97	6.00	86.69	-1.00	85.50	5.39	83.97
NV	2013.06.12	2140	159	94.21	6.33	93.97	6.00	92.66	6.16	90.76

5.5.3.1.1. KISVÍZI TALAJVÍZSZINTEK

A lösz-hátságokban a löszre jellemző vályog szintek elterjedésének megfelelően, 125-133 mBf szinteken alakult a talajvízszint nyomásértéke. Éves ingadozása 0,5-0,6 m. A löszplatók felől a völgyek irányába nagy hidraulikus gradienssel (5-10%) szivárog le a talajvíz. A Csámpa-patak völgyében a talajvíz hidraulikus gradiense már 0,5-0,6%-os értékre csökken, de még mindig jelentősen magasabb, mint a Duna-völgyében. A talajvízszint 93-95 mBf szinten szivárog a völgyel megegyező, DK-i irányba.

A Duna-völgy határánál a talajvíz 90-95 mBf nyomásszinten alakul ki, és ezt követően legyezőszerűen szétterülve ÉNy–DK-i irányba folytatja szivárgását a Duna élővízfolyása felé.

A Duna-völgy határában a talajvíz hidraulikus gradiense lecsökken 0,01-0,06%-ra és innen emelkedő értékkel szivárog DK-i irányba.

A paksi telephely területén, a hidegvíz-csatorna közvetlen térségében a hidraulikus gradiens értéke 0,3-0,4%. A talajvíz szintje 86-90 mBf szintek között változott. A telephelytől Ny-ÉNy-i térségben elhelyezkedő talajvíz esése 0,15%, a völgy határának térségében 0,06%-os értékű, a nyomás szintek 91-94 mBf közötti értéket adtak.

5.5.3.1.2. KÖZÉPVÍZI TALAJVÍZSZINTEK

A talajvíz a Duna-völgy jobb partján a lösz-hátságok felől Ny-ÉNy-É-i irányból szivárog. Mivel a kutak szezonális ingadozása nem számottevő (0,5-0,6 m), a talajvíz szivárgási képe és annak mértéke megegyezik a KV-i helyzetnél leirtakkal.

A Duna-völgy határán a talajvíz az ÉNy-i részen 95-92,5, a DNy-i részen 90-94 mBf nyomásszinten alakult ki, 0,15-0,2-0,3%-os hidraulikus gradiens értékkel és ezt követően legyezőszerűen szétterülve ÉNy–DK-i irányba folytatja szivárgását a Duna élővízfolyása felé.

A Duna-völgy határában a talajvíz hidraulikus gradiens értéke lecsökken 0,02-0,04%-ra és innen már növekvő értékkel szivárog DK-i irányba.

A paksi telephely területén a Duna torlasztó hatása a főmeder térségében csak egy rövid szakaszon érzékelhető, itt a hidraulikus gradiens 0,12%. A hidegvíz-csatorna megléte miatt nem alakult ki torlasztó hatás. A hidegvíz-csatorna térségében a hidraulikus gradiens értéke a K-i részen 0,1-0,3%, a DNy-i részen 0,5-0,9%.

5.5.3.1.3. NAGYVÍZI TALAJVÍZSZINTEK

A Duna-völgy jobb partján, a löszháton a kutak szezonális ingadozása nem számottevő (0,5-0,6 m), a talajvíz szivárgási helyzete megegyezik a KÖV és a KV-i helyzetnél leirtakkal.

A Duna-völgy határán a talajvíz 93-95 mBf nyomásszinten alakul ki, hidraulikus gradiens értéke 0,15-0,20%, és ezt követően legyezőszerűen szétterülve ÉNy–DK-i irányba folytatja szivárgását a Duna élővízfolyása felé, majd a talajvíz hidraulikus gradiense értéke lecsökken 0,03-0,06%-ra és innen gyengén emelkedő értékkel szivárog DK-i irányba.

A paksi telephely területén a Duna víz torlasztó hatásának eredményeként a hidraulikus gradiens értéke az árvízvédelmi töltés mentett oldalán $-0,7 - -0,5\%$, a negatív hidraulikus gradiens értékek mintegy 800-1 000 m-es sávon belül észlelhetők. A talajvíz szintje 90-93 mBf szintek között változott. A telephely Ny-ÉNy-i térségében elhelyezkedő talajvíz 0,06-0,20%, a völgy határának térségében 0,05%-os értéket, a nyomás szintek 92-93 mBf közötti értéket adtak.

5.5.3.1.4. A TELEPHELYVIZSGÁLAT KERETÉN BELÜL VÉGZETT TALAJVÍZSZINT-ÉSZLELÉSEK

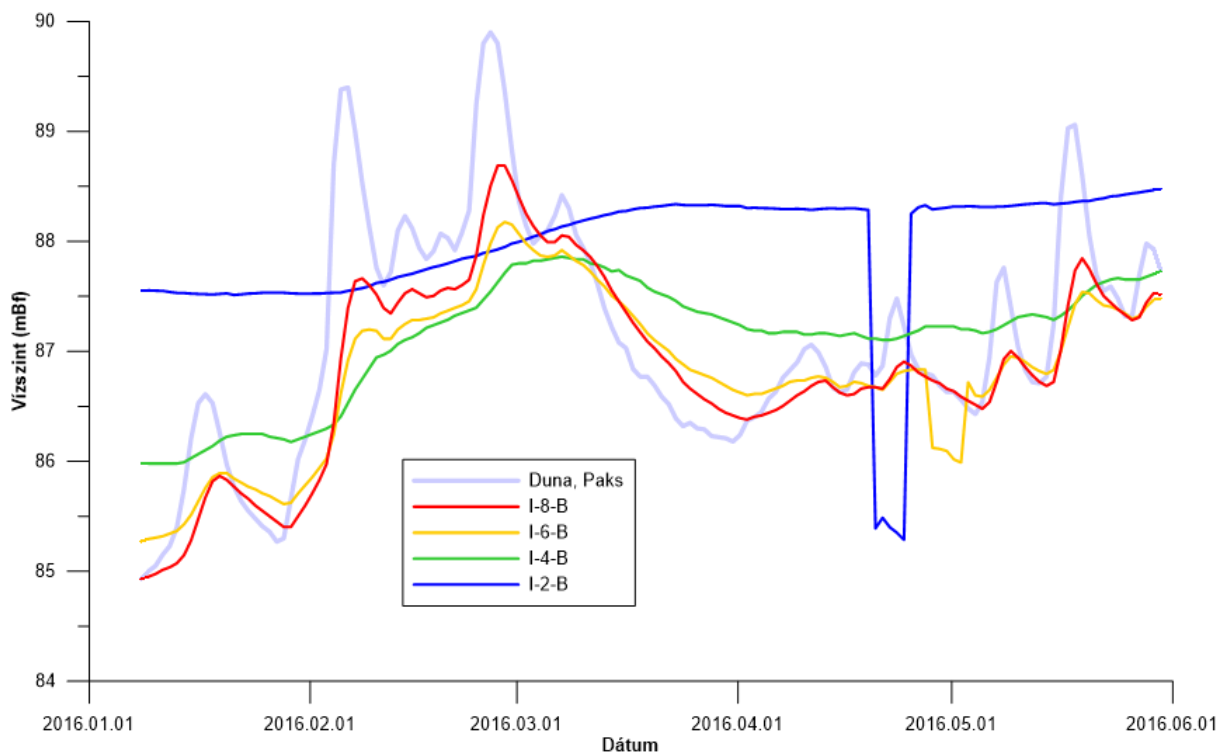
Az atomerőmű hidegvíz-csatornájának vízszintjéről nem álltak rendelkezésre folyamatos adatok, ezért a talajvíz és a felszíni víz kapcsolatát a Duna paksi vízmércéjén mért adatokhoz viszonyították. A kapcsolat Ny-K-i szelvények mentén kiválasztott talajvízkutakban mért vízszintek alapján mutatható be a következő ábrásorozaton (TBJ II. [5.5.3.1.4-1-5. ábra](#)). Az ábrásorozatot tanulmányozva az alábbi megállapítások tehetők:

- A felszíni víz járásának közvetlen hatása mutatható ki a hidegvíz-csatornához legközelebbi, 8-as pozíciójú kutakban (helyzete alapján e csoportba tartozik az I-6-B kút is). E kutak jellemző távolsága a vízfolyástól 100 méter körüli (64 és 111 méter 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 méter 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 méter körüli, a hidraulikai kapcsolat nem ismerhető fel.

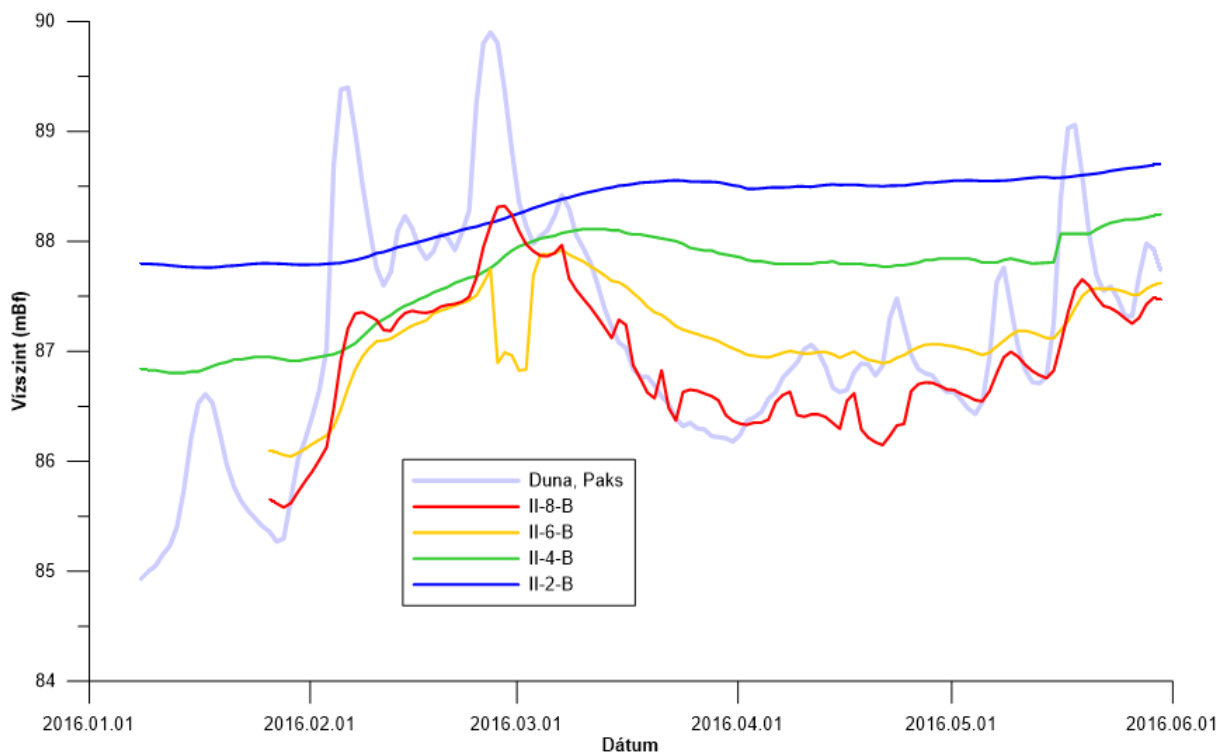
A talajvíz és a felszíni víz kapcsolata kvantitatív módon vizsgálható az egyes talajvízkutak és a Duna vízszintidősora közötti korrelációs együttható kiszámításával.

A korrelációs együttható értékét ábrázolja egyes talajvízkutak vízfolyástól való távolságának függvényében a TBJ II. [5.5.3.1.4-6. ábra](#). A korrelációs együttható a vízfolyástól kb. 400 méter távolságig lineáris függvénykapcsolat szerint csökken, ezen túl a korreláció már olyan csekély, hogy a függvénykapcsolat nem értelmezhető. Az ábra alapján is az mondható, hogy a felszíni víz és a talajvíz között közvetlen kapcsolat a vízfolyástól kb. 100–150 méter távolságig mutatható ki. E távolságon belül a vízfolyáson levonuló árhullámok megfordítják a talajvízszint gradiensének irányát.

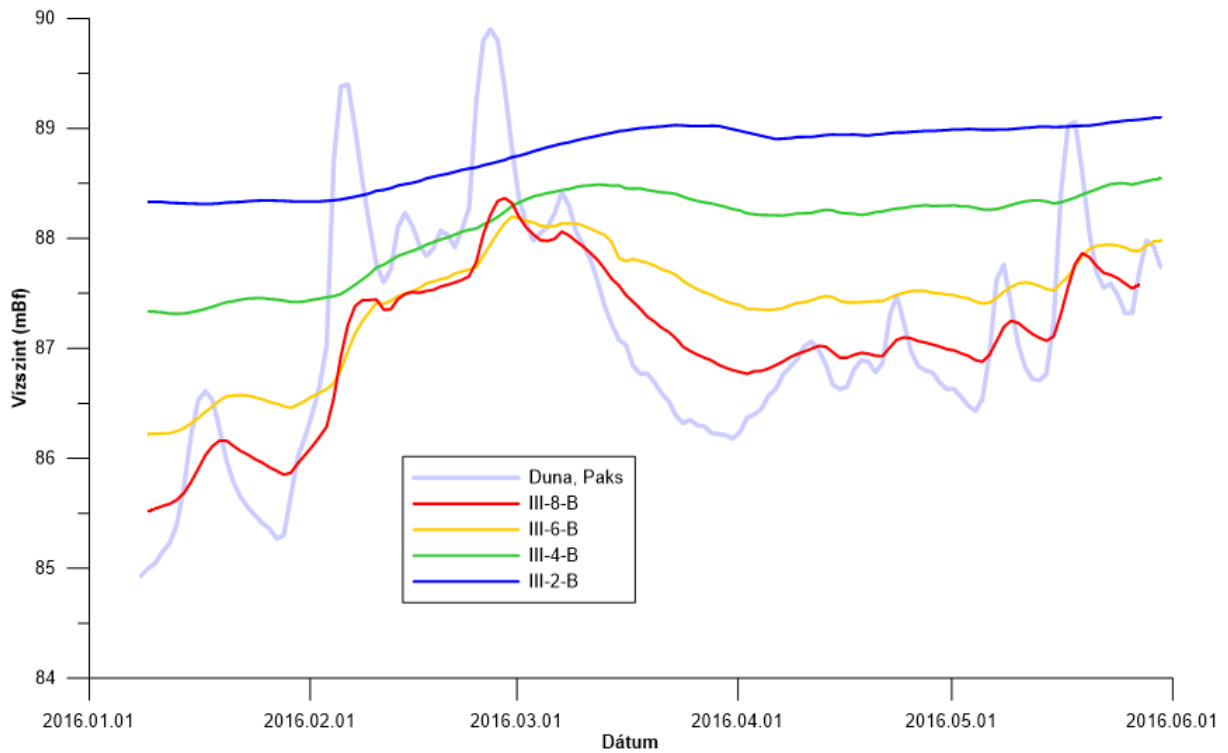
A pleisztocén rétegekben áramló talajvíz az összlet heterogenitásától függetlenül egységes képet mutat. A dunántúli területeken az árampályák megközelítőleg Ny-K-i irányt követnek. Irányuk a felszíni viszonyoknak megfelelően a magasabb térszinek felől mutat a Duna irányába. A Dunától K-re lévő területeken pedig egységesen a Duna felé irányuló áramvonalak jellemzik a talajvizeket.



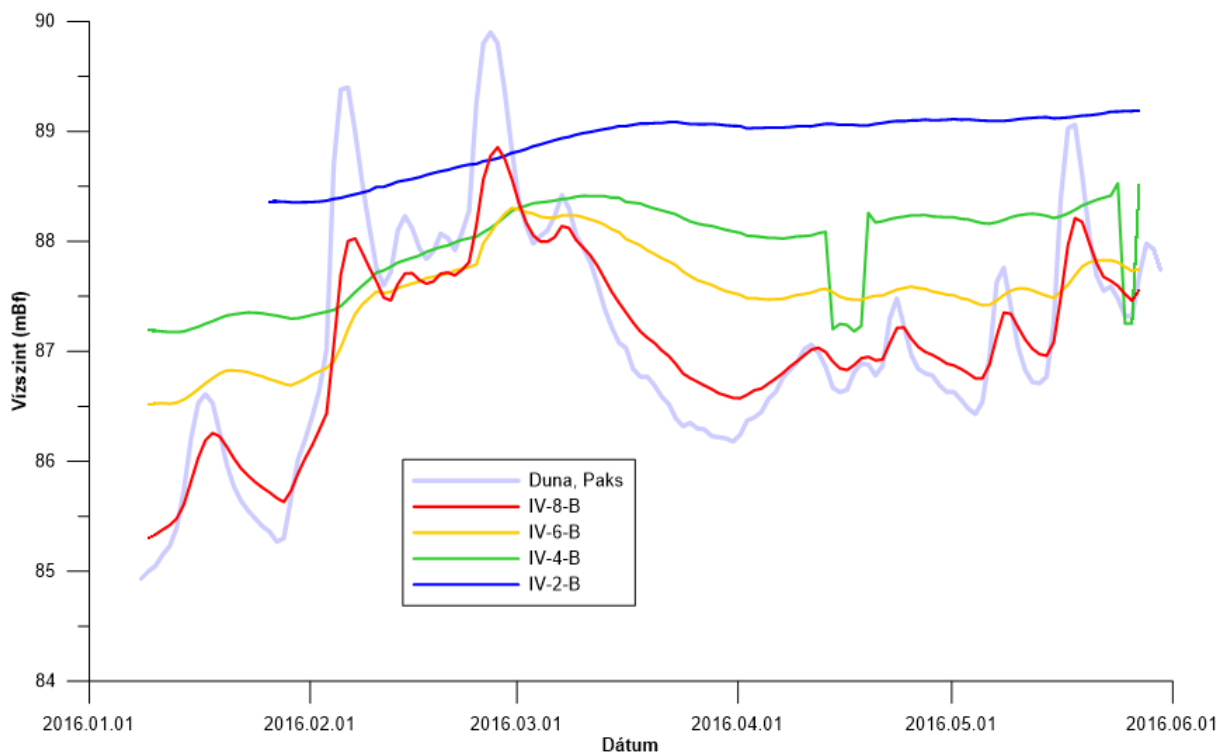
5.5.3.1.4-1. ábra: Talajvízszintek az I. szelvényben



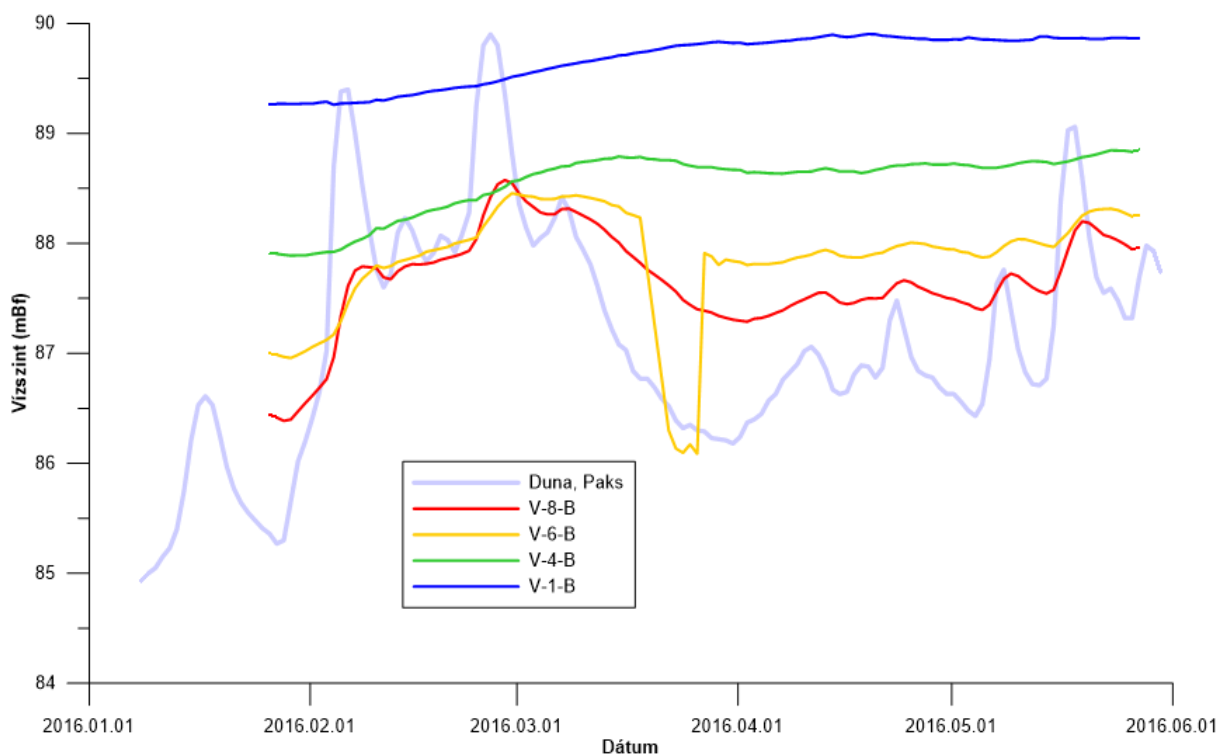
5.5.3.1.4-2. ábra: Talajvízszintek a II. szelvényben



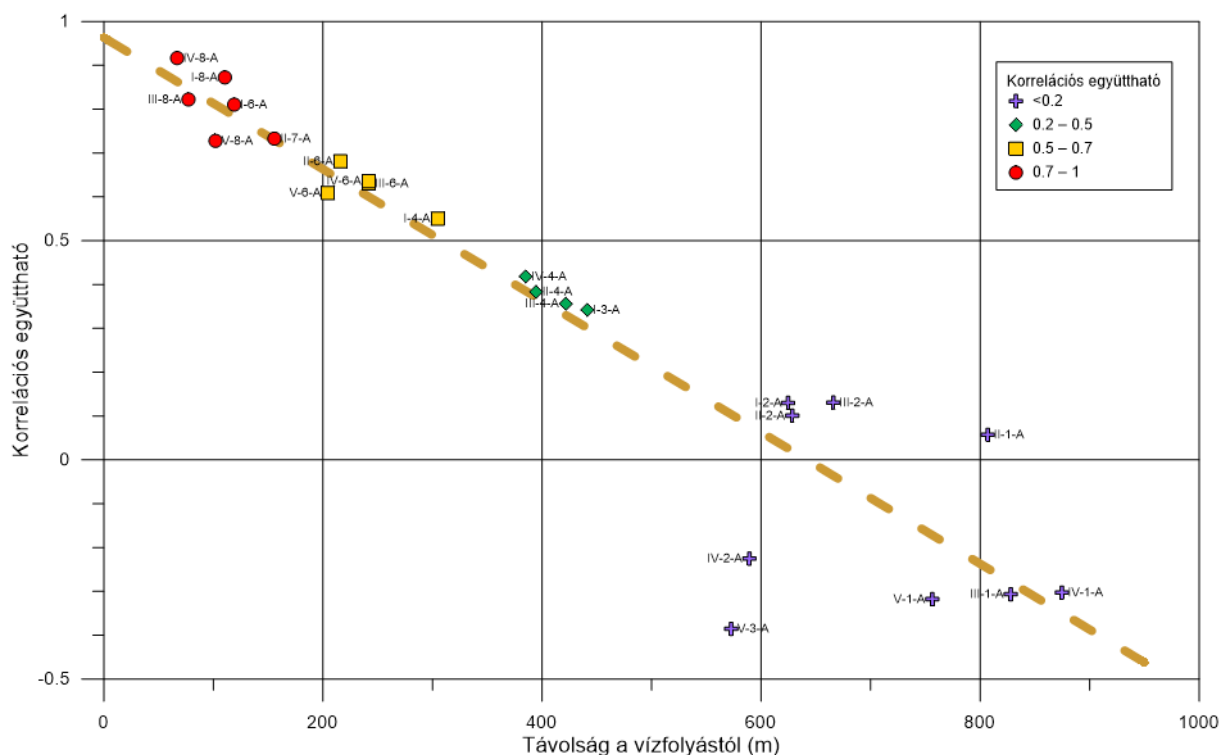
5.5.3.1.4-3. ábra: Talajvízszintek a III. szelvényben



5.5.3.1.4-4. ábra: Talajvízszintek a IV. szelvényben



5.5.3.1.4-5. ábra: Talajvízszintek az V. szelvényben



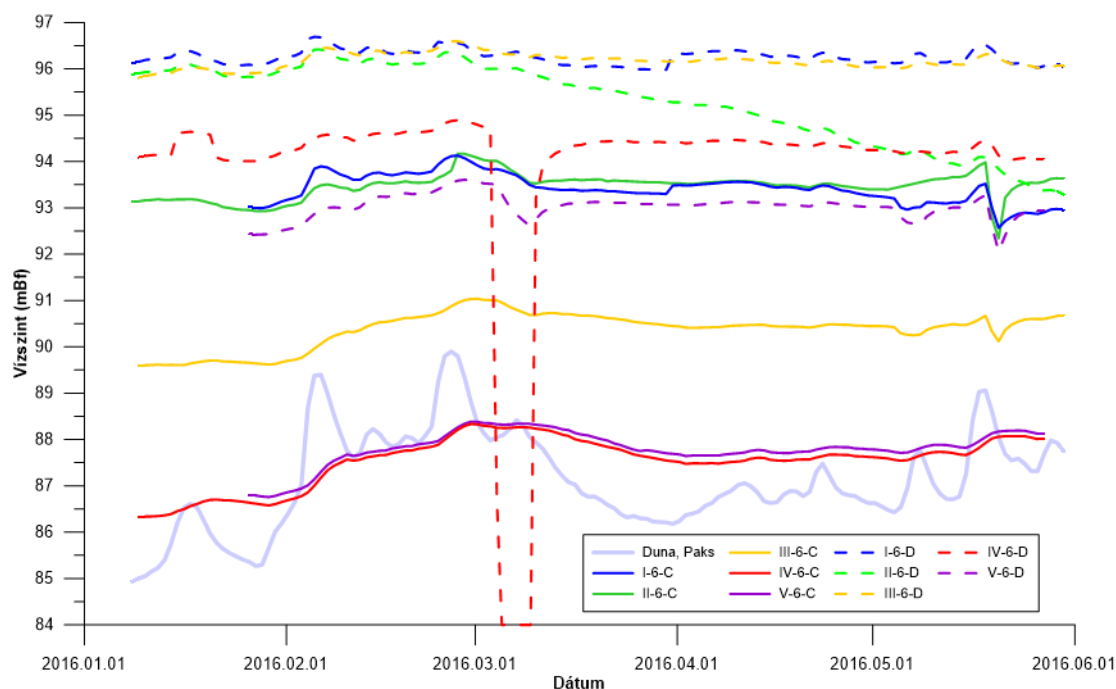
5.5.3.1.4-6. ábra: A talajvíz és a Duna közötti korrelációs együttható alakulása a talajvízkutak vízfolyástól való távolságának függvényében

5.5.3.2. A rétegvíz tároló nyomásszintje

A rétegvizek hidraulikus potenciálszintje (nyomásszintje) a telephely É-i 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 D-i részén, kb. a IV. szelvényben elhelyezkedő geotechnikai fúrások (TBJ II. [5.4. fejezet](#)) vonalától D-i 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 a 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 TBJ II. [5.5.3.2-1. ábra](#) mutatja be a 6. pozíciójú kutakra illesztett, közel É–D-i irányú szelvény mentén.

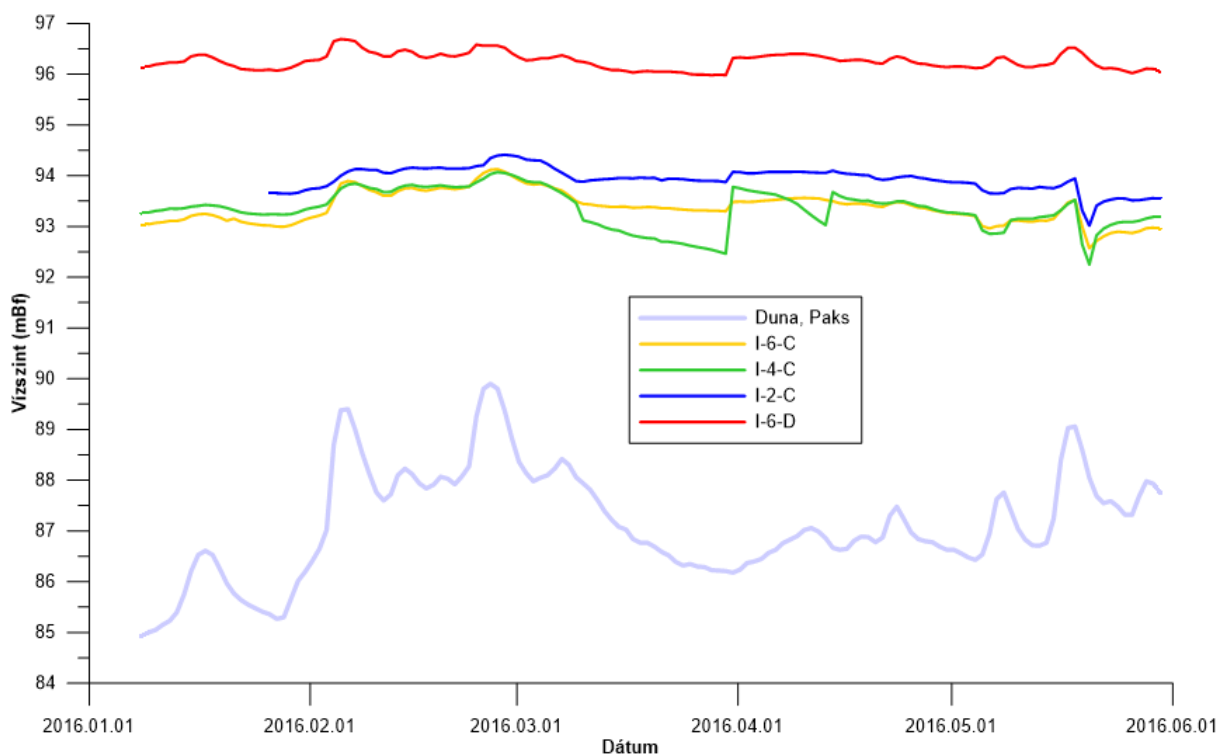
A 100 méter mély D-jelű kutak vízszintje hasonló jellegzetességeket mutat (TBJ II. [5.5.3.2-1. ábra](#)). Az I-6-D, II-6-D és III-6-D kutak vízszintje a vizsgált időszak (2016.01.08–2016.05.30.) kezdetén szinte együtt mozog, 96–97 mBf közötti potenciálszintekkel, majd 2016.03.01. után a II-6-D kút potenciálszintje 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.



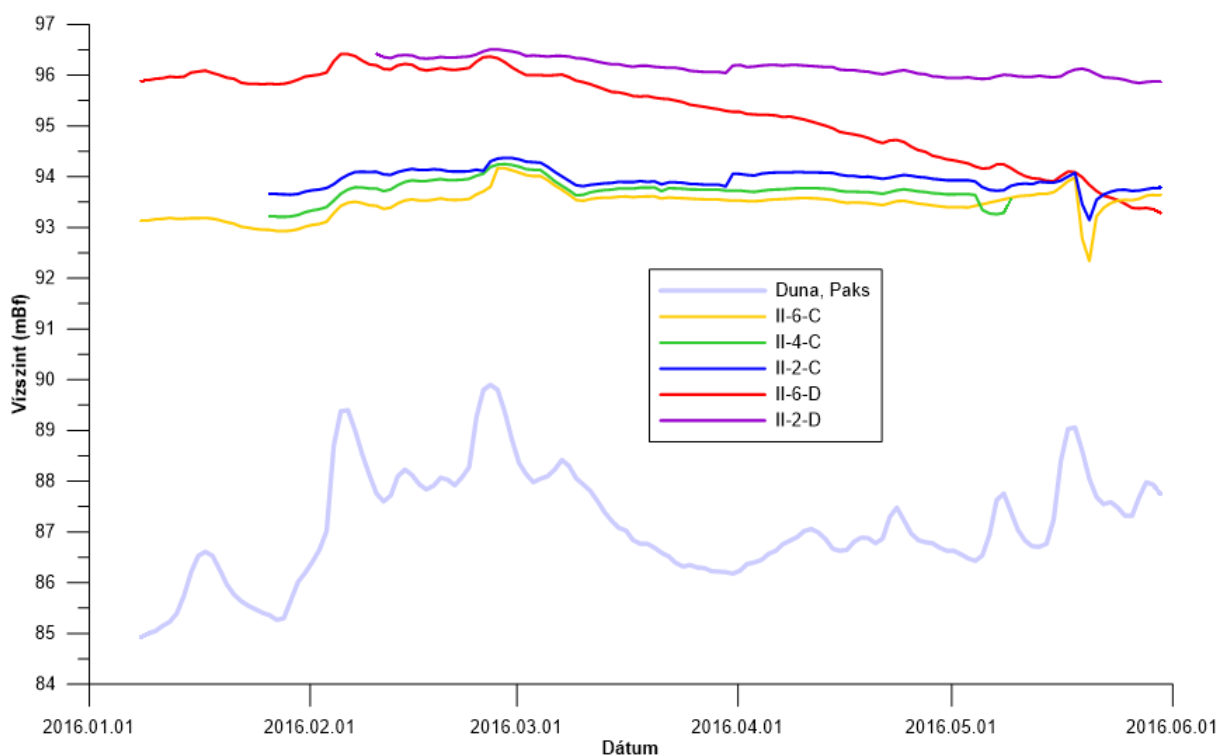
5.5.3.2-1. ábra: Rétegvízszintek időbeli alakulása egy É–D irányú szelvény mentén elhelyezkedő figyelőkutakban

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.

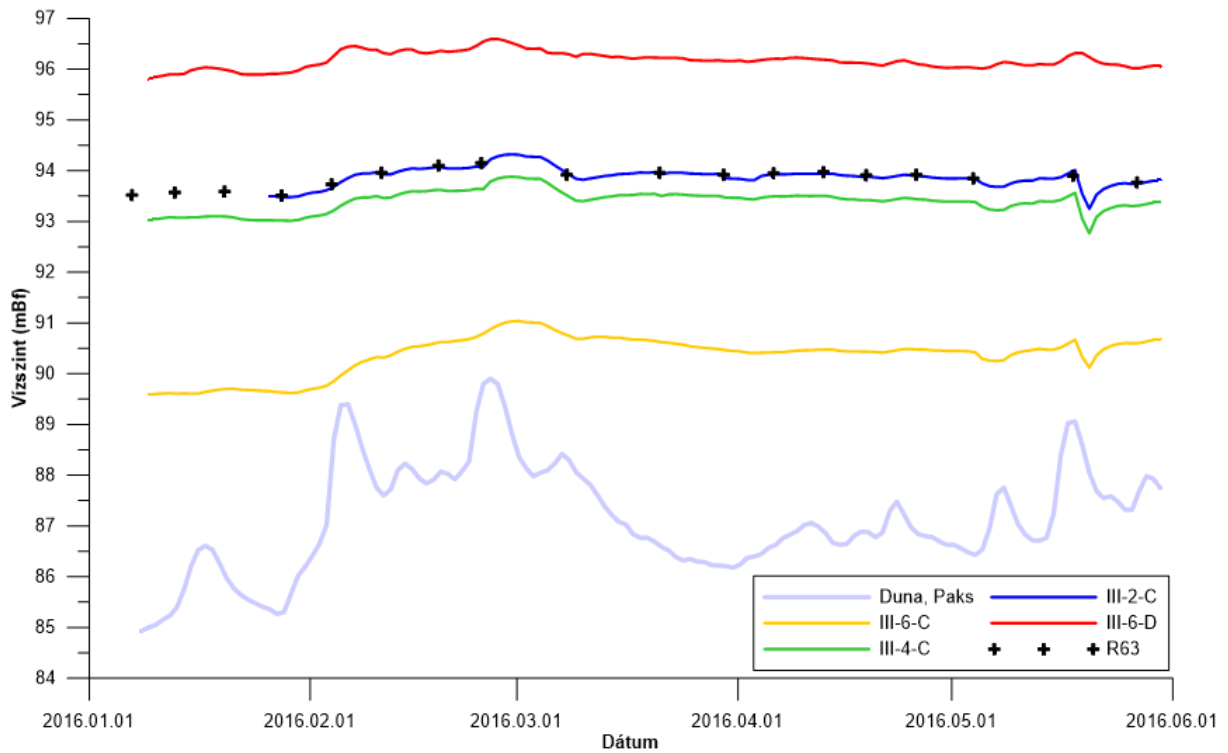
Az elmondottak jól követhetők az I–V. szelvényekben elhelyezkedő fúrásokban mért potenciál-idősorokon is ([5.5.3.2-2-6. ábra](#)).



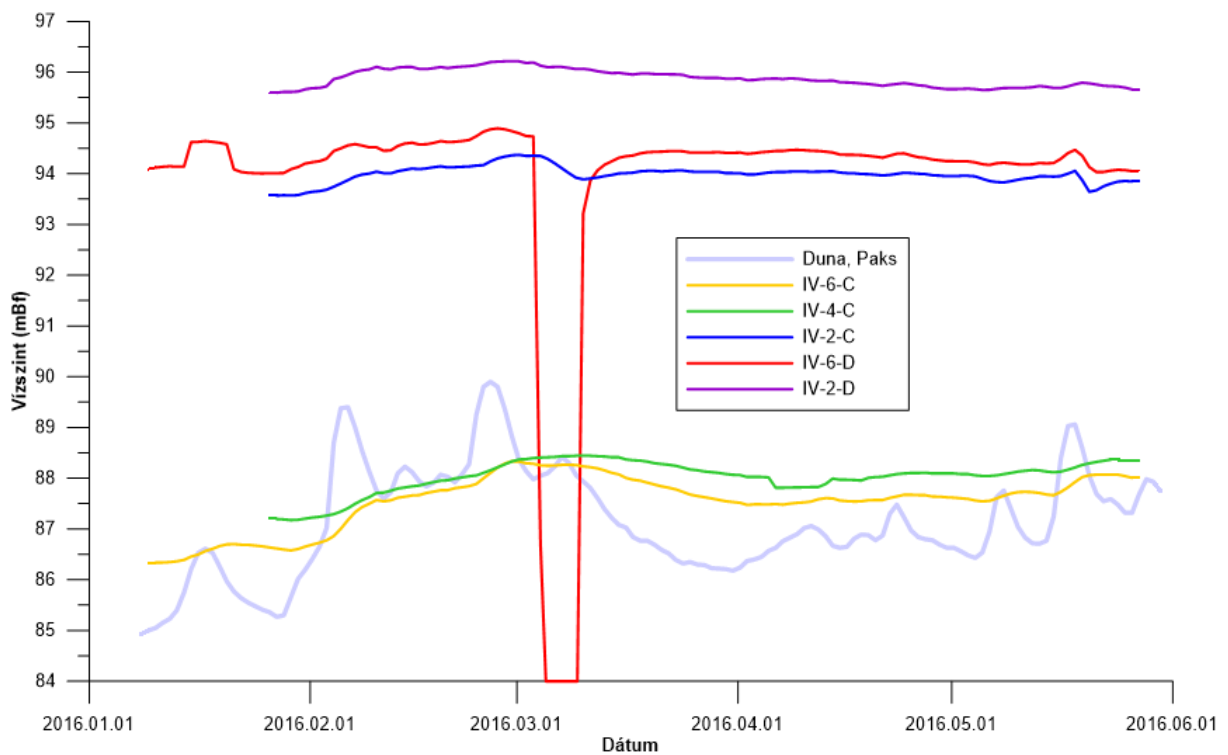
5.5.3.2-2. ábra: Rétegvízszintek az I. szelvényben



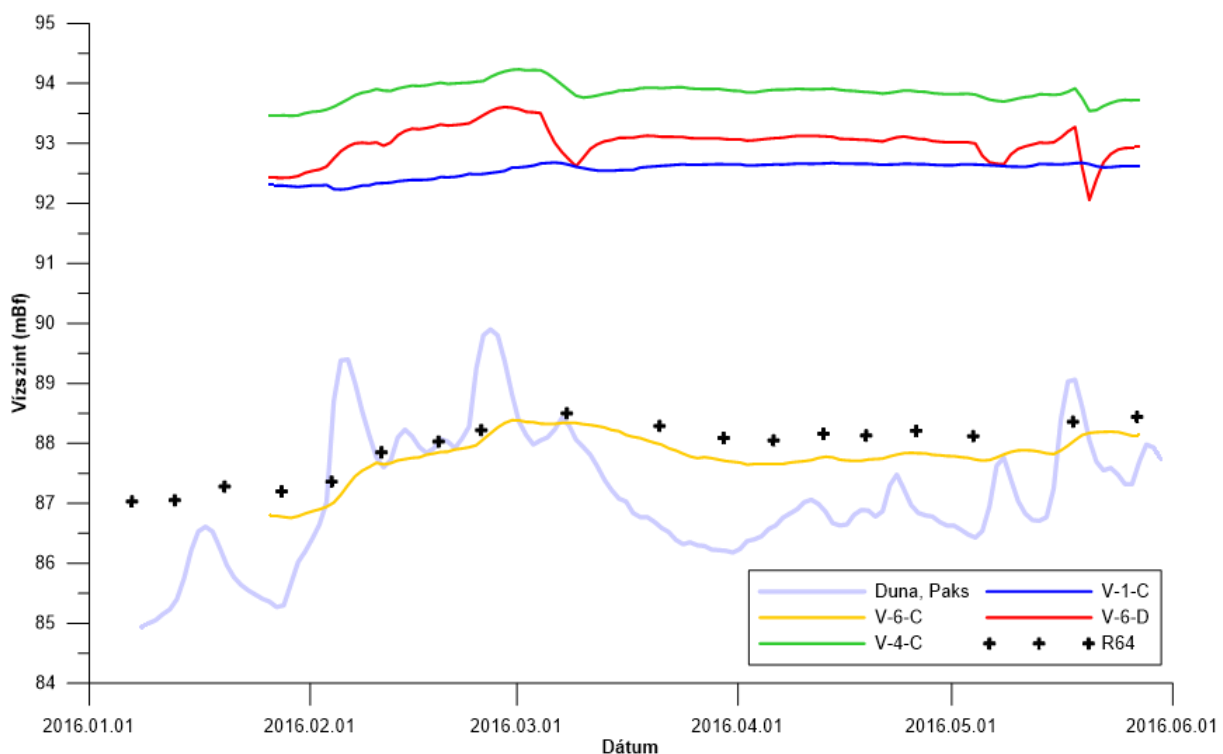
5.5.3.2-3. ábra: Rétegvízszintek a II. szelvényben



5.5.3.2-4. ábra: Rétegvízszintek a III. szelvényben



5.5.3.2-5. ábra: Rétegvízszintek a IV. szelvényben

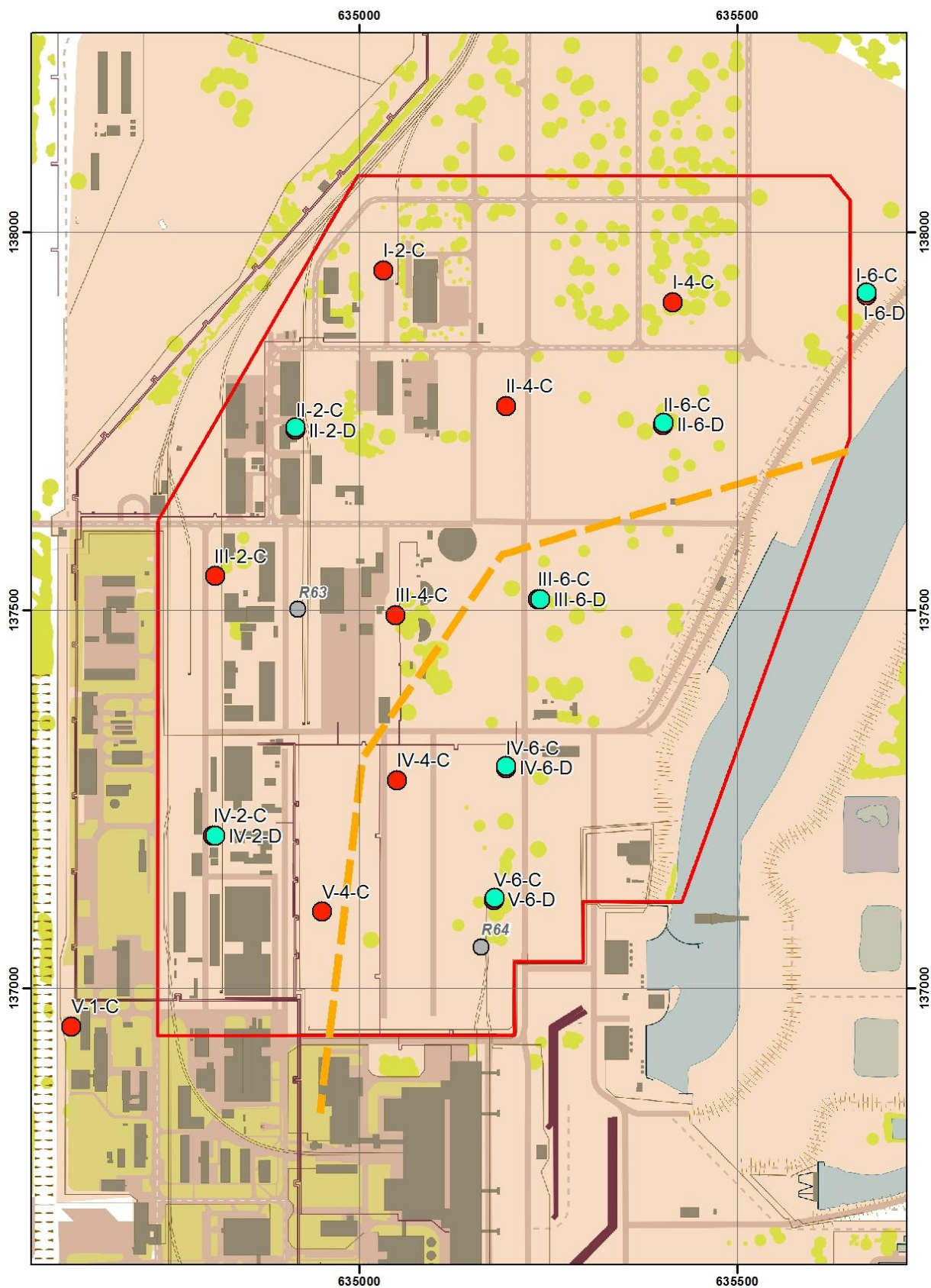


5.5.3.2-6. ábra: Rétegvízszintek az V. szelvényben

A rétegvízszintek térbeli alakulása alapján az alábbi lehetőségek valószínűsíthetők:

- A telephely DK-i részén jobb vízvezető képességű felső-pannoniai rétegek érintkeznek a negyedidőszaki terasz kavicsal, a felső-pannon vízrekesztő réteggöszlet 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 méter mélységű fúrás. Ezt a lehetőséget támasztja alá az [5-77], illetve az [5-78] című jelentés is.
- A telephely alatt húzódó Dunaszentgyörgy-Harta vetőzónának a felső-pannon 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 hidegvíz-csatorna megcsapoló hatása a felső-pannon rétegek felső szakaszán is érvényesül.
- A felső-pannon 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-pannon 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 [5-78] is utalt. A TBJ II. 5.5.3.2-7. ábra bemutatja a telephelyvizsgálat keretében létesített telephelyi rétegvízfigyelő kutak helyszínrajzát. Az ábrán narancssárga színnel van feltüntetve az a vonal, amelytől DK-re eső területen lévő fúrásokban mért rétegvízszintek (mind az 50, mind a 100 méter mélységű kutakban) lényegesen alacsonyabbak, mint az e vonaltól ÉNy-ra eső fúrások vízszintjei, azaz az előzőekben tárgyalt „hidraulikai ablak” e vonaltól DK-re jelenik meg.



5.5.3.2-7. ábra: A telephelyi rétegvízfigyelő kutak helyszínrajza

5.5.4. A földtani képződmények vízkémiai jellemzői

A paksi telephely és térségének talajvizei az üzemelő blokkok építését megelőző időszakban az ekkor készült nagyszámú talajmechanikai feltárás során vett vízmintákból, illetve a kifejezetten a talajvíz megfigyelésére létesített figyelőkutak vizsgálatából ismertek [5-64].

A rétegvizek minősége a Csámpai Vízmű kútjainak vizsgálataiból volt ismert. Ezek a kutak a felső-pannon korú formációk 50-200 m-es mélységintervallumának homokos rétegeiből nyerték vizüket.

5.5.4.1. Az óholocén – felső-pleisztocén homokos kavicsos vízadók talajvízminősége

Az üzemelő blokkok létesítése idején, a talajmechanikai fúrásokból nyert vízminták vizsgálatai alapján, a talajvíz minősége még nagyvonalakban egységes volt. A TBJ II. [5.5.4.1-1. táblázat](#) a vízkémiai vizsgálatok eredményeit mutatja [5-64]:

5.5.4.1-1. táblázat: Archív talajvízkémiai eredmények az üzemelő blokkok területén

Komponensek	Szélső értékek	Jellemző átlagos értékek
pH	7,0 – 8,01	7,5 – 7,9
összes oldott anyag (mg/l)	270 – 926	300 – 400
összes keménység (nk^o)	11,8 – 43,2	15 – 25
nátrium (mg/l)	0 – 104	
kálium (mg/l)	0 – 19	
kalcium (mg/l)	55,7 – 145,3	
vas (mg/l)	0,17 – 10	0,5 – 1,0
mangán (mg/l)	0,3 – 1,9	0,3 – 0,8
ammónium (mg/l)	0 – 14	0,1 – 0,3
nitrát (mg/l)	0 – 125	
klorid (mg/l)	3,2 – 70	20 – 30
szulfát (mg/l)	10 – 400	100 – 150
hidrogénkarbonát (mg/l)	229,9 – 495	
szabad CO₂ (mg/l)	20 – 108	40
oldott oxigén (mg/l)	0 – 2,5	

5.5.4.2. A felső-pannon rétegvizek minősége

A rétegvizek minősége a Csámpai Vízmű egykori vízminőség vizsgálataiból ismerhető. A Csámpa-64. kataszteri számú kutat 50-76 m-es mélységközben szűrőzték, a kitermelt víz alacsony oldott anyag tartalmú magnézium-kalcium-hidrogénkarbonátos típusú volt.

A Csámpa-65. kataszteri számú vízműkút a 149-211 m-es mélységköz rétegvizeit termelte, a víz magasabb oldott anyag tartalmú nátrium-hidrogénkarbonátos típusú volt. A TBJ II. [5.5.4.2-1. táblázatban](#) a kutak vízminőség adatai láthatók [5-64].

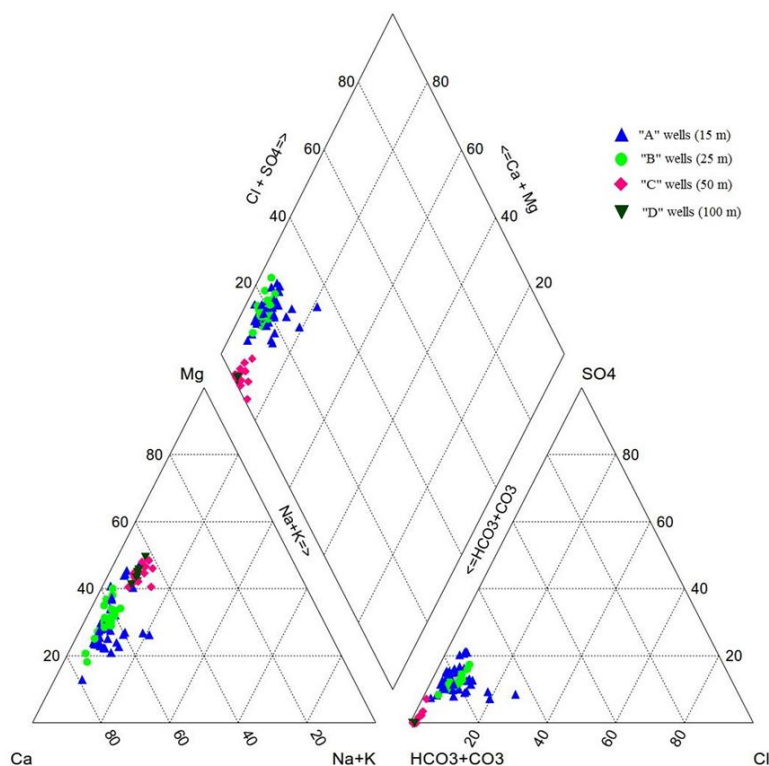
A pannon rétegvizek kora trícium és C¹⁴ izotópvizsgálatok alapján kb. 6 000 évre tehető.

5.5.4.2-1. táblázat: Archív rétegvízkeimiai eredmények az üzemelő blokkok területén

Komponensek	Csámpa-64. Kút	Csámpa-65. Kút
pH	7,8	7,9
kalcium (mg/l)	5,71	28,6
magnézium (mg/l)	60,8	10,9
vas (mg/l)	1,58	5,7
mangán (mg/l)		0,15
nitrát (mg/l)	nyom	0,0
klorid (mg/l)	15,5	188,5
szulfát (mg/l)	nyom	0,0
hidrogénkarbonát (mg/l)	164,7	720
szabad CO ₂ (mg/l)	8,31	0,0
oldott oxigén (mg/l)	0,0	2,01

5.5.4.3. A telephelyvizsgálat keretében elvégzett vízkémia vizsgálatok eredményei

A telephelyen fúrt talaj- és rétegvízutakból vett vízminták elemzése azt mutatja, hogy kismértékű, de jól észrevehető különbség mutatkozik a talaj- ill. sekélyrétegvizek kémiai jellege között. Az eredményeket a TBJ II. [5.5.4.3-1. ábra](#) mutatja be. Látható, hogy a rétegvízben a Mg aránya megemelkedik a talajvízhez képest, habár mindkét víztípus a Ca-Mg-hidrogénkarbonátos típusba sorolható.



5.5.4.3-1. ábra: A telephelyi kutakból vett vízminták vízkémia jellege Piper-diagramon bemutatva

5.5.5. A felszín alatti vízrendszer kapcsolata az atmoszférával

A talajvízrendszer utánpótlása részben a beszivárgó csapadékból, részben a feláramlási területeken a rétegvizekből felfelé áramló felszín alatti vízből történik. A Duna hidrodinamikai hatásterületén kívül a talajvízszintekre a beszivárgás változása jelentős hatással van, ezért a vízháztartási mérlegegyenletek fontos tagja a beszivárgás, mely a talaj telített zónáját is eléri. Mennyiségét a talaj vastagsága és fizikai tulajdonságai, a kőzet anyaga, a felszínborítottság, és a növények evapotranszpirációja befolyásolják.

Magyarország Vízyűjtő-gazdálkodási Terve a felszín alatti vizek mennyiségi állapotának értékelése témában ismerteti a felszín alatti vizek utánpótlódásának mértékét [5-68]. A csapadékból származó közvetlen beszivárgás mennyiségét a NATÉR projekt keretében HELP modellezés eredménye alapján határozták meg [5-69]. A telephely a Sárvíz, Sió-vízgyűjtőn helyezkedik el, a csapadékból származó átlagos beszivárgás 65mm/év.

5.5.6. Felszín alatti vízkészletek használata

A vizsgált területen a negyedidőszaki homokos-kavicsos komplexumból kitermelt felszín alatti vizet döntően a közüzemi vízellátás kielégítésére használják. A közüzemi vízellátás mellett egyedi kutas vízhasználattal a talajvizet öntözésre, állattartó telepek vízellátására, ipari vízellátásra és egyéb gazdasági célokra is használják. A TBJ II. [5.5.6-1. ábra](#) a VGT nyilvántartásban szereplő negyedidőszaki homokos-kavicsos komplexumra telepített vízműveket mutatja be, a vízbázisok 123/1997 (VII.18) Kormányrendelet alapján kijelölt hidrogeológia védőterületével.

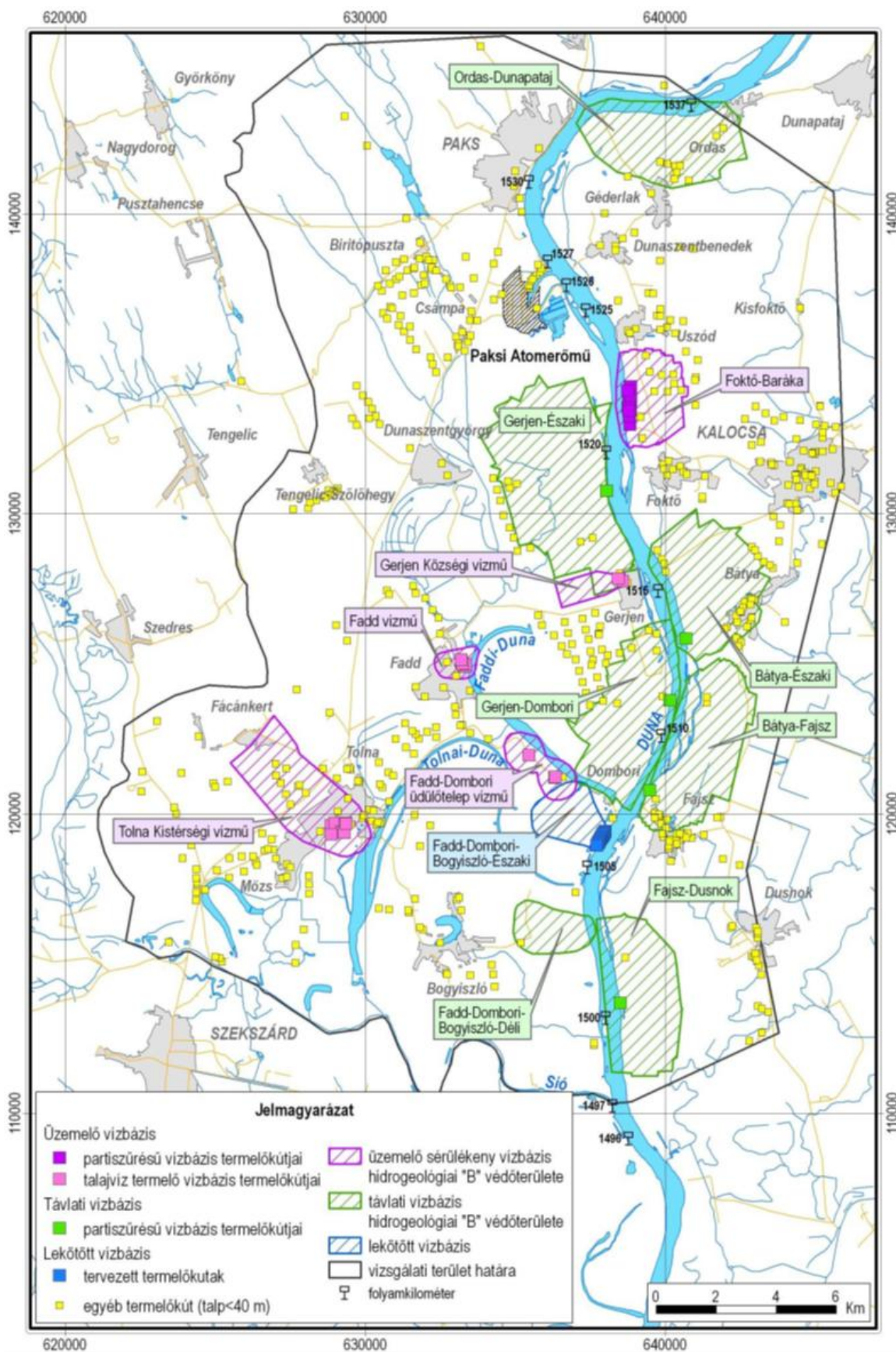
Az új blokkok Dunán terjedő közvetett anyag és hőtranszport hatása potenciálisan a Duna mellett található partiszűrős vízbázisokat érintheti.

Üzemelő partiszűrős vízbázis a vizsgált területen csak egy van, a Duna bal partján az 1522,2-1521,1 fkm közötti szakaszon található, Kalocsa vízellátását biztosító Foktó-Barákai (Kalocsa-Barákai) vízbázis (TBJ II. [5.5.6-1. táblázat](#)).

5.5.6-1. táblázat: Foktó-Barákai vízbázis adatai

Engedélyezett víztermelés	6 850	m ³ /d
Mértékadó kapacitás	16 500	m ³ /d
Kutak száma	11 db	termelő kút
	6 db	üzemelő kút
	24 db	figyelő kút
Kutak talpmélysége	19,3–40,0 m	
Szűrőzés	10,1–22,0 m	sekély kutakban
	20,0–39,5 m	mélyebb kutakban

A telephely környezetéhez tartozik a Csámpai vízmű, mely az üzemelő blokkok ivóvíz ellátását biztosítja. A vízbázis pannon homokrétegre telepített rétegvíz kútjainak diagnosztikai és biztonságba helyezési vizsgálatait 2006-2007 között végezték el. A jelenlegi állapot szerint 4 termelő és 3 tartalék kút alkotja a vízkitermelő és megfigyelő rendszert. A termelő kutak összhozama 800 m³/nap. A kutak adatait a TBJ II. [5.5.6-2. táblázat](#) tartalmazza.



5.5.6-1. ábra: Az első vízadóban tárolt talajvízre telepített vibázisok

5.5.6-2. táblázat: Csámpai vízmű telep kutak adatai

Csámpa 1., 2., 3. vízmű-telep					
Kút száma	EOV X	EOV Y	Kút mélysége m	Kitermelhető vízhozam l/perc	Szűrőzöttség m-m
I/1. sz.	137785,43	632753,61	117	200	77,1–91,5 98,8–107,4
I/3. sz.	137840,97	632718,93	76	200	63,3–69,7
I/7. sz.	137825,38	632722,28	117	500	58,0–69,0 78,0–93,0 68,0–107,0
II/2. sz.	137201,25	632204,16	142	1200	76,1–91,6 101,4–107,2 117,6–136,6
II/6. sz.	137227,84	632417,43	154	900	77,0–89,0 92,5–103,5 111,0–125,0 129,0–146,0
8. sz.	136511,53	632570,97	129	870	68–80,7; 85,1–93,7; 96,3–118,8
9. sz.	136293,03	632277,22	125	870	86,8–93; 98,6–108,6

5.5.7. A felszín alatti vizek mennyiségi és minőségi állapotát ellenőrző monitoring rendszer

A területen többféle, a talajvízrendszer megfigyelésre alkalmas, egymást kiegészítő monitoring rendszer működik:

- MVM Paksi Atomerőmű Zrt. telephelyén belül elhelyezkedő monitoring rendszer;
- MVM Paksi Atomerőmű Zrt. Duna menti felszín alatti vizek környezetvédelmi monitoring rendszere;
- Vízügyi Igazgatóságok által üzemeltetett törzshálózati és egyéb figyelőkutak;
- Vízművek által üzemeltetett vízbázisok figyelőkútjai.

Az atomerőmű Duna menti felszín alatti vizek környezetvédelmi monitoring rendszere műszaki paramétereit a TBJ II. [5.5.7-1. táblázat](#) tartalmazza. A monitoring rendszer a hűtővíz visszavezetés felszín alatti vizekre gyakorolt hatását vizsgálja. A hullámtéren telepített horizontális vagy vertikális mederszondák és figyelőkutak nyomás, hőmérséklet és vezetőképesség adatokat szolgáltatnak.

A vizsgált területen a Vízügyi Igazgatóságok (Közép-dunántúli, Alsó-Duna-völgyi) által üzemeltetett törzshálózati és egyéb, pl. a vízbázisok diagnosztikai vizsgálata során készült figyelőkutak is vannak.

A TBJ II. [5.5.7-2. táblázat](#) ismerteti a monitoring kutak legfontosabb adatait, és a vizsgált 2 évi időszakra (2012–2013) mért jellemző értékeket, valamint a kutak Dunától mért távolságát, amely a távolhatások vizsgálatánál fontos paraméter.

5.5.7-1. táblázat: PAE 1-4 blokk Duna menti felszín alatti vizek monitoring rendszere műszaki adatai

Létesítmény neve	Szelvény			Típus	Terep	Kút talp
	száma	neve	Dunai fkm		mBf	m
PK1_HMSz	1	Paks É -- Hidegvíz	1529,5	Horizontális meder szonda	91,50	
27-F	1	Paks É -- Hidegvíz	1529,5	Figyelőkút	91,80	21,5
PK2/1_HMSz	2	Paks D -- Melegvíz	1526,0	Horizontális meder szonda	89,10	
PK2/2_HMSz	2	Paks D -- Melegvíz	1526,0	Horizontális meder szonda	89,10	
PK2/3_HMSz	2	Paks D -- Melegvíz	1526,0	Horizontális meder szonda	87,35	5,0
Pk62a_F	2	Paks D -- Melegvíz	1526,0	Figyelőkút	93,00	
KB1_VMSz	3B	Kalocsa_Baráka	1521,6	Vertikális mederszonda	88,40	15,0
KB2_VMSz	3B	Kalocsa_Baráka	1521,6	Vertikális mederszonda	88,90	26,0
KB11_F	3B	Kalocsa_Baráka	1521,6	Figyelőkút	91,80	30,0
KB12_F	3B	Kalocsa_Baráka	1521,6	Figyelőkút	91,74	20,0
KB13_F	3B	Kalocsa_Baráka	1521,6	Figyelőkút	91,97	19,0
ZS1_VMSz	3J	Zsidó zátony	1520,0	Vertikális mederszonda	86,41	9,6
ZS2_F	3J	Zsidó zátony	1520,0	Figyelőkút	92,58	30,0
GR1_VMSz	4	Gerjen	1512,2	Vertikális mederszonda	89,80	15,0
GR2_VMSz	4	Gerjen	1512,2	Vertikális mederszonda	89,82	30,0
GR3_F	4	Gerjen	1512,2	Figyelőkút	91,32	30,0
SIE1_VMSz	5É	Sió_Észak	1497,0	Vertikális mederszonda	88,97	15,0
SIE2_VMSz	5É	Sió_Észak	1497,0	Vertikális mederszonda	89,12	30,0
SID1_VMSz	5D	Sió_Dél	1496,0	Vertikális mederszonda	90,37	15,0
SID2_VMSz	5D	Sió_Dél	1496,0	Vertikális mederszonda	90,37	30,0
BA1_VMSz	6	Baja	1481,6	Vertikális mederszonda	85,20	28,5

5.5.7-2. táblázat: Vízügyi igazgatóságok által üzemeltetett figyelőkutak

Törzs szám	Figyelőkút helyi neve	Csóperem	Kút-mélység	2012–2013. évi jellemző szintek			Duna távolság
				KV	KÖV	NV	
				mBf	m	mBf	mBf
132051	Északi Vízbázis I/f-1.	91,40	40,0	85,28	86,47	88,63	373
132053	Bátya É. vízbázis II/f-1	90,78	40,5	86,19	86,92	88,68	1208
132054	Bátya É. vízbázis II/f-2	90,71	20,5	86,21	86,94	88,66	1212
132055	Bátya É. vízbázis III/f-1	91,05	40,0	86,69	87,24	88,34	1962
3974	Bátya É. vízbázis III/f-2	91,08	20,0	86,70	87,26	88,37	1964

Törzs szám	Figyelőkút helyi neve	Csőperem	Kút- mélység	2012–2013. évi jellemző szintek			Duna távolság
				KV	KÖV	NV	
				mBf	mBf	mBf	
		mBf	m	mBf	mBf	mBf	m
132057	Északi Vízbázis IV/f-2	92,90	20,5	84,89	86,46	89,23	86
132059	Északi Vízbázis V/f-2	92,62	20,5	85,21	86,49	91,12	402
1419	Bátya-1419	91,47	9,16	86,62	87,21	88,51	2283
132084	Dunapataj-Ordas távlati vb. 2.sz. kút K-87	95,61		87,55	88,39	90,00	451
645	Dunaszentgyörgy-645	92,94	6,8	89,48	90,05	90,59	5692
132103	Fajsz-Dusnok távlati vb. 3/f-1.sz.kút K-33	90,34	30,0	85,25	86,02	88,07	1082
132119	Fajsz-Dusnok vízvb. 5/f-1	90,56	30,0	85,62	86,25	87,57	1823
1422	Dusnok-1422	90,35	5,5	86,86	87,43	88,49	4867
147038	Duna jobbpart kutatás F- 4	90,49	19,0	84,23	84,56	85,10	2405
147040	Duna jobbpart kutatás F- 6	90,83	20,0	86,00	86,62	87,62	1503
132130	Fajsz-Dusnok távl.vb. 3SZF/2	90,52	10,0	85,65	86,40	88,48	1240
132160	Bátya-Fajsz vízbázis 1F/f2	90,73	15,0	85,15	86,20	88,00	572
132161	Bátya-Fajsz vízbázis 2F/f1	90,16	30,0	85,73	86,56	88,83	1079
132163	Bátya-Fajsz vízbázis 3F/f1	90,57	30,0	85,36	86,31	88,04	703
132165	Bátya-Fajsz vízbázis 4F/f1	90,99	30,0	85,86	86,65	88,82	1202
132166	Bátya-Fajsz vízbázis 4F/f2	91,00	15,0	85,87	86,66	88,82	1202
132097	Dunapataj-Ordas vízbázis. 6/f-1	91,05	19,5	88,03	88,34	88,63	2011
2988	Kalocsa-2988	91,18	7,7	88,15	88,83	90,72	6705
132089	Dunapataj-Ordas Vb. 3/f- 2.	93,14	15,0	86,58	87,73	89,46	280
132095	Dunapataj-Ordas Vízbázis 5/f-1	92,96	21,0	87,60	88,10	89,07	1002
132096	Dunapataj-Ordas Vízbázis 5/f-2	92,95	15,0	87,60	88,10	89,05	1005
647	Paks-647	127,30	6,2	124,15	125,20	125,93	1705
643	Pusztahencse-643	136,20	5,6	132,61	132,86	133,07	7589

5.6. A telephely alkalmasságának értékelése

A Földtani Kutatási Program eredményei alapján a következő megállapítások tehetők:

1. Az elkészült 3D földtani-tektonikai modell részletesen és minden eddiginél pontosabban határozza meg a terület mélyföldtani viszonyait, a szerkezeti elemek természetét, lefutását, működésük idejét, módját, s összefoglalja a földtani térképezési eredményeket.
2. Elkészült a tervezett telephely szűkebb és tágabb környezetének földtani és geomorfológiai térképe, amelynek magyarázója tartalmazza a terület összes felszíni és felszínközeli földtani képződményének jellemzését. A földtani-geomorfológiai térképezés eredményeként megállapítható, hogy a felszínen nem láthatók fiatal szerkezeti elmozdulások nyomai. Ugyanakkor a fiatal üledékekben felismert szeizmitik és szeizmotektonikus szerkezetek vizsgálata hozzásegített a terület paleoszeizmicitásának megértéséhez.
3. A fúrási rétegsorokból nyert információk pontosították az alaphegységre, a miocén, a pannóniai és a kvarter képződmények elterjedésére, rétegtani, ásvány-kőzettani viszonyaira vonatkozó ismereteket. Új, jelentős elterjedésű és vastagságú kifejlődését tárták fel a dél-dunántúli miocén vulkanitoknak, amellyel a medencefejlődés korai időszakában lezajlott intenzív szerkezeti mozgások jellegéről új információkat kaptunk. A fúrásokban észlelt szerkezeti jelenségek közvetlen ismereteket adnak a szerkezeti zónák elemeinek tulajdonságairól.
4. A felszíni és a mélyfúrás geofizika, valamint a fúrások földtani eredményei alapján megbízhatóan definiálni lehetett az 50 km-es körzetben található vetős szerkezeteket, különös pontossággal a tervezett telephely alatt húzódó, és a Kapos-vonalból kiágazó Dunaszentgyörgy-Harta (DH) vetőt. A szerkezeti jegyek (másodlagos törések) analízise alapján megállapítható, hogy a neotektonikus stílus alapvetően balos oldalelmozdulás, amihez helyenként transztenziós és transzpressziós elemek kapcsolódnak. Az is kétségtelenül kijelenthető, hogy a fővető (master fault) menti teljes elmozdulás nem nagy, a 10–100 méteres nagyságrendben van.
5. A neotektonikus aktivitás mintegy 7–8 millió éve megkezdődött, és az utóbbi 5 millió év (pliocén-kvarter) során kulminálódott. A nagyfelbontású sekélygeofizikai vizsgálatok, a speciális fúrások (Pa 21 A-G4) és az árkolások alapján egyértelmű, hogy a DH vetőt aktív szerkezetnek kell tekinteni. Az elmozdulás nagyságrendjét és az aktivitás időtartamát figyelembe véve a vetős elmozdulásra maximum 0,1 mm/év értékű átlagos sebességet lehet számítani.
6. A terület földrengés tevékenységét vizsgálva látható, hogy a paksi telephely 50 km-es környezetében gyakorlatilag nincs a műszeres és historikus rengések katalógusában szereplő érdemleges szeizmikus esemény, a terület szeizmicitása határozottan alacsonyabb az országos átlagnál. A földrengésveszély számításához szükséges szeizmikus forrászónák definiálása során azonban a legindokoltabbnak ítéltető SHARE modell szerint a paksi terület egy nagyobb dél-dunántúli és –alföldi zónához tartozik, amelyben a kecskeméti aktív terület is elhelyezkedik. Mivel ez a terület szerkezeti kapcsolatban áll a DH vetővel, modellként szolgál arra vonatkozóan, hogy hosszabb időintervallum során milyen szeizmikus eseményekkel kell számolni a paksi területen. A pontos valószínűségi alapú elemzés azt mutatja, hogy az alapközeten 10^{-5} éves gyakoriság mellett a maximális talajgyorsulás (PGA) értéke 0,49g, ami a felszínen 0,34g értékre csökken a laza réteg csillapításának hatására.
7. Ezt a komoly mértékű gyorsulást a deaggregációs analízis szerint csak olyan földrengés idézheti elő, amelyik a telephely 5–20 km-nél nem távolabbi környezetében pattan ki és magnitúdója 5,5-6,0 között van. Értelemszerűen ilyen méretű földrengés a megismert vetők mélyebb tartományaihoz fog kapcsolódni, hiszen ezek a töréses deformációk tapasztalt

- helyei. A tapasztalatok azt mutatják, hogy $M_w \leq 6$ esetén egy 8-12 km mélyben keletkező földrengés nem tud felszínig hatoló szakadási síkot generálni. Ez azt jelenti, hogy a vetőtevékenység aktív minősítése összhangban van a szeizmológiai veszélyeztetettség analízis eredményével, de egyúttal arra is mutat, hogy elhanyagolható a veszélye felszínig hatoló törési síkok kialakulásának.
8. A területen végzett direkt és indirekt feszültség-meghatározások azt mutatják, hogy a minimális és a maximális főfeszültségek (S_h és S_H) a horizontális síkban vannak, és S_H azimutja kb. 27-30°, ami jól egyezik a korábbi mérésekből levezetett regionális térrel és a szerkezeti megfigyelések alapján megismert balos oldalelmozdulásos tektonikával. Az új módszerrel meghatározott fészekmechanizmus megoldásokat tekintve megállapítható, hogy a teljes szeizmogén kéregre ez a tektonikai stílus és feszültségtér jellemző.
 9. Geodinamikai modellezések azt mutatják, hogy a Kapos-vonal, a Bonyhádi-medencéhez kapcsolódó törésrendszer, valamint a DH vető tektonikai stabilitása alacsony ebben a feszültségtérben, különösen akkor, ha a vetők zúzott zónájában folyadékáramlás van. Ha a pórusnyomás hidrosztatikus vagy annál nagyobb, akkor a vetők menti súrlódási tényező lecsökken, és az elmozdulás könnyen megtörténik. A „puha” vetők az aktivitás kedvező körülményeit teremtik meg, azonban nem tesznek lehetővé nagy feszültségakkumulációt. Ez ismételten a paksi terület vetőinek potenciális aktivitását és a kapabilitás hiányát támasztja alá, különösen annak fényében, hogy a regionális vízáramlási modellezés, a vízkémiai adatok és a héliumizotóp-arányok [5-79] bizonyítják mélységi vizek feláramlását a DH vető mentén.
 10. Az ürgeodéziai vizsgálati módszerekkel az utóbbi 20-25 évre kapott adatok feldolgozásának eredményei kétségbevonhatatlan evidenciáját adják, hogy a vizsgálati területen nincsenek 0,1 mm/év sebességet meghaladó horizontális elmozdulások. A megfigyelt vertikális felszínmozgások valamivel nagyobbak, de ezek semmiféle korrelációt nem mutatnak a szerkezeti elemekkel, azaz alapvetően kompakciós és/vagy technogén eredetűek.
 11. Helyszíni és laboratóriumi geotechnikai vizsgálatokkal meghatározták a tervezett telephelyen a felső-pannoniai és negyedidőszaki rétegek elhelyezkedését, a rétegek talajait. A legfontosabb megállapítások a következők:
 - Az átlagosan 5,7 méter feltöltés alatt található negyedidőszaki üledékek szemcseátmérője, teherbírása és vízvezető képessége a mélységgel növekszik (futóhomok, öntéshomok, kavicssterasz).
 - A rétegződés bemutatása, az egyes rétegek talajjellemzőinek megállapítása részletes statisztikai elemzésen nyugszik, meghatározva az egyes rétegekre a legfontosabb azonosítási-, állapot- és talajfizikai-jellemzőket.
 - Az előterhelt pannon rétegek alapvetően tömörek, jó teherbírási tulajdonságokkal rendelkeznek.
 - Vannak a helyszínen a talajvízszint alatt olyan üledékek, elsősorban az öntéshomok rétegben, melyek földrengés hatására képesek megfolyósodni. A tervezett telephelyen a lehetséges egyéb geotechnikai veszélyeket (feltöltés, szerves szennyezettségű, duzzadásra-zsugorodásra hajlamos talajok) is elemezték. Megállapították, hogy nincsen olyan talajmechanikai veszélyforrás, amelyik elfogadott geotechnikai módszerekkel ne lehetne kezelhető.
 12. A vizsgálati és értékelési eredmények alapján rögzíthető, hogy az új blokkok alapozása szempontjából több kedvező réteg van a vizsgált területen, melyek közül a legmegfelelőbb a telephelyen mindenhol megtalálható kavicssterasz (durva homok, kavicsos homok, homokos kavics). Az alapozás, a munkagödör-megtámasztás és a munkagödör-víztelenítés tervezésének geotechnikai akadálya nincs.

13. A regionális vízföldtani vizsgálatok alapján a terület felszín alatti áramlási rendszere összetett. A gravitációs áramlási rendszerben különböző hosszúságú – lokális, intermedier és regionális – áramlási pályák alakultak ki.
14. Ettől határozottan elkülönül egy alsó, túlnyomásos rendszer. A túlnyomást alapvetően a kompakció, a tektonikus kompresszió és az aquatermális hatás alakíthatja ki.
15. A regionális vízföldtani vizsgálati területen az effektív beszivárgás mértékét modellezéssel határozták meg. A fő, jelentősen pozitív beszivárgási mérleggel bíró részterületek (50 mm/év felett) egyértelműen a kiemeltebb, dombvidéki térszínnekhez kapcsolódnak, melyek elsősorban a Dunától nyugatra figyelhetőek meg. Negatív beszivárgási mérleggel bírnak az alacsonyabb térszínen elhelyezkedő területek, amelyek közül kiemelkedik az alföldi részt uraló szikes tavak körzete.
16. A 3D földtani modell szerint feltételezhető, hogy az ÉK–DNy-i csapású vetőzónák hidrodinamikailag aktívak, míg a feszültségtérre közel merőleges csapású vetők, vízáró vetőként értelmezhetők.
17. A tervezett telephelyen a talajvíz és a felszíni vizek (a Duna és a hidegvíz-csatorna) közötti kapcsolat a felszíni víz partételtől számított 150–200 méter távolságig tekinthető közvetlennek. Ettől távolabb már a kapcsolat késleltetett és kis mértékű. A rétegvíz hidraulikus potenciálszintje jellemzően a talajvíz szintje fölé emelkedik. A réteg- és talajvízszintek változékonyságának elemzéséből kiderül, hogy a tervezett telephely alatt a rétegvíz alulról felfelé, a talajvíztartó réteg irányában áramlik, azaz a hidraulikus gradiens vertikális komponense felfelé mutat.
18. Modellszámításokkal meghatározták a telephelyre érvényes maximális talajvízszinteket is. A hidegvíz-csatorna mellett a maximális talajvízszint 93,0–93,5 mBf között várható, a vízszint a terület nyugati szélé irányában fokozatosan csökken 91 mBf értékig. A maximális talajvízszint területi átlaga a tervezett telephelyen 92 mBf közelében van.
19. A felszín alatti áramlási viszonyokban az új blokkok létesítése miatt – vagy más természetes okból – bekövetkező változás hatása számszerűsíthető a vízföldtani modell segítségével.
20. A vízföldtani modell megadja a szennyezőanyag-kibocsátás terjedésszámításához szükséges állapotjellemzőket, az áramlási sebesség irányát és nagyságát. A telephelyi vízföldtani modell segítségével meghatározhatók az áramlási útvonalak.

A Földtani Kutatási Program fentiekben összefoglalt eredményei és az elvégzett vizsgálatok a maguk teljességében és összefüggéseiben kellő alapot szolgáltatnak a telephely alkalmasságának megítéléséhez, a tervezési alap meghatározásához és a biztonsági elemzések elvégzéséhez.

Megállapítható, hogy a Földtani Kutatási Program betöltötte szerepét.

5.7. A jellemzők változékonysága, javaslat a monitorozásra

A telephelyen a következő, a jogszabályban is előírt, illetve a Paksi Atomerőmű üzemeltetője által kötelezően, vagy jó gyakorlatként végzett monitorozási tevékenységet kell folytatni:

- folyamatos mikroszeizmikus monitorozás, az eddigi gyakorlatnak megfelelően, de kötelezően kiegészítve a lyukszeizmográfokkal végzett mérésekkel,
- recens mozgásvizsgálatok, amelyek kiértékelése minimum tízévenként az időszakos biztonsági felülvizsgálatok keretében, vagy egyéb indokolt esetben történjen,
- geotechnikai monitorozás,
- hidrogeológiai monitorozás.

A geotechnikai és hidrogeológiai monitorozás eszközeit és módját a létesítmény tervével együtt kell meghatározni és a későbbi engedélyezési fázisban lehet értékelni.

5.8. A tervezés során és a biztonsági elemzésekben figyelembe veendő földtani adatok

5.8.1. Szeizmológiai jellegű veszélyek

5.8.1.1. Földrengés-veszélyeztetettség vizsgálata az alapkőzeten (PSHA)

A paksi telephelyre vonatkozó valószínűségi földrengésveszély számítás teljes megújítására került sor az FKP keretében.

A földrengésveszély meghatározásának legfontosabb eredménye a veszélyeztetettségi görbe. 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.

A számítási módszer inherensen 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 TBJ II. [5.3.2.3.1-1. ábra](#) mutatja. E görbesereg megadja a talajgyorsulás várható értékét az alapkőzeten a 10^{-1} - 10^{-7} /év gyakoriság tartományban.

Az azonos éves gyakoriság mellett számított különböző periódusú gyorsulások adják az alapkőzeti 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 a TBJ II. [5.3.2.3.2-1. táblázat](#) és az [5.3.2.3.2-1. ábra](#). 10^{-5} éves gyakoriságok mellett a PGA várható értéke az alapkőzeten 0,49 g.

5.8.2.2. PGA és UHRS meghatározása a felszínre

A laza üledék vizsgálata a kutatási terület felső 45 m-ének módosító hatására irányult. 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). A veszélyeztetettségi görbéket a PGA mellett (TBJ II. [5.3.2.4.2-1. ábra](#)) 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 az TBJ II. [5.3.2.4.2-1. táblázat](#) szerinti gyorsulás értékek adódtak.

A 10^{-5} /év gyakorisági szintnek megfelelő biztonsági földrengés átlagos PGA értéke a felszínen 0,34g.

A 10^{-5} /év gyakoriságra számított felszíni UHRS (TBJ II. [5.3.2.4.3-1. ábra](#) és [5.3.2.4.3-2. ábra](#)) numerikus értékeit a TBJ II. [5.3.2.4.3-1. táblázat](#) foglalja össze, az átlagos, 16%, 50%, 84% percentilisek esetén. A felszíni UHRS görbe közelítőleg 0,43 s-ig az alapkőzeti UHRS görbe

alatt, nagyobb periódusoknál felette halad, vagyis a magasabb frekvenciákat a rétegsor már csillapítja, nagytítás csak az ennél hosszabb periódusoknál figyelhető meg.

A 10^{-5} /év meghaladási valószínűségnél a vertikális UHRS meghatározása egyszerűsített V/H arány összefüggés alapján történt. A vertikális csúcsgyorsulás átlagos értéke 0,44g.

Az erős rengések időtartama a biztonsági földrengés alapközveti UHRS-éhez válogatott hét akcelerogramnak a felszínközeli rétegeken való áthaladás miatti, módosított alakjából lett becsülve. Ilyen módon a hét időfüggvény időtartamának átlagát kiszámítva, az átlagos szignifikáns időtartamra 12 s adódott. Ugyanezeknél az akcelerogramoknál a szignifikáns időtartamok átlaga az alapközveten 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.

5.8.1.3. Talajfolyósodási potenciál

A geotechnikai adottságok és paraméterek változékonyak, a talajfolyósodás lehetőségére vonatkozó következtetések szigorúan csak a vizsgálati területre érvényesek.

Az FKP keretében történt elemzések megállapították, hogy a biztonsági földrengéshez tartozó 0.34g 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 megfelelő valószínűségi szinten a talajfolyósodás elemzés a konzervatívabb, 6-os magnitúdójú földrengés feltételezésével történt.

Számítások alapján a 10-20 méter közötti mélységtartományban néhány esetben igen jelentős nyírási deformációk figyelhetők meg. Ezeknek a mélysége egybeesik azzal a tartománnyal, ahol nagy pórusvíz túlnyomások alakulnak ki, és eléri az effektív vertikális nyomás értékét (TBJ II. [5.3.3.2-1. 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.

Összességében megállapítható, hogy nem zárható ki a talajfolyósodás lokális bekövetkezése.

5.8.2. Vetőaktivitás

A telephelyvizsgálat során bebizonyosodott, hogy a késő-pliocén – kora-pleisztocén Tengelici Vörösagyag Formációt érintik vetős elmozdulások. A Tengelici Vörösagyag Formáció a telephely tágabb környezetében 1 millió évnél idősebb, tehát az azt harántoló szerkezeti elemek is ilyen korúak, vagy annál fiatalabbak.

A telephelyvizsgálat során tett megfigyelések alapvető adatokkal járultak hozzá a jelenkori tektonikai folyamatok minősítéséhez. A paksi területéről rendelkezésre álló, immár rendkívül részletes adatok arra utalnak, hogy a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna a terület fiatal és aktív tektonikai eleme (lásd a TBJ II. [5.2.1.2.6. fejezetben](#)). A Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna a Kapos-vonalhoz csatlakozik. A terület fiatal szerkezetei az aljzatról ismert eltolódási rendszerhez tartoznak. Ugyanakkor hangsúlyozandó, hogy még ebben a tektonikusan aktívnak minősíthető zónában sem alakult ki szignifikáns elvetés, azaz a telephelyi, 100 000 évnél fiatalabb negyedidőszaki képződményeket – szignifikáns elmozdulás formájában – nem érinti.

5.8.3. Geotechnikai eredetű veszélyek összefoglalása

A geotechnikai szakterület a TBJ II. [5.4.2. fejezetben](#) ismerteti a tervezés során figyelembe veendő, a kutatási területre jellemző rétegsort, a talajmechanikai paraméterek feltüntetésével.

A területen geotechnikai szempontból a legjelentősebb veszélyforrást a viszonylag nagy vastagságú feltöltés jelenti. A keletkezéséből adódóan felső zónája jellemzően laza, alsó zónája inkább tömörebb állapotú. A feltöltés alapozási szerkezetek szempontjából alkalmatlan réteg, teherbírása alacsony. A feltöltésből eredő veszély kipróbált és bevált geotechnikai módszerekkel teljes mértékben kiküszöbölhető.

A tervezett telephelyen feltárt, jellemzően alacsony szervesanyag-tartalmú rétegek területi kiterjedése kicsi, vastagságuk minimális, hatásuk elenyésző.

A zsugorodásra-duzzadásra hajlamos kövér agyag talajok vagy a felszín közelében (jellemzően a feltöltésben vagy közvetlenül az alatt), vagy mélyen a talajvíz alatt helyezkednek el, tehát nem a talajvíz ingadozási zónájában találhatóak. Az ilyen típusú rétegek vastagsága nem jelentős, így bevált geotechnikai eljárásokkal a veszély kiküszöbölhető.

A telephelyen alapozás szempontjából kedvező rétegek a futóhomok, az öntéshomok, a kavicsterasztalajai, valamint a pannon rétegek. A rétegek teherviselő-képessége jó, összenyomhatóságuk kicsi, állapotuk tömör, alapozásra alkalmasak. A feltárt talajok nem roskadásveszélyesek.

5.8.4. A telephely környéki felszín alatti áramlási rendszer tulajdonságok változásainak esetleges hatása

A tervezés során figyelembe veendő telephelyi adottság, hogy a rétegvizek hidraulikus potenciálszintje (nyomásszintje) a telephely északi részén jellemzően a talajvíz szintje fölött húzódik, ami a mélyebb rétegek felől a felszín irányába irányuló vízárnyalásra utal. Ugyanakkor a telephely D-i, DK-i részén a rétegvízszintek csökkenő középérték körül ingadoznak és a legdélibb kutak nyomásszintje már a talajvízszint körüli sávban ingadozik (ezekben a Duna hatása is kimutatható). Mindezek alapján kijelenthető, hogy a vizsgált terület ÉNy-i részén feláramlás a jellemző, míg a terület DK-i részén – mivel a rétegvíz és a talajvíz nyomásszintje megegyezik – sem lefelé, sem felfelé irányuló áramlással nem kell számolni.

A felszín alatti vizekben a bioszféráig történő terjedés akkor jelenthet veszélyt, ha egy, a tervezési alapba és kiterjesztésébe tartozó esemény következtében a hidrogeológiai közegbe történik kibocsátás. Egy potenciális, talajvízbe történő kibocsátás a talajvíztartó rétegeket érintheti. A talajvíz a feltöltés alatti finomszemcsés homokos rétegben, az alatta lévő durvaszemcsés homokban, illetve a kavicsos üledékekben mozog.

A mélyebb helyzetű, döntően kavicsos képződmények szivárgási tényezője magasabb, mint a magasabb helyzetűeké, nagyjából 10^{-4} – 10^{-2} m/s tartományban van. Ettől fél, egy nagyságrenddel alacsonyabb szivárgási tényezőjük a víztartó képződmények felső, 20 méter feletti rétegei.

A Duna hatásterülete a telephely területéről induló áramvonalakkal jellemezhető. Az árampályák vagy a telephelytől északra létrejött pangó vizű talajvízminimum, vagy a modell déli peremének irányába fordulnak el, követve a talajvízszint esésvonalát. Az árampályákon látható éles törésvonalakat képzeletben összekötve kirajzolódik a Duna hidrodinamikai hatástávolsága. A hatástávolság kb. 600 m-re tehető.

Az eddigi maximális talajvízszint a tervezett telephelyen, a terület nyugati szélén 91,0 mBf-re tehető, míg a keleti oldalon, a hidegvíz-csatorna mentén kb. 93,1 mBf. A talajvízszint természetesen függ a folyón levonuló ár hullám víztömegétől is, hiszen kisebb tömegű, gyorsan

levonuló árhullám kisebb területen eredményez talajvízszint-emelkedést, mint egy nagyobb tömegű, időben elnyújtott árhullám.

Az árvízi tetőzések tovaterjedési sebessége ($v \approx 100$ m/d) arra enged következtetni, hogy a nyomáshullám a folyóvízi terasz alsó, kavicsos összletében terjed a leggyorsabban. A kavicsréteg bizonyos szempontból nyomásalatti rendszerként működik. A teraszüledékek felső 15-20 m-es, kőzetlisztes-homokos része relatív vízrekesztő réteggé funkcionál, azonban a felszínről beszivárgó csapadékvíz az összefüggő talajvízszintig levezeti. Áradások alkalmával ezért a talajvíztartó képződmények részben alulról, részben pedig a Duna felől töltődnek fel.

Hivatkozott dokumentumok

- [5-1] Chikán G., Chikán G.-né, Kókai A. 1994: – Felszíni és felszínközeli képződmények földtani szintézise. – A Paksi Atomerőmű környezetének földtani felépítése. 4. kötet. – Kézirat, Országos Földtani és Geofizikai Adattár
- [5-2] Chikán G., Bohnné Havas M., Korpásné Hódi M., Korecz A., Lázárné Szegő É., Lelkes Gy., Nagyné Bodor E., Sütő Z.-né, Vető I., Viczián I., Vigh A.-né 1987a: A Paks-3. és Paks-4/b. sz. fúrás földtani vizsgálatának eredményei. – Kézirat, Országos Földtani és Geofizikai Adattár
- [5-3] Chikán G., Bohnné Havas M., Korpásné Hódi M., Korecz A., Lázárné Szegő É., Lelkes Gy., Nagyné Bodor E., Sütő Z.-né, Vető I., Viczián I., Vigh A.-né 1987b: A Paks-4/a. sz. fúrás földtani vizsgálatának eredményei. – Kézirat, Országos Földtani és Geofizikai Adattár
- [5-4] Erdélyi M. 1955: A Dunavölgy nagyalföldi szakaszának víztároló üledékei. – Hidrológiai Közlöny, 35. pp. 159–169.
- [5-5] Fodor T.-né, Horváth Zs., Scheuer Gy., Schweitzer F. 1981: A Dunakömlőd-Paks közötti dunai magaspart mérnökgeológiai térképezése és vizsgálata – Földtani Közlöny 111. 2. pp. 258-280.
- [5-7] Gibbard P.L., Cohen K. M. 2008: Global chronostratigraphical correlation table for the last 2.7 million years, Episodes, 31. pp. 243–247
- [5-8] Halmai J., Jámbor Á., Ravaszné Baranyai L., Vető I. 1982. A Tengelic–2 fúrás földtani eredményei Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve 65. pp. 3–92.
- [5-9] Jaskó S., Krolopp E. 1991: Negyedidőszaki kéregmozgások és folyóvízi üledékfelhalmozódás a Duna-völgyben Paks és Mohács között. – Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1989. évről pp. 65–84.
- [5-10] Jámbor Á. et al. 1982: A Paks-2. sz. fúrás földtani eredményei. – Kézirat, Országos Földtani és Geofizikai Adattár
- [5-11] Juhász Á. 1965: Adatok a Duna—Tisza-köze medence- aljzatának ismeretéhez – Földtani Közlöny 90. 4. pp. 375–381.
- [5-12] Kókai A. 1988: Paks környékének földtani viszonyai – Kézirat, Országos Földtani és Geofizikai Adattár
- [5-13] Kókai A., Nagy E. 1985: A Vajta 3. sz. fúrás által feltárt alsó-triász rétegsor jelentősége. – Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1983. évről pp. 135–141.
- [5-14] Koloszar L., Lantos M., Chikán G. 2001: A Görgeteg–I és az Udvari–2A fúrások negyedidőszaki képződményeinek párhuzamosítása. – Földtani Közlöny 131/3–4. pp. 443–460.
- [5-15] Koloszar L., Marsi I. 2010: The thickest and the most complete loess sequence in the Carpathian basin: the borehole Udvari–2A – Cent. Eur. J. Geosci. 2(2) pp. 165–174.
- [5-16] Kriván P. 1955: A közép-európai pleisztocén éghajlati tagolása és a paksi alapszelvény. – Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyv 43.
- [5-17] Kriván P. 1960a: A Duna ártéri színlőinek kronológiája. – Földtani Közlöny 90. 1. pp. 56–72.

- [5-18] Kriván P. 1960b: A paksi és villányi alsó-pleisztocén kifejlődések párhuzamosítása. – Földtani Közlöny 90. 4. pp. 303–321.
- [5-19] Lelkesné Felvári Gy. 1985: Jelentés a Németkér-1. sz. fúrás metamorf szakaszának közettani vizsgálata c. kutatási témában végzett munkáról. – Kézirat, Országos Földtani és Geofizikai Adattár
- [5-20] Lelkesné Felvári Gy. 1986: Jelentés a Vajta-3. sz. fúrás metamorf szakaszának vékonycsiszolatos vizsgálata c. kutatási témában végzett munkáról – Kézirat, Országos Földtani és Geofizikai Adattár
- [5-21] Némedi Varga Z. 1977: A Kapos-vonal – Földtani Közlöny 107. 3–4. pp. 313–328.
- [5-22] Némedi Varga Z. 1986: A Tengelic 1. sz. szerkezet- és vízkutató-, valamint a Tengelic 2. sz. alapfúrás összehasonlító földtani és szerkezeti vizsgálata – Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1984. évről pp. 103–114.
- [5-23] MÁFI, 1994: A Paksi Atomerőmű körzetének földtani felépítése. Jelentés a PARt B402M-4-22/94/k sz. szerződés teljesítéséről. Budapest. p. 99.
- [5-24] ELTE, 1990: Paks környezetének neotektonikája. Jelentés a MÁELGI 828/89. sz. megrendelése alapján. Budapest, p. 70.
- [5-25] ELTE, 1993: Paks környezetének szerkezeti viszonyai és nagytektonikai helyzete. Kutatási jelentés a PA Rt. megbízásából. Budapest, p. 92.
- [5-26] Georisk, 2005. A tíz éve folyó szeizmikus monitorozás eredményeinek szeizmikus értelmezése és a neotektonikai modell megújítása. Jelentés ETV-Erőterv P125050. PAE jelentéstár. 126 p.
- [5-27] Balla, Z., 1999. Van-e bizonyíték negyedidőszaki tektonizmusra Paks környékén? ("A paksi atomerőmű földrengésbiztonsága" kötet megjelenése kapcsán). Földtani Közlöny, 129: 97-107.
- [5-28] Tóth, T., Horváth, F., 1999a. Van bizonyíték a negyedidőszaki tektonizmusra Paks környékén! Földtani Közlöny, 129:109-124.
- [5-29] OveArup & Partners Intern. 1996: PHARE Regional Programme Nuclear Safety. Project no. 4.2.1 VVER 440-213 Seismic Hazard Reevaluation. Final Report, Summary, Task 7. Paks.
- [5-30] Geomega kft. 2015: Értékelő jelentés a 3D szeizmikus kutatás eredményeiről. Budapest. p. 60.
- [5-31] Geomega kft. 2015: Előzetes jelentés a Paks környéki nagyfelbontású 3D szeizmikus mérések eredményeiről. Budapest, p. 14.
- [5-32] Kovács A. Cs., Redlerné Dr. Tátrai M., Dr. Takács E., 2016. Nagyfelbontású 2D szárazföldi reflexiós szeizmikus szelvényezés, Jelentés. MFGI, 36p.
- [5-33] Geomega kft. 2016: Nagyfelbontású 2D szárazföldi geoelektromos szelvényezés. Zárójelentés. Budapest.p.32.
- [5-34] Geomega kft. 2016: Pszeudo-3D vízi szeizmikus mérések. Zárójelentés. Budapest, p. 39.
- [5-35] Geomega kft. 2016: Nagyfelbontású mágneses felszíni mérések a felszín közelébe hatoló tektonikus szerkezetek környezetében. Budapest, p. 32.

- [5-36] MTA CsFK GGI, 2016: Magnetotellurikus (MT) szondázások mérése a Paksi Atomerőmű Zrt. telephelyén és annak környezetében. Budapest, p. 133.
- [5-37] Georisk Kft., 2016: Szubregionális szélső pontosságú GPS mozgásvizsgálat a nagy pontsűrűségű országos GPS hálózaton neotektonikai szerkezeti vizsgálatra. Budapest, p. 74.
- [5-38] Georisk Kft., 2016: PSI/ASMI apertúraszintézises 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). Budapest, p. 72.
- [5-39] Bender, B., 1983. Maximum likelihood estimation of b values for magnitude grouped data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 73(3), 831-851.
- [5-40] GeoRisk, 2000. Földrengésveszély meghatározás a Paksi Atomerőmű telephelyén, Kutatási jelentés
- [5-41] GeoRisk, 2015. Paks2 szeizmológiai kutatási program: Földrengés adatbázis összeállítása, homogenizálása, Mw magnitúdóra való áttérés. GR-P2-004/1. sz. kutatási jelentés, 92 oldal.
- [5-42] GeoRisk, 2015b. Paks2 szeizmológiai kutatási program: Jelentős magyarországi földrengések intenzitás eloszlásának és intenzitás csillapodásának vizsgálata. GR-P2-002/1. sz. kutatási jelentés, 234 oldal.
- [5-43] GeoRisk, 2015c. Paks2 szeizmológiai kutatási program: A kecskeméti forrásterület földrengéseinek átfogó értékelése. GR-P2-003/1. sz. kutatási jelentés, 78 oldal.
- [5-44] GeoRisk, 2016. Paks2 szeizmológiai kutatási program: Szeizmotektonikai modell, földrengés forrásmodellek. GR-P2-010/1 (Vol3). sz. kutatási jelentés.
- [5-45] GeoRisk, 2016b. Paks2 szeizmológiai kutatási program: Szeizmotektonikai modell, Paleo / Speleo-szeizmológiai vizsgálatok a Paksi Atomerőmű telephely tágabb környezetében. GR-P2-010/1 (Vol1). sz. kutatási jelentés, 42 oldal.
- [5-46] Goda, K., G. M. Atkinson, J. A. Hunter, H. Crow, D. Motazedian, 2011. Probabilistic Liquefaction Hazard Analysis for Four Canadian Cities *Bulletin of the Seismological Society of America* February 2011 101:190-201; doi:10.1785/0120100094
- [5-47] Horváth, F., 1988. Neotectonic behaviour of the Alpine-Mediterranean region. In: Royden, L.H., Horváth, F., (szerk.), *The Pannonian Basin. A case study in basin evolution*. AAPG Memoir, 45: 49-51.
- [5-48] Kayen, R. E., & Mitchell, J. K. (1997). Assessment of liquefaction potential during earthquakes by Arias intensity. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(12), 1162-1174.
- [5-49] Kramer S.L. and Mayfield R.T. 2007: Return period of soil liquefaction. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 133(7), 802-813,
- [5-50] Kramer, S. L., & Mitchell, R. A. (2006). Ground motion intensity measures for liquefaction hazard evaluation. *Earthquake Spectra*, 22(2), 413-438.
- [5-51] Lee, M. K. W. and W. D. L. Finn, 1997. DESRA-2C: Dynamic Effective Stress Response Analysis of Soil Deposits with Energy Transmitting Boundary

- Including Assessment of Liquefaction Potential, University of British Columbia, Canada
- [5-52] Mayfield R.T. 2007: The return period of soil liquefaction. PhD thesis, University of Washington, p. 292.
- [5-53] Ove Arup Partners International 1995. "Paks NPP Site Investigation for Site Response and Liquefaction Potential", Interpretive Report.
- [5-54] Ove Arup Partners International 1995. "PHARE Regional Programme Nuclear Safety; Project. No.:4.2.1 VVER 440-213 Seismic Hazard Reevaluation; Contract No 94-0600", Final Report.
- [5-55] Park, K., Kim, S., Lee, J., & Park, I. (2008). Energy-based evaluation of excess pore pressure using damage potential. *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 18(1).
- [5-56] Pyke, R. (1979), "Nonlinear Soil Models for Irregular Cyclic Loadings", *Journal of Geotech. Eng. Div.*, Vol. 105, No. GT6, p. 715-726.
- [5-57] Seed, H. B. and I. M. Idriss, 1971. Simplified Procedure for Evaluation of Liquefaction Potential, *J. Soil Mech. Found. Div. ASCE*, Vol. 97, No. SM9, pp. 1249–1273.
- [5-58] Tóth L, Győri E, Mónus P, Zsíros T, 2006. Seismic Hazard in the Pannonian Region. In: Pinter, N., Grenerczy, Gy., Weber, J., Stein, S., Medak, D., (eds.), *The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics, and Hazards*. Springer Verlag, NATO ARW Series, Vol. 61, p. 369-384.
- [5-59] Tóth L, Mónus P, Kiszely M. Magyarországi földrengések évkönyve - Hungarian Earthquake Bulletin – 1995-2015, *GeoRisk*, Budapest, HU ISSN 1589-8326
- [5-60] Youd, T. L., et al. 2001. "Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils." *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 127(10), 817–833.
- [5-61] Youd, T.L. and I.M. Idriss (editors), 1997. *Proceeding of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*. National Centre for Earthquake Engineering Research, Technical Report No. NCEER-97-0022, December 31, 1997.
- [5-62] Zsíros T., 2000. A Kárpát-medence szeizmicitása és földrengés veszélyessége: Magyar földrengés katalógus (456-1995). MTA GGKI Szeizmológiai Observatórium, 482 p.
- [5-63] Bella G. (2016): Jelentés az 1. egyidejű vízszintmérési kampány eredményeiről. 2016 január 20. Kézirat – Mecsekérc Zrt., Pécs
- [5-64] Lévai Projekt (2013): A környezeti hatástanulmány összeállítását megalapozó szakterületi vizsgálati és értékelési programok kidolgozása és végrehajtása, Zárójelentés. Kézirat – MVM ERBE Zrt., Budapest
- [5-65] Magyar Állami Földtani Intézet (2005): Magyarország fedett földtani térképe. MÁFI, Budapest. 1:100 000
- [5-66] MVM Paks II. Zrt. (2014): 13. Földtani közeg és felszín alatti víz a telephelyen és közvetlen környezetében. Új atomerőművi blokkok létesítése a paksi

- telephelyen. Környezeti hatástanulmány. MVM Paks II. Zrt., Adattár, Budapest. 107 p.
- [5-67] MVM Paks II. Zrt. (2014): 14. Földtani közeg és felszín alatti vizek a Paks alatti Duna-völgyben. Új atomerőművi blokkok létesítése a paksi telephelyen. Környezeti hatástanulmány. MVM Paks II. Zrt., Adattár, Budapest. 68 p.
- [5-68] Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) (2015): A Duna-vízgyűjtő magyarországi része. Vízügytő-gazdálkodási terv - 2015. Kézirat – OVF, Budapest
- [5-69] Tóth Gy., Kun É., Gondárné Sőregi K., Király Zs. (2015): Felszín alatti vizek mennyiségi állapotának meghatározása. 6-5-3 háttéranyag. A sekély porózus, porózus és porózus termál víztestek vízháztartási mérlege. A Duna-vízgyűjtő magyarországi része. Vízügytő-gazdálkodási terv - 2015. OVF, Budapest. 10 p.
- [5-70] Wórum G., Horváth F. (2005): 3D földtani-hidrogeológiai modell készítése a Paksi Atomerőmű környezetére. Geomega Kft. Kézirat – Budapest
- [5-71] Mecsekérc Zrt–ÁKMI Kft., 2016: Földtani modell összefoglaló és értékelő jelentése, Pécs, 317 oldal
- [5-72] Mecsekérc Zrt–ÁKMI Kft., 2016: Felszíni geofizikai kutatások értékelő jelentése, Pécs, 109 oldal
- [5-73] GeoRisk 2016c: Paks II. szeizmológiai kutatási program: A telephely földrengés-veszélyeztetettségének komplex meghatározása, GR-P2-011/2, Vol2
- [5-74] GeoRisk, 2016d: Szabadfelszíni PGA és UHRS meghatározása, GR-P2-012/1, Vol2
- [5-75] GeoRisk 2016e: A talajfolyósodás globális és lokális előfordulásának vizsgálata, GR-P2-013/1, Vol2
- [5-76] 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 – MVM Paks II. Zrt., Adattár, Paks. MÁ/PA2-16-HI-23
- [5-77] BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tsz. (2016): Értékelő geotechnikai-talajvizsgálati jelentés. Kézirat –. MÁ/PA2-16-GT-07 V1
- [5-78] Geo-Log Kft. (2016): Értékelő és összegző jelentés a karotázs mérések eredményeiről. Kézirat –. MÁ/PA2-16-GF-15 V1
- [5-79] Mecsekérc Zrt – ÁKMI Kft., 2016: vízminőségi vizsgálatok értékelő jelentése. Kézirat – MÁ/PA2-16-HI-21
- [5-80] Rátky É., Nagy R., 2016: Értékelő jelentés a vízföldtani viszonyokról és a vízföldtani modellezés eredményeiről. Telephelyi értékelő jelentés. – MVM Paks II. Zrt., Adattár, Paks. MÁ/PA2-16-HI-24, Golder Associates (Magyarország) Zrt.