

**KÉSŐ-PLEISZTOCÉN
ÜLEDÉKFÖLDTANI, NEOTEKTONIKAI
ÉS PALEOSZEIZMOLÓGIAI
MEGFIGYELÉSEK PAKS TÁGABB
KÖRNYEZETÉBEN**

2016. SZEPTEMBER 18.

Szerzők:
Dr. Magyar Árpád



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

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

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

MÁ/PA2-16-FT-07
Verzió száma: **V2**

**KÉSŐ-PLEISZTOCÉN ÜLEDÉKFÖLDTANI, NEOTEKTONIKAI ÉS
PALEOSZEIZMOLÓGIAI MEGFIGYELÉSEK PAKS TÁGABB
KÖRNYEZETÉBEN**

Szerkesztette:

Név: Dr. Magyar Árpád

Beosztás: geológus szakértő

Aláírás:

Ellenőrizte:

Név: Dr. Konrád Gyula

Beosztás: Kutatásvezető

Aláírás:

Jóváhagyta:

Név: Dr. Barabás András

Beosztás: Projektvezető

Aláírás:

Pécs, 2016.09.18.

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	1
Ábrák jegyzéke.....	3
1. Összefoglalás.....	4
2. Bevezetés.....	4
3. A PAE–I telephely kiválasztását követő szerkezetföldtani vizsgálatok.....	5
4. Terepi észlelések az M-6-os autópálya nyomvonala és a Gyapa-Cece-i út keresztveződésének mentén (3. ábra).....	7
4.1. A keresztveződés Ny-i lehajtója menti bevágás – 1. észlelési pont.....	7
4.1.1. alsó szakasz – Ártéri sorozat (4,0 m).....	7
4.1.2. középső szakasz — Lössképződmények; Idős Lössorozat, Felső Összlet (3,2 m).....	7
4.1.3. felső szakasz — Futóhomok sorozat (4,3 m).....	8
4.2. A keresztveződés két pályatest közötti, Paks – Cece úttal párhuzamos szakasza (3. ábra) – 2. észlelési pont.....	9
4.2.1. Vörösayag (paleotalaj) (0,5-2,5 m).....	9
4.2.2. Lejtőüledék (lejtőlöss, lejtőagyag) (1,0 m).....	9
4.2.3. Folyóvízi homok (max. 1,2 m).....	9
4.2.4. Ártéri meszes kőzetlisztes agyag (2,0 m).....	9
4.2.5. Ártéri agyagos kőzetliszt (1,0-1,5 m).....	10
4.3. A keresztveződés k-i oldalánál lévő bevágás – 3. észlelési pont.....	10
4.3.1. Vörösayag (paleotalaj) (0,5-2,5 m).....	10
4.3.2. Vörösayagos lejtőhordalék (változó vastagságú).....	10
4.3.3. Folyóvízi homok (változó vastagságú).....	10
4.3.4. Mészkonkréció-zsinóros lösz, lejtőlöss (2,0–4,0 m).....	10
4.3.5. Barna erdőtalaj agyagos kőzetliszt (1,0 m).....	11
4.3.6. Futóhomok (változó vastagságú).....	11
4.3.7. Recens talaj (0,4 m).....	11
4.4. A keresztveződés K-i oldala (3. ábra) – 4. észlelési pont.....	12
4.4.1. Agyagos lösz, lejtőlöss (L8 horizont).....	12
4.4.2. Mediterrán vörös talaj (PD horizont).....	12
4.4.3. Folyóvízi homok, kőzetlisztes homok.....	12
4.4.4. Erdőssztyepp talaj.....	12
4.4.5. Lejtőlöss, futóhomok.....	12
5. A terület földtani felépítése és fejlődéstörténete.....	13
5.1. A keresztirányú (KÉK–NyDNY-i) szelvény elvi rétegsora.....	13
5.2. A hosszanti (ÉÉNY–DDK-i) szelvény elvi rétegsora.....	14
5.3. Szerkezetföldtani értelmezés.....	15
5.3.1. Az 1. és 4. helyszíneken megfigyelt törések közös jellegei:.....	16
5.3.2. A 3. helyszínen – idős löszben – megfigyelt törések/litoklázisok közös jellegei:.....	17
5.4. Diskusszió.....	17
6. A paksi kikötő bővítésének szelvénye és földtani értelmezése.....	18
6.1. A kikötői rétegsor.....	18
6.1.1. (0-0,25 m) humuszos öntéstalaj A-szint.....	19
6.1.2. (0,25-0,3m) humuszos öntéstalaj BC-szint.....	19
6.1.3. (0,3-0,8 m) ártéri kőzetliszt (iszap).....	19
6.1.4. (0,8-1,4 m) ártéri finomhomokos kőzetliszt (iszap).....	19
6.1.5. (1,4-2,0 m) ártéri kőzetliszt (iszap).....	19
6.1.6. (2,0-2,2 m) folyóvízi homokos kavics (mederüledék).....	19

6.2. Az észlelt rétegsor földtani értelmezése.....	19
7. Összefoglaló megállapítások és következtetések.....	21
7.1. Tények / megállapítások.....	21
7.2. Összefoglalás.....	21
7.3. A tények pontosítása érdekében további javasolt vizsgálatok:	21
Irodalom	22

Ábrák jegyzéke

1. ábra A tanulmányozott szelvénye helye a Gyapa-Cece-i út és M-6-os autópálya lehajtója és a paksi kikötő bővítésének helye.....	26
2. ábra Az 1. és 2. észlelési pontok	27
3. ábra A tanulmányozott szelvények helye.....	27
4. ábra Az 1. észlelési pont szelvénye és rétegsora.....	28
5. ábra ÉK-KÉK–DNy-NyDNy-i csapású törések.....	29
6. ábra OSL mintavétel helye és a mérések alapján meghatározott korok az 1. észlelési pontban.....	30
7. ábra 2. észlelési pont Tengelici Vörösgyag.....	31
8. ábra 2.észlelési pont mikroszerkezetei	31
9. ábra A 3. észlelési pont ÉÉK–DDNy-i irányú elvi szelvénye.....	32
10. ábra 3. észlelési pont, 3. réteg	32
11. ábra Felszíni megjelenés	33
12. ábra 3. észlelési pont litoklázis.....	34
13. ábra 4.észlelési pont, 1. képződmény.....	35
14. ábra Képződmények települése.....	36
15. ábra 4. észlelési pont	37
16. ábra A terület keresztirányú (KÉK–NyDNy-i) elvi rétegsora.....	38
17. ábra A paksi kikötő bővítésének szelvénye 2015. októberében.....	38
18. ábra A 17. ábra szelvényének északi szegélyén található deformált ártéri üledékek.....	39
19. ábra A nagyobb agyag tartalmú rétegek közé zárt homokosabb – 0,5–1,5 cm vastag rétegek hurkásodása	39

1. Összefoglalás

2009. augusztusa során az építés alatt álló M-6 autópálya Pakstól ÉÉNy-ra 8-10 km-re található bevágásait tanulmányoztuk. A szelvények negyedidőszaki képződményeket tártak föl, maximálisan 10 méter vastagságban és csak rövid ideig voltak tanulmányozhatók.

A szelvények alapján összeállított rétegsor enyhén nyugat felé kibillentett, legalján hullámos, tagolt és erodált felszínű Tengelici Agyagra és mediterrán típusú paleotalajokra, lejtő és folyóvízi eredetű üledékek települnek, melyek a térszín egyenetlenségét kitöltötték. Az üledékek fölfelé haladva fokozatosan lösz majd csernozjom barna erdőtalajba mennek át. Ezt a horizontot számos litoklázis (a löszben) és nyílt hasadékok (a barna erdő- és mediterrán talajban) szelik át. Utóbbiak nyírásos és tágulós jelleget mutatnak és az eróziós felületre települő eolikus, illetve folyóvízi üledékek anyaga tölti ki. Optikai lumineszcens vizsgálatok (OSL) alapján koruk 5,5-14,4 ka-nak adódott és kialakulások idején feltehetően felszínig hatoló, nyílt szerkezetek lehettek.

2015. októberében Paks déli részén, a paksi kikötő bővítés során a Duna fiatal, magas árterének (I.b.) folyó felőli oldalát megbontották. Ez a képződmény adja a tágabb környezet fekvését is. A folyóvízi agyagos, kőzetlisztes, finomhomokos üledékekben néhány cm nagyságrendű üledékfolyósodásra utaló bélyegek uralkodnak; vízkiszökések, mikrovetők és mikrogüredezett üledékes szerkezetek észlelhetők, amelyek a holocén időszakon belüli $M \geq 5$ földrengés(ek)re utalnak.

A tanulmányozott szelvények alapján megállapítható, hogy Paks tágabb környezetében öt-tizenöt ezer éves, az üledékképződés során a felszínig hatoló, ma már eltemetett helyzetben lévő törések tanulmányozhatók. A településen belül pedig 10.000 évesnél fiatalabb földrengésekre utaló bélyegek találhatók.

Tárgyszavak: Paks, pleisztocén, neotektonika, törés, erózió, üledékfolyósodás, szeizmit, földrengés.

2. Bevezetés

2009. augusztusa során - az F 75801 számú OTKA, a CRO 25/2006 TÉT és e sorok írójának Bólyai János Kutatói Ösztöndíj (2009-2012) pályázati keretei között - az építés alatt álló M-6 autópálya Paks és Németkér közötti műutat Gyapa ÉNy-i határában metsző csomópont feltárásait és annak déli folytatásában található bevágásokat tanulmányoztuk (1. ábra). A szelvények negyedidőszaki képződményeket tártak föl, maximálisan 10 méter vastagságban. A szelvények megtalálásában a véletlen segített, teljesen más céllal haladtunk el az útépités mellett és ezen szakasznak – a többi részekkel ellentétben – rézsűjét talajjal még nem takarták le (2. ábra). A vizsgálatok időpontjában és az azt követő további két-három hétben a terület nyomvonalának mélyítése folyt. Utána gyors iramban a rézsűk kialakítása és azok termőfölddel való betakarása következett. A rendelkezésre álló időben a helyszínen több alkalommal is jártunk mérések, adat- és mintagyűjtések céljából. A bevágás a leendő autópálya szelvénye mentén ÉÉNy-DDK–É-D-i csapásban, a Gyapai csomópontból D-irányba közel 1000 m hosszan, a csomóponti lehajtókat övező képződmények pedig kb. 50 méter sugarú félkör mentén voltak tanulmányozhatók (3. ábra).

A területen négy, a legjellegzetesebb kifejlődéseket mutató függőleges szelvényt illetve ezek horizontális kapcsolatait és változásait vizsgáltuk. A helyszín a Paks településtől ÉÉNy-ra, 8-10 km-re található (1. ábra).

3. A PAE–I telephely kiválasztását követő szerkezetföldtani vizsgálatok

Paks környékének részletes földtani kutatása a Paksi Atomerőmű építésével kapcsolatos és annak köszönhető. A paksi telephely kiválasztása a hatvanas évekre jellemző ipartelepítési gyakorlatot követte, amely szerint egy létesítmény építésében a műszaki-gazdasági és szociálisan-politikai szempontok játszották a fő szerepet, nem pedig az atomerőmű biztonságát befolyásoló tényezők.

A PAE tervezésekor a hetvenes évek elején – bár a mérnökök részéről felvetődött az épületek szeizmológiai veszélyeztetettségének kérdése – nem volt hazai előírás az atomerőművi telephely földtani viszonyinak vizsgálatára. Így a tervezést – és a telephelyre vonatkozó földtani és szeizmológiai viszonyok minősítését – az akkori szovjet szabályozás szabta meg. Az akkori előírások pedig nem igényeltek kiterjedt földtani, tektonika, szeizmológiai vizsgálatokat, a nyolcvanas években szigorodó szovjet szabályozás pedig már alig hatott az erőmű tervezésére.

1979-ben a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) kiadta az 50-SG-S1 és 50-SG-S2 biztonsági irányelveit, amelyek egy telephely minősítés és földrengés-biztos tervezésének követelményeit foglalták össze [26]. Az irányelvek befolyásolták a hazai szemléletet, de a dokumentumok csak tájékoztató jellegűek voltak.

A Paksi telephely újraértékelése 1986-1996 között zajlott. A kérdés továbbra is az volt, hogy milyen mértékű a különböző nagyságú földrengések bekövetkezési valószínűsége. Ennek meghatározására átfogó földtani, geofizikai és morfológiai vizsgálatok kezdődtek és több olyan projekt is elindult illetve végrehajtottak, amelyek tovább bővítették a telephelyre vonatkozó földtani információt pl.: mikroszeizmikus mérőhálózat létesítése, üzemidő hosszabbítás előkészítése, telephely tízévenkénti földtudományi újraértékelése [5][40][43][51].

Az újraértékelés – a fent már említett – hazai szabályozás hiányában 1986-1996 között nemzetközi mintákat követett és az 1997-ben megindult hazai szabályozási folyamat (Atomerőművi Biztonságtechnikai Szabályzatok /ABSZ/), mind vizsgálati módszerek, kritériumok és következtetések vonatkoztatásában nemzetközi mintákat – mindenekelőtt a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) irányelveit – követte [26].

Paks környékén és távolabbi körzetében már az erőmű tervezése előtt számos kutató úgy vélte, hogy a negyedidőszaki üledékekben tektonikus eredetű törések vannak [1][2][3][29][30][45][47][48][49]. Gracsov és társai szerint viszont [17][18][18] szerint Paks egy nagyméretű és egységes földtani blokkban helyezkedik el. A mágneses és gravitációs térképek alapján nem bizonyítható egy aljzatban lévő törészóna megléte.

Véleményükkel ellentétben Horváth és társai [24] az erőmű alatt egy KÉK–NyDNY-i csapású jobbos és egy ÉNy–DK-i csapású balos jellegű oldalelmozdulást tételeztek fel az aljzatban, amelyek szerintük a felső-pleisztocénben és/vagy a holocénban azonos dinamikai rendszerben mozogtak. Véleményüket alátámasztotta az, hogy 1994-ben a Paksi Atomerőmű szeizmikus veszélyeztetettségének pontosabb meghatározása céljából nagyfelbontású akusztikus szelvényezést is végeztek a Dunán. A több mint 500 m-es lehatolást biztosító mérés a szelvény tetején 1 m, alján 3–5 m felbontást eredményezett és az erőmű közvetlen környezetében feltételezett és kijelölt fiatal vetőzóna illetve vetőzónák létét és lefutását egyértelműen igazolták [52].

Jelentős erőfeszítések történtek arra nézve is, hogy közvetlen felszíni adatokat gyűjtsenek a feltételezett fiatal szerkezetek bizonyítására. A PAE környezetében az első rendszeres terepi

szerkezetföldtani mérést Chikán és Kókai[13] végezte Tengelic és Pusztahencse környékén. Több mint 100 darab kőzetrést és mozgási nyomokat mutató vetőt mértek le és azokat tektonikus eredetűnek minősítették. Az általuk mért kőzetrések irányeloszlása alapján Horváth és társai [23][23] az ÉÉNy–DDK-i csapású vízhálózat (Móri-árok felől követhető) és egy ÉK–DNy-i feltételezett aljzatbeli törés szerkezeti meghatározottságát és neotektonikai aktivitását emelte ki. Balla [8] szerint azonban a mérési anyagban csak az utóbbi irányok hatása érzékelhető, s ugyanebből a mérési sorozatból a Kapos-vonal jobbos oldaleltolódásos jellegét mutatta ki.

1992-ben a MÁFI Földtani Térképező Programja Chikán Géza irányításával módszeres földtani térképezést végzett Paks 30 kilométeres környezetében, amelynek célja az 1989-es mérések nagy területre történő kiterjesztése volt [11]. A munka keretében, közel 1300 feltárást írtak le, amelyből 180-ban mértek valamilyen szerkezeti elemet s uralkodóan pleisztocén üledékekben közel 1400 törés adatait mérték le. A korábbi [13], jóval kisebb megfigyelési anyagtól eltérően elmozdulási nyomokat sehol sem észleltek. A feltárásokban észlelt töréseket előre egyeztetett módon bemérték és Dudko [15] végezte el az újonnan begyűjtött szerkezeti adatok elemzését. Dudko [15] többféle kigyűjtéssel és statisztikus kiértékeléssel arra a következtetésre jutott, hogy a löszben mért elválási síkok tektonikus volta egyértelműen nem állapítható meg. A terepi megfigyelések értelmezése alapján is kiemeli, hogy az észlelt törések nemcsak tektonikai folyamatokhoz, hanem suvadásokhoz is kapcsolódnak. Értelmezése szerint a suvadásokat nem tektonikai folyamatok irányítják, ennek megfelelően a terepi leírások alapján suvadásos eredetűnek ítélt töréseket különválasztotta és értelmezte. A szűrt adatok alapján hangsúlyozta, hogy a törések területi eloszlásában nem mutatkozik maximum a Kapos-vonal környezetében, ugyanakkor a törésirányokban meghatározó módon jelen van ez a 60-70–100-110 csapású irány („Paksi-törés” iránya). A Móri-árok vonala ugyanekkor nem jelentkezett a tektonikusnak minősíthető kőzetrések irányában.

Az elemzés további finomításaként a Dudko [15] által készített számítógépes adatbázis adatait Gerner [17] elemezte két szakaszban. Elsőként kiszűrte a gyaníthatóan nem tektonikai folyamat eredményeként létrejött repedéseket (ilyenek a lösz suvadásához, roskadásához, mállásához járuló elválási felületek illetve a domborzati irányok). Elemzése második részeként a tektonikai eredetűnek tekintett törések (az összes adat 49 százaléka) irányainak szűrésével arra a következtetésre jutott, hogy, a korabeli mérések nagy száma ellenére a kőzetrések értelmezése bizonytalan volt, amelynek egyrészt az adathalmaz heterogenitása volt az oka. Egyes kutatók ugyanis minden látható kőzetrést megmértek, mások viszont csak az általuk tektonikus eredetűnek ítélt elemeket dokumentálták. A megmaradt adathalmaz három maximumot eredményezett, NyDNy–KÉK, NyÉNy–KDK és ÉÉK–DDNy-i irányokat, közel azonos súllyal, 60° körüli bezárt irányokkal. Ez Balla [9] szerint olyan hatszöges rendszert körvonalaz, amely lehetséges, hogy a lösz száradásának a következménye.

A probléma egységes szemléletű megoldásra Dudko és Maros [16] a kőzetréseket egységes szemlélettel újra lemérték, pontosan rögzítve egymáshoz viszonyított helyzetüket és morfológiai jellegüket. 6 feltáráspan több mint 600 kőzetrést mértek le. A teljes adatmennyiség így meghaladta a kétezret. A mért kőzetrések több mint 80%-a két feltáráspan volt, eltérő irányeloszlással és az 1992-ben mért uralkodó irányok még kis területen sem ismétlődtek [11]. A nagy, feltárástól függő sűrűség Balla és társai (1997) szerint nem tektonikus eredetre utalnak, bár a suvadásos kőzetréseknél hatszöges elválás helyett, négyszöges elválás volt megfigyelhető.

1992-ben árkolással is megkísérelték törések kimutatását, az árkokat geofizikai mérések nyomán telepítették a legalkalmasabbnak vélt helyekre [41]. Az összesen 500 méter hosszú – átlagosan 2 méter mélységű – árokban törést vagy kőzetrést nem sikerült találni [12], annak

ellenére, hogy a feltárásokban szinte méterenként mérhető volt egy-egy kőzetrés. Chikán és társai [14] megfogalmazásában „még a geofizikai szelvényeken zavarzónának minősített szakaszokon sem lehetett felszínig ható tektonikai, szerkezeti jelenségeket megfigyelni”. Mindez Balla és társai [10] szerint azt jelzi, hogy a kőzetrészek nem tektonikus eredetű elválási síkokként, hanem utólag, felszín közelben jöhettek létre száradás, szétesés-fellazulás következtében.

Ezt követően a PAE terület tágabb környezetében felszíni, neotektonikus eredetű vetők nagy területen történő mérésére további erőfeszítések nem történtek.

4. Terepi észlelések az M-6-os autópálya nyomvonala és a Gyapa-Cece-i út kereszteződésének mentén (3. ábra)

4.1. A kereszteződés Ny-i lehajtója menti bevágás – 1. észlelési pont

A szelvény ÉÉNy–DDK-i irányú, teljes vastagsága 10 méter, a vízelvezető árokkal együtt 11–11,5 méteres valós vastagságú üledéksorozat tanulmányozására adott lehetőséget. A képződmények folytonos vertikális szelvényben nem, de horizontális kapcsolódási pontokon keresztül teljes vertikumban vizsgálhatók voltak. Alsó szakasza (1.) nehezen, középső és felső szakasza (2–3.) tisztítás után jobban hozzáférhető volt (4. ábra).

4.1.1. alsó szakasz – Ártéri sorozat (4,0 m)

Mocsári üledéksorozat, melyben alulról felfelé haladva a mocsári bélyegeket fokozatosan ártéri bélyegek váltják fel. Az üledék-együttest két víz hatás alatt képződött (hidromorf) talajzóna tagolja. Az ártéri üledéket a bevágásban az észlelési ponttól É-felé haladva folyóvízi keresztrétegzett homok helyettesíti.

1. mocsári iszapos agyag (0,2 m) 1.2.
2. mocsári talaj (sztyeppes) (0,4 m): Barnásszürke, szerves festődéses, gyengén sztyeppesedett mocsári talaj
3. ártéri-mocsári agyagos iszap (0,3)
4. réti talaj (sztyeppes) (0,6): barnásszürke, szerves festődéses, az alsó talajnál erősebben sztyeppesedett réti talaj.
5. ártéri agyagos iszap (2,5 m): fakósárga, limonit-, és glejffoltos, jólrétegzett vékonyréteges lemezes, agyagos, finomhomokos ártéri kőzetliszt.

4.1.2. középső szakasz — Lössképződmények; Idős Lössorozat, Felső Összlet (3,2 m)

Az Idős Lössorozat Felső Összletének erodált foszlányai tárulnak fel, melyet egy löszhorizont és egy változóan erodált típusos barna erdőtalaj fed.

1. Löss (L6, vagy L7 löszhorizont) (1,0 m)
2. Meszes, mészgöbölcses kőzetliszt (Barna erdőtalaj C-szint) (1,5 m)
3. Agyagos kőzetliszt (Barna erdőtalaj AB-szint) (0,7 m): A feltalaj változó vastagságú, erodált barna agyagos, meszes kőzetliszt, melyben a mésztartalom felfelé csökken. A képződmény erodált voltát alátámasztja, hogy a letisztított falon a lösz felső szakasza és a paleotalaj neotektonikus repedésekkel sűrű hálózatban átjárt. Ezek a felfelé általában táguló, 1,0-2,0 m magas, közel függőleges repedések a fedőben települő futóhomokkal és a paleotalaj magasabb szakaszából behordott vörösesbarna anyaggal vannak kitöltve (5. ábra).

Talajminták:

- 1–cs — recens csernozjom (futóhomokon)
- 1–fh — csb talaj (futóhomokon)
- 1–BA — barna erdőtalaj löszön (a lösz repedéseiben)
- 1–BB — barna erdőtalaj löszön (AB-szint határ)

4.1.3. felső szakasz — Futóhomok sorozat (4,3 m)

A repedezett, neotektonikus repedésekkel áthatolt erodált felszínű paleotalajra vastag futóhomok települ, amit legnagyobb részén erdőössztyepp talajosodás érintett.

1. futóhomok (0,4 m): Alul 0,3–0,4 m vastag drapp, rétegzetlen, jól osztályozott középszemű futóhomok települ.
2. mészcsonós, humuszos futóhomok (csernozjom barna erdőtalaj BC-szint) (0,6 m): Fakó szürkésbarna, foltos, helyenként humuszfestődéses csomókat tartalmazó rétegzetlen futóhomok.
3. agyagos, humuszos futóhomok (csernozjom barna erdőtalaj A-szint) (2,0 m): Extrém vastag, sötét szürkésbarna, rétegzetlen, erősen talajosodott, agyagos, középszemű futóhomok
4. agyagos, humuszos futóhomok (csernozjom barna erdőtalaj átmeneti-szint) (0,3 m): Felfelé világosodó tónusú, szürkésbarna, rétegzetlen, talajosodott, agyagos, középszemű futóhomok.
5. agyagos, humuszos futóhomok (recens csernozjom talaj AB-szint) (1,0 m): Sötétszürke, humuszban gazdag, jól osztályozott, rétegzetlen középszemű futóhomokon kialakult vastag szelvényű csernozjom talaj. Homogén, egyveretű, nem tagolódik szintekre.

Szerkezeti elemek

A 2. számú löszsorozatot 0,1-0,4 méter széles, közel függőleges, de egyenetlen falakkal határolt törések vágják át. A szerkezeti elemek markánsan jelennek meg a lösz felső (paleotalaj AB- és C-szintek) 2-2,5 méterében. Kitöltő anyaga a fedőt anyagát alkotó futóhomok (3.1, 3.2. képződmények). Benne 20-50 cm hosszú, a lösz paleotalaj „AB” szintjéből származó barna agyag klasztok (2.3. képződmény) illetve a „C” szintből származó meszes-agyagos kőzetliszt törmelék (2.2. képződmény) található. A klasztok nyúltak, laposak, hossz tengelyük a határoló törések falával közel párhuzamosan irányítottak, alig vagy gyengén kerekítettek. A törések fala mentén (néhány cm – 60 cm közötti nagyságú) vertikális elmozdulás is mérhető.

A terepi felmérés időpontjában a falszakaszon 5 db törést bontottunk ki egymástól 2-4 méter távolságban és tisztítottuk meg a felszínüket. Továbbiak megléte a szelvény vonalában mind ÉÉNy-i mind a DDK-i irányban észlelhető és mérhető volt legalább 20 méter széles sávon belül.

A mért szerkezetek iránya K-Ny–ÉK-DNy-i között szórt, erőteljes KÉK–NyDNy-i dominanciával. A szerkezetek dőlésszöge gyakran egyazon törési sík mentén is a közel merőleges és 35° között változik, ami erősen hullámos felületet jelez, bár a törések tényleges dőlésszöge meredek, 70-80° közötti (5. ábra).

A mért szerkezetek több dm-es szélessége, hullámzó, de relatíve meredek fala, a változó mértékű vertikális elmozdulás, a törés falának irányítottnak tűnő és megnyúlt klasztjainak a kitöltő anyagban való előfordulása, nyírásos jellegére enged következtetni.

A töréseket befogadó kőzetét fedő és a töréseket kitöltő futóhomokot a szerkezetek nem vágják át. A törések kialakulásának idejét így a kitöltő- és egyben fedő-üledék korával azonosnak kell tekinteni. F fiatal eolikus és fluviális eredetű homokok kitűnően alkalmasak optikai lumineszcens (OSL) kormeghatározásra. A fedő- és kitöltő-üledékek vizsgálatát a MÁFI OSL Laboratóriumában Thamóné Bozsó Edit végezte el. Eredményei alapján, a törést kitöltő üledék $7,7 \pm 1,1$; a törést közvetlen fedő üledék $5,5 \pm 1,1$; a magasabb helyzetben lévő fedőüledék kora $5,1 \pm 0,7$ ka-nak adódott (6. ábra).

A törések lösz alatti folytatását nem sikerült feltárni, mert a fekü rétegsor jelentősebb része függőlegesen volt kiszedve gépi markolóval, 20-40 cm-es bordákat hagyva a szívós mocsári anyagon, amely kéziszerszámokkal való megtisztítása erőn felüli feladatnak bizonyult.

4.2. A keresztződés két pályatest közötti, Paks – Cece úttal párhuzamos szakasza (3. ábra) – 2. észlelési pont

4.2.1. Vörösgyag (paleotalaj) (0,5-2,5 m)

Változó vastagságú, lilás tónusú barnászörös agyag (7. ábra). Nedvesen erősen síkos tapintású, szárazon fényes vágási felületű, szívós, erősen mangánfoltos agyag. Besorolása bizonytalan, inkább Tengelici Agynak néz ki, mint lösz eredetű képződménynek. Lehet, hogy sok epigenetikus hatás érte. Nehezíti a képződmény megítélését, hogy nem látszik a fekü.

4.2.2. Lejtőüledék (lejtőlösz, lejtőagyag) (1,0 m)

A vörösgyag leginkább kiemelt szakasza fölött fakósárga, gyengén csillámos, erősen mészkonkréciós lejtőlösz-szerű üledék települ, amit valószínű, hogy talajvíz hatás is ért (7. ábra). A képződmény DK-i részén a mélyebb szakasz felé agyagosodik, mészcsonomóssá, glejffoltosabbá válik. Felső szakaszát elhordták, maximális feltárt vastagsága 1,0 m.

4.2.3. Folyóvízi homok (max. 1,2 m)

A feltárás ÉNy-i oldalán, a vörösgyag mélyebb szakaszaira diszkordánsan, a lejtőüledékekkel összefogazódva (esetleg fedőként) folyóvízi homok települ. Drapp, szürke és limonitfoltos, jól rétegzett, keresztarétes, durvahomok-zsinóros középszemű homok. A színes elegyrészekben gazdag, közepesen, gyengén osztályozott, közepesen koptatott homokban nagyon szép neotektonikus mikrovetők, illetve terheléses vízkiszorításos mikroszerkezetek látszanak (8. ábra). Nagy részét elhordták, legnagyobb feltárt vastagsága itt 1,2 m.

4.2.4. Ártéri meszes kőzetlisztes agyag (2,0 m)

A feltárás K-i, DK-i oldalán, hasonlóan a folyóvízi homokhoz a vörösgyag mélyebb szakaszaira diszkordánsan, a lejtőüledékekkel összefogazódva (esetleg fedőként) ártéri képződmény-együttes települ.

A bázisán fakószürke, részben szögletes, részben gömbölyded mészkonkréciós „báziskonglomerátum”-szerű meszes pad települ. Sajátos jellegeinek kialakulásában valószínű,

nem a szállítás, inkább a lokális víz jelenléte és mozgása játszotta a fő szerepet. Erre közel 2,0 m vastag sötétszürke, glejffoltos, rozsdaszeplős agyagos, kőzetlisztes ártéri üledék települ.

4.2.5. Ártéri agyagos kőzetliszt (1,0-1,5 m)

Fakósárga, szürkefoltos, tarka, keményen összeálló gyengén csillámos, jól rétegzett, vékonyréteges ártéri képződmény.

4.3. A kereszteződés k-i oldalánál lévő bevágás – 3. észlelési pont

A szelvény ÉÉK–DDNy-i irányú, 9-10 méter valós vastagságú üledéksorozat tanulmányozására adott lehetőséget. A képződmények teljes vertikuma itt is horizontális kapcsolódási pontokon keresztül volt vizsgálható.

A vörösayag eróziósan roncsolt, neotektonikusan tagolt hullámos felszínére (bonyolult területi elrendeződésben) egymással összefogazódó folyóvízi, szárazvölgyi és lejtőüledékek, több generációban futóhomok, valamint löszképződmények települnek (9. ábra).

4.3.1. Vörösayag (paleotalaj) (0,5-2,5 m)

A 2. pont bázisképződményével megegyező, erodált felszínű, lilás tónusú barnászörös agyag. Nedvesen erősen síkos tapintású, szárazon fényes vágási felületű, szívós, erősen mangánfoltos agyag.

4.3.2. Vörösayagos lejtőhordalék (változó vastagságú)

A vörösayag egyenetlen felszínén, a lejtők alján lejtőirányban kivastagodó — vörösayagot, lösz eredetű anyagot tartalmazó, kaotikus szerkezetű összemosott mészkonkréciós lejtőagyag táru fel, ami a felszínén talajosodott (lokálisan). A képződmény hasonlít a „bátaszéki tarka agyag” megjelenésére, másrészt a talajvíz zónában nagy amorf, kemény, belül szürkés padszerű mészkonkréció-zsinór települ (15-20 cm). D-felé a fiatalabb fekvő anyagának megfelelően deluviális szoliflukciós képződmények táru fel.

4.3.3. Folyóvízi homok (változó vastagságú)

A lejtőagyag az erősebben erodált (É-i) oldalon keresztrétegzett folyóvízi homokkal fogazódik össze (10. ábra).

4.3.3.1. Proluviális lejtőlösz (változó vastagságú)

A vörösayagos delúvium az eróziós fekvő másik (D-felőli) oldalán erősen mészkonkréciós proluviális völgykitöltő fakósárga lejtőlösszel fogazódik össze.

4.3.4. Mészkonkréció-zsinóros lösz, lejtőlösz (2,0–4,0 m)

A feltárás (a bevágás leírt szakaszának) D-i részén fakósárga, erősen mészkonkréció-zsinóros lösz települ 2,0–4,0 m vastagságban. Ez elsősorban nem talajosodás hatásának, hanem inkább az erősen ingadozó magas talajvíz-állás hatásának látszik. D-felé haladva ez a hatás kissé csökken.

4.3.5. Barna erdőtalaj agyagos kőzetliszt (1,0 m)

A löszön barna erdőtalaj horizont települ. A barna erdőtalaj a feltárás É-i oldala felől erodált, nyesett szelvényű, ami ezen az erodált szakaszon lényegében a jelenlegi felszínen van. A változó mértékben roncsolt szelvényen a recens talajosodás (sztyeppesedés) hatásai is látszanak, ami így egy poligenetikus komplex talajszelvényt képez. D-felé a barna erdőtalajra futóhomok települ.

Ezt a talajt és a fekü mészcsíkos lösz is egy kulisszás lefutású, lényegében s felszínig hatoló neotektonikus törésrendszer szabdalja. A törésrendszer litoklázisai között van vékony, kitöltetlen, mangánosodott felületű, valamint vízhatás következtében glejes szürke kitöltésű, és limonitos kéreggel jellemezhető is. Ugyancsak jellemzőek a mésszel kitöltött törések, litoklázisok is (11. ábra, 12. ábra).

Ez a talajhorizont korrelál az 1-es pontban leírt — homokkal, barna erdőtalaj-hordalékkal kitöltött — repedésrendszerrel szabdalta barna erdőtalajjal.

4.3.6. Futóhomok (változó vastagságú)

A paleotalajt részben (D-felé) változó vastagságú fakószürke futóhomok fedti.

4.3.7. Recens talaj (0,4 m)

A futóhomokon közepesen fejlett sztyepp talaj települ. Ez a recens talajosodás nemcsak a futóhomokon, hanem az É-felé megfigyelhető eróziós felszínen feltároló paleotalajon is jellemző.

Szerkezeti elemek

A barna erdőtalajt és a fekü lösz sorozatot (4. és 5. képződmények) a szelvények aljától a felszínig hatoló törésrendszer szabdalja. A 0,5-3 cm széles, egyenes illetve kulisszás lefutású törések részben kitöltetlenek, mangánosodott felületűek, részben világosszürke karbonáttal, glejesedett agyaggal kitöltöttek és limonit kéreggel bevontak (11. ábra, 12. ábra).

Megjelenésük lehet egyedi (12. ábra), de rajokban is észlelhető, ebben az esetben az egyes elemek távolsága 10-15 cm (11. ábra). A rétegsor nagyobb részét kitevő löszben, indextréteg híján észlelhető elmozdulás nem figyelhető meg (ennek ellenére létezésük nem zárható ki). A kitüntetett ÉK-DNy–KÉK-NyDNy-i irány mellett számottevő ÉÉNy–DDK és KÉK–NyDNy-i irányokkal, valamint kevés ÉÉNy–DDK-i komponenssel is rendelkezik. A törések nagyobb része meredek, közel függőleges, kisebb hányaduk dőlése 70-80 fokos tartományban mozog, egy-két elem laposabb (58, 60°) dőlésszöggel rendelkezik.

Megjelenésüket tekintve inkább nevezhetők litoklázisoknak mint töréseknek.

Különlegesség, hogy a szelvény tetején, ahol a barna erdei talaj borítja felszínt, a 30°-os szögben rézsűzött, kiszáradt, agyagos térszínen a karbonáttal átitatott, cementált és rövid idő alatt enyhén kipreparálódott törések három irányának találkozási hatszöges felszíni megjelentést kölcsönöz a darabokra szabdalta, dőlő térszínnek (11. ábra). (v.ö.: Balla, 1994 szerinti hatszöges rendszer irányaival, amely szerinte lehetséges, hogy a lösz száradásának a következménye) Kérdésként merül fel, hogy a hazai löszkutatás során esetleg hány alkalommal

írtak le ehhez hasonló felszíneket száradás során vagy fagyhatásra poligonálisan feldarabolódott térszínekként?

4.4. A kereszteződés K-i oldala (3. ábra) – 4. észlelési pont

A 3. ponttól D-re az autópályán átívelő híd É-i (150) és D-i (50) szakaszán lévő útbevágás. A szelvény ÉÉNy–DDK-i irányú, valós vastagsága 7-8 méter. A képződményeket egy folytonos vertikális szelvényben nem, horizontális kapcsolódási pontokon keresztül is hiányosan volt vizsgálható. Alsó szakaszán a bevágás merőleges volt, ami tisztítás után jól hozzáférhetővé vált.

4.4.1. Agyagos lösz, lejtőlösz (L8 horizont)

Élénksárga, helyenként piszkosfehér foltos, mészeres, zavart szerkezetű, erősen mangánszeplős agyagos kőzetliszt. Genetikáját tekintve eolikus-deluviális anyag (13. ábra).

4.4.2. Mediterrán vörös talaj (PD horizont)

Az idős lösz, lejtőlösz hullámos felszínén vörös, mediterrán talaj települ (14. ábra). Ez a hullámosság a felüljáró É-i oldalán lévő szakaszon jellemző. A talaj egyes helyeken követi az eróziós morfológiát, más helyeken nekifut egy elnyesett paleofelszínnek. Ez arra utal, hogy nemcsak egy idősebb kiemelkedést követő eróziós paleomorfológián történt térszíni kiegyenlítődés logikája alapján települnek a képződmények, hanem azokat egy későbbi neotektonikus fázis is felszabdalta és elmozgatta. Ezt erősíti az is, hogy a vörös, mediterrán paleotalajt és feküképződményét a fedő folyóvízi homokjával kitöltött szélesre nyílt neotektonikus repedésrendszer járja át (14. ábra). Ezek formakincse az 1-es pontéra hasonlít, azonban jóval idősebb képződményeket (PD, L8) érint.

4.4.3. Folyóvízi homok, kőzetlisztes homok.

A hullámos felszínű Idős Löszsorozatra fakó sárgásszürke, limonitfoltos folyóvízi összlet települ. Rétegzett, közel szintes településű, változó vastagságú képződmény (az aljzat egyenetlenségeinek függvényében).

4.4.4. Erdőssztyepp talaj

A folyóvízi összletet egy (alluviális alapkőzeten kialakult) mészgumós C-szinttel rendelkező jól fejlett, zonális csernozjom barna erdőtalaj fedi.

4.4.5. Lejtőlösz, futóhomok

A feltárás záró szakasza rossz feltártság mellett részben mészgumós, löszös eredetű lejtőképződményeket, részben futóhomokot tár fel, amit változó fejlettségű sztyepp talaj fed.

Szerkezeti elemek

A vörös, mediterrán paleotalajt és feküképződményét a fedő folyóvízi homokjával kitöltött szélesre nyílt törések rendszere tagolja. A törések megjelenése az 1 - es ponthoz hasonlítanak, azonban jóval idősebb képződményeket (PD, L8) érintenek.

A törések 5-60 cm szélesek, közel függőlegesek, hullámzó, kissé egyenetlen falakkal határoltak. Kitöltő anyaguk a fedőt anyagát alkotó folyóvízi – részben aleuritos – homok (3. képződmény). A törések falát mindenhol vékony, kemény mészlepedék, vagy akár 2-3 cm vastagságot elérő mészkéreg borítja (14. ábra, 15. ábra). Ehhez vastag mészkéreghez kapcsolódik a terület vizsgált töréseinek egyetlen valószínűsíthető, KÉK–NyDNy-i csapású felület kelet felé 8°-os szögben vetőkarca is (14. ábra). Ez volt egyben az első szerkezeti elem, amit a terület első, gyors bejárása során megtaláltunk.

A terepi vizsgálatok időpontjában a falszakaszon összesen 18 db törést ástunk ki, ezek közül 6-7 db több deciméter széles volt, egymástól 2–5 méter távolságban helyezkedtek el. A továbbiak szerkezetek a tanulmányozott szelvény teljes szélességében észlelhetők és mérhetők voltak. A szerkezeti irányok ÉK-DNy–KÉK-NyDNy és NyÉNy–KDK körül csoportosulnak. Előbbihez kevesebb, de markánsabb törések – vastagabb karbonát kéreggel a törések falán, oldalelmozdulásra utaló, laposan dőlő karcokkal, nagyobb nyitottsággal – utóbbiakhoz nagyobb számú, de kevésbé markáns megjelenésű (cm-10 cm szélesség, gyengébben cementált falú) elemek tartoznak. A szerkezetek dőlésszöge meredek, néhány kivételtől eltekintve a függőlegeshez közeli.

A töréseket kitöltő és azokat egyben fedő folyóvízi üledéksor korát a törések kialakulásának idejének tekintjük. Mivel anyaga folyóvízi eredetű homok, így alkalmas optikai luminescens (OSL) kormeghatározásra. A fedő- és kitöltő-üledékek vizsgálatát a MÁFI OSL Laboratóriumában Thamóné Bozsó Edit végezte el. Eredményei alapján, a törést kitöltő üledék $14,3 \pm 2,7$; a törést közvetlen fedő üledék kora $13,2 \pm 1,9$ ka-nak adódott (15. ábra).

5. A terület földtani felépítése és fejlődéstörténete

Jelen földtani vázlat az 1–4 pontok által reprezentált területre értendő. A vizsgált szakaszon végig megfigyelhető, hogy az egymással megfeleltethető képződmények úttest K-i oldali bevágásában magasabban települnek, mint a Ny-i oldalon, vagyis a képződmények dőlnek, kibillentettek és a dőlés jelentős Ny-i összetevővel rendelkezik.

A rétegtani egységek tagolásánál és párhuzamosításánál Marsi és társai [39] valamint Gyalog és társai [20] munkáit vettük alapul.

5.1. A keresztirányú (KÉK–NyDNy-i) szelvény elvi rétegsora

Az autópályára közel merőleges irányú szelvényét alapvetően a 2. pont jellemzi (16. ábra). A sorozat záró szakaszát itt már letakarították.

A legidősebb feltárt képződmény tengelici vörösgyag. Ebben a szelvényben eróziósan letarolt, egyenetlen felszínű vörösgyag táru fel. A Formáció leginkább kiemelt szakasza egy ÉNy–DK-i irányú hátat formáz, melynek tengelye a feltárás közepén húzódik. Az eróziós fekvő magasabb részeire lejtőüledék, mélyebb térszíni szakaszaira pedig a delúviummal összefogazódó folyóvízi és mocsári üledék települ.

A lejtőüledék fakósárga, mészkonkréciós, zavart szerkezetű képződmény, ami döntően lösz áttelepítéséből keletkezett. A képződmény az alacsonyabb térszíni szakasza felé agyagosodik, mészcsomóssá, egyre inkább glejffoltossá válik, ami talajvíz-hatással magyarázható.

A lejtőüledékekkel változatos genetikájú folyóvízi-ártéri, meder, valamint mocsári rétegek fogazódnak össze. A folyóvízi mederüledéket drapp, szürke és limonitfoltos, jól rétegzett, keresztarétes, durvahomok-zsinóros középszemű homok alkotja. A képződmény színes elegyrészekben gazdag, közepesen, gyengén osztályozott, közepesen koptatott anyagú, benne neotektonikus mikrovetők, terheléses vízkiszorításos mikro-szerkezetek látszanak.

5.2. A hosszanti (ÉÉNY–DDK-i) szelvény elvi rétegsora

Az autópálya nyomvonalával egyező irányú, közel ÉÉNY–DDK-i irányú szelvényt az 1, 3 és 4. pontok reprezentálják. Ebben a keresztjelvényben tapasztaltakkal megegyezően egy középső pleisztocén kiemelkedést követő eróziós szakasz következtében kialakult erodált roncsolt feké tárul fel, melyre változatos genetikájú és felépítésű középső-felső pleisztocén fedő települ. Erre egy újabb szerkezeti, morfológiai fejlődést követően felső pleisztocén folyóvízi és eolikus üledékek rakódtak (9. ábra).

Az első neotektonikus kiemelkedést követő eróziótól megkímélt „idős” feké képződményei É-ről (a keresztirányú szelvény metszéspontja térségétől) D-felé fiatalodnak. Az É-i részen a Tengelici Vörösagyag Formáció tanulmányozható. A D-i oldalon feltárul az Idős Lösshorizont Alsó Összetének L8 és PD horizontja (vagy ezeknél idősebb mediterrán talaj és annak lösz, lejtőlössz alapköze) is. Az L8 löszhorizont fakósárga, piszkossárga, tarka, erősen mállott, zavart szerkezetű, gyengén vékonyrétegzett, mészcsíkos, mészgöbceses agyagos kőzetliszt (részben eolikus, részben deluviális eredetű képződmény). Rajta váltakozó mértékben erodált feltalajú típusos vörös, mediterrán talaj települ.

A letarolt idős feké nagy területű enyhe lejtőire É-felé kivastagodó lösz eredetű mészcsíkos, agyagos deluviális-szoliflukciós sorozat települ. É-felé, a Tengelici Formáció egykori felszíni megjelenése következtében kevert tengelici-lössz a lejtőképződmények alapanyaga, majd (méginkább É-ra) jellemzővé válik a Tengelici Formáció lehordott anyaga. A lejtőüledéket az eróziós fekémorfológia függvényében vonalas anyagszállítási termékek, pl. proluviális -, folyóvízi (meder és ártéri), valamint mocsári üledékek helyettesítik. Ezen – völgyi – kifejlődések szerepe É-felé (a helyi üledékgyűjtő centruma irányába) növekszik.

A reliefenergia csökkenésével meg tudnak jelenni a területen a löszképződmények is. Ezek fokozatosan teret nyerne – kezdetben a lejtőképződmények, majd a domborzati kiegyenlítődés következtében a proluviális és alluviális képződmények rovására is. A Lössformáció a mintegy 1,0 km hosszú bevágás É-i felén nyomozható felszíni feltárásban, ahol egy, az Idős Lösssorozat Felső Összetébe tartozó, helyenként sajátos kifejlődésű löszhorizont, egy mészkonkrécio-zsinóros lösz, lejtőlössz tárul fel, melyre típusos barna erdőtalaj települ. Ez a rétegszakasz a Paksi Lössformáció regionális kifejlődése alapján az MB, ill. L6, vagy a PH, L7 horizontokat képviselheti.

A rétegsor záró szakaszát egy újabb neotektonikus szerkezeti deformációt és lepusztulást követő folyóvízi és eolikus üledékképződés képezi. A folyóvízi képződményeket jól rétegzett mederhomok, kőzetlisztes homok alkotja, melyre egy az alluviális üledéken kifejlődött zonális erdőssztyepp talaj települ. A folyóvízi üledék együttes a feltárt szakasz D-i részén jellemző, ami arra utal, hogy a kiemelkedés az előző szerkezeti mozgásokhoz képest fordított irányú kibillenést eredményezett. Ennek következtében a lokális üledékgyűjtő centruma is a vizsgált terület D-i oldalára helyeződött át. A folyóvízi üledékképződést eolikus futóhomok lerakódás váltotta fel, ami részben az ártéri aljzatra, másrészt az erodált lösz - paleotalaj fekére települt. Egyes térszíneken futóhomok lerakódása már a folyóvízi üledékképződéssel párhuzamosan folyt. Ezt támasztja alá, hogy egyes futóhomokkal fedett részeken az alluviális erdőssztyepp

talajosodással párhuzamosítható vastag futóhomok alapkőzetben kifejlődött erdőssztyepp talaj alakult ki. A fiatal üledékképződés záró szakaszában folytatódott a futóhomok lerakódása, ami helyenként sztyeppesedett. Más területeken nem volt futóhomok lerakódás, hanem az erodált középső pleisztocén döntően lösz -, vagy paleotalaj került felszínre. Ezen maradványfelszíneket vékony lejtőüledék fedi, vagy a recens talajosodás sztyeppes bélyegei mutatkoznak rajtuk.

Az ellentétes irányú kibillenés mellett az üledékképződés záró szakaszához kapcsolódó neotektonikus kiemelkedéshez köthetők a területen nyomozható – különböző felszíni, felszín közeli képződményeket ért – gyűrődéses deformációk, vetők és vízkiszökéses mikro-szerkezetek is. A mikrovetők több ponton is jól felismerhetők. A 3. pont feltárásában a recens talajosodási folyamatokkal transzformált maradványfelszín lösz és paleotalaj horizontját harántolják, lényegében a felszínig hatolnak. Itt nem nyíltak szét a neotektonikus repedések, hanem kitöltetlenek, esetleg glejes elszíneződésű zárt repedések, vagy vékony karbonátos, esetleg limonitos anyaggal kitöltött repedésrendszer nyomozható. Az 1. pont feltárásában egy barna erdőtalaj horizontot és típusos lösz alkotta feküjét járják át felfelé fokozatosan kiszélesedő, szétnyíló – és feltehetően nyírásos jellegű – repedések, melyeket a repedésrendszer által átjárt paleotalaj behullt, begyűrt anyaga és a fedőben települő futóhomok tölt ki. A 2. pontban a folyóvízi összletet kis elmozdulásokat eredményező mikrovetők szabdalják, melyekhez szintén üledékes deformációk és vízkiszökéses szerkezetek társulnak. A 4. pontban a meggyűrt, felboltozódások, vetők által tarkított, eróziós mediterrán talajosodott térszint és feküjét markáns, megjelenésüket tekintve az 1. pont repedéshálózatához hasonló, felfelé fokozatosan szétnyíló repedésrendszer járja át. Ezeket nagyrészt a fedőben települő folyóvízi homok tölti ki.

5.3. Szerkezetföldtani értelmezés

A vizsgált terület pleisztocén rétegsora és az észlelt tektonikai elemek alapján két nagyobb szerkezetfejlődési fázis nyoma mutatható ki.

Elsőként egy középső pleisztocén kiemelkedést követő eróziós szakasz következtében kialakult erodált roncsolt – Tengelici illetve mediterrán vörös agyagot tartalmazó fekü tárul fel, melyre változatos genetikájú és felépítésű – többek között lösz, folyóvízi-ártéri üledékeket tartalmazó – középső–felső pleisztocén fedő települ. Ez feltehetően a területet nyugatias irányban ki is billentette.

Másodikként erre egy újabb szerkezeti, morfológiai fejlődést – feltehetően szintén kiemelkedést, eróziót és billentést – követően felső pleisztocén folyóvízi és eolikus üledékek rakódtak. A fedőüledékek képződése során képződtek a 1, 3. és 4. helyszíneken megfigyelt szerkezetek.

A kimutatott szerkezetfejlődési fázisok jó összhangban vannak a Duna - völgy középső részén tett neotektonikai és paleoszeizmológiai megfigyeléseink eredményeivel. A Magyar Nemzeti Kutatási Alapprogram (OTKA K75801) és a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatói Ösztöndíja (Magyar Á., 2009-2012) keretében több régió számos pleisztocén feltárását vizsgáltunk Budapest környékén, Paks tágabb térségében, Észak-Somogyban, valamint délen a Baranya/Baranja régióban (Horvátország északi részén). A vizsgált szelvények döntő többsége az M-0, M-31, M-6 és M-7 autópálya építkezések idején létesített útbevágások voltak és ma már nem tanulmányozhatók.

A helyi eltérések és speciális jellegzetességek ellenére néhány közös tulajdonság mindig felismerhető volt a vizsgált pleisztocén szelvényekben. Többek között a középső-felső

pleisztocén időszakban két fázisban kimutatható erőteljes szerkezetfejlődés, amelyeket minden helyszínen eróziós nyomok jeleznek. Az idősebb fázis az L5/L6 löszhorizontok lerakódása során, a fiatalabb az L3 lösz lerakódását követően alakulhatott ki. Az szerkezetfejlődés első (idősebb) fázisához gyakran a vörösayagos térszínreig csonkolt üledékes sorozatok, átülepítések, kibillent szerkezetek és szeizmiték társulnak. A második (fiatalabb) eseményt az eróziós és üledékes átülepítési bélyegeken túl főleg litoklázisok, nyitott törések, kinkszerkezetek, nyírásos- és normál eredetű vetők jelzik.

A felsorolt neotektonikai eredetű jelenségek egyben $M \geq 5$ paleoszeizmológiai aktivitásra utalnak. Az események mindkét időszaka régiós szinten is jól azonosítható a késő-pleisztocén időszak folyamán, a Duna-völgy középső részén, a PAE 100 km-es sugarú környezetében [33][34][35][36][37][39][50].

5.3.1. Az 1. és 4. helyszíneken megfigyelt törések közös jellegei:

- Kialakulásuk és megőrződésük relative idős, kemény és eróziós felületű térszíneken történt:
 - helyszínen Idős Löszsorozatba tartozó barna erdőtalaj típusú paleotalaj agyagos AB és kemény, cementált karbonátos „C” szintjében
 - a 4. helyszínen kemény, szívós mediterrán vörös agyagos üledékben
- Néhány cm - 60 cm tágulást és ugyanekkora vertikális elvetést mutatnak
- Mindkét helyszínen a törések falával hegyes szöget bezáró és/vagy közel párhuzamosan irányított, lapos karbonát anyagú klasztok találhatók
- A törések falát mm-cm vastagságú karbonátos bevonat borítja
- Irányaik nem szórnak: két nagyobb – KÉK-NyD Ny – NyÉ Ny-KDK-i – maximum köré csoportosulnak (= 60-70 – 100-110 csapású irány, a „Paksi-törés” iránya)
- Ebből a KÉK-NyD Ny-i a nagyobb számban és markánsabban bélyegekkal megjelenő irány (nyírásos és tágulós elemek, nyírásra utalható klasztok, oldaleltolódást jelezhető karcolt vetőfelszín)
- A törések dőlése többnyire meredek, 70-90° közötti
- Mindkét helyszínen több méter vastag, laza, homokos üledék fedi a töréseket befogadó relative keményebb eróziós térszint, ami kedvezett a kinyíló szerkezetek kitöltéséhez és konzerválódásához
- A törések a fedő puha üledékben nem vagy alig látszanak, de a mai felszín alatt 3-4 méterrel – ami a befogadó és fedő üledékük határát jelenti – lefelé, a feltárási viszonyoktól függően végig követhetők
- A teljes vizsgált horizontális szelvényisélességben észlelhetők
- OSL módszerrel meghatározott koruk nagyságrendileg azonos (5000-15000 évesek), a kitöltő és a fedő üledékek kora jó összhangban van a települési sorrenddel:
 - Az 1. helyszínen kora-középső holocén: $7,7 \pm 1,1$ ka a törést kitöltő; $5,5 \pm 1,1$ ka a törést közvetlen fedő; $5,1 \pm 0,7$ ka a magasabb helyzetben lévő fedőüledék kora.
 - A 4. helyszínen késő-pleisztocén: $14,3 \pm 2,7$ ka a törést kitöltő; $13,2 \pm 1,9$ ka a törést közvetlen fedő üledék kora.
- Az 1. helyszínen domináns KÉK-NyD Ny-i a 4. helyszínen domináns NyÉ Ny-KDK-i maximumok azt sugallják, hogy az észlelt szerkezetek irányát a feltárási tájolása is befolyásolhatja.

5.3.2. A 3. helyszínen – idős löszben – megfigyelt törések/litoklázisok közös jellegei:

- Irányuk szórtaabb képet mutat, mint az 1. és 4. helyszíneken mért értékek: a kitüntetett ÉK-DNy – KÉK-NyDNy - NyÉNy-KDK irányok mellett számottevő ÉÉK-DDNy és kevesebb ÉÉNy-DDK-i komponensekkel is rendelkezik (v.ö. Gerner [17], által 1400 mérésből kiszűrt tektonikusnak minősíthető irányokkal, amelyek Balla [9], szerint hatszöges rendszerhez hasonlóak és lehetséges, hogy a lösz száradásának a következménye)
- Deciméteres sűrűségben, rajokban észlelhetők
- Centiméteres nagyságban kulisszasan ellépők
- Részben mangánosodott felületűek, részben világosszürke karbonáttal, glejisedett agyaggal kitöltöttek és limonit kéreggel bevontak
- Bezáró kőzetük idős lösz:
 - anyaga az 1. és 4. helyszíneken észlelt törések befogadó kőzetéhez képest homogénebb, de porózusabb
 - anyaga a fiatal löszökénél karbonáttal erősebben cementált és mint ilyen, azoknál keményebb és állékonyabb üledéknek számít
- A törések a teljes szelvényben nyomon követhetők, ahol a lösz fedő barna erdei talaj a mai térszínen megjelenik, ott a felszínig is kifutnak
- Markáns indexréteg hiányában észlelhető elmozdulás nem figyelhető meg, bár meglétük cm-es nagyságrendben a kulisszás lefutás alapján valószínűsíthető
- A törések nagyobb része meredek, közel függőleges, kisebb hányaduk dőlése 70-80°.

5.4. Diskusszió

A fentiek alapján megállapítható, hogy a mért töréses szerkezetek:

- neotektonikus eredetűek
- deformálják a negyedidőszaki képződményeket
- nyírásos és tágulós elemeket tartalmaznak
- létrejöhetnek egyazon feszültségtérben vagy egymást követve
- kialakulásuk részben még tartott az elmúlt 10000 évben is.

Előre nyomozott vagy azonosított, az aljzatban futó szerkezet vagy „zavarzóna”, illetve a felszínen észlelhető nagyobb szerkezet hiányában további kérdés, hogy mi a törések kialakulásának eredete, kialakulásuk kapcsolható-e valamely bizonyított – esetleg nagyobb – szerkezeti pásztához, illetve beilleszthető-e a jelenleg elfogadott regionális neotektonikai modellbe [6][25]?

Egyik lehetséges megoldás, ha a helyszínt és a töréseket a regionális, eddig ismert neotektonikai környezetbe helyezzük. Ebben az esetben a megfigyelt szerkezetek jelentős részének iránya és kinematikai jellege jól illeszkedik a Dél-Dunántúlon húzódó nagyjából ÉK-KÉK-DNy-NyDNy-i csapású szerkezeti pászták által meghatározott vetőmintához, szeizmikus szelvények alapján meghatározott szerkezeti mintához és stílushoz, valamint a szerkezetek által becsülhető feszültségtérhez [7][25].

Az eltolódási zónákban kialakuló szerkezeti elemek általános, elvi sémája alapján cf. [21][22] a fenti, észlelt – és a legnagyobb számban és legmarkánsabb bélyegekkel megjelenő (ÉK)KÉK-(DNy)NyDNy-i csapású törések balos eltolódásosnak adódnak, mint a nyírászóna fő törésiránya (és/vagy R - töréseknek). Jellegük tágulós vagy tisztán eltolódásos lehet. A második NyÉNy-KDK-i fő irány R', míg a további ÉÉ-DDNy-i elemek (főleg a löszben mért

litoklázisok) a tágulás irányára merőleges elemek és vetők alkotta T-töréseknek adódnak. Mindezek jó összhangban vannak a töréses szerkezetek terepen megfigyelt és leírt tulajdonságaival.

Továbbra is hiányzik egy regionális szerkezeti elem, amihez a szerkezetek kapcsolhatók. A környezetben a vizsgálati területhez legközelebb, délre, a Duna paksi kanyarulatának déli végében futó a Kapos-vonal található. A terület geofizikai vizsgálatának eredményei – vagy a szerzőnek e területre vonatkozó ilyen jellegű ismeretei – hiányában e vonalhoz, vagy egy ahhoz tartozó oldalág vagy párhuzamos szerkezeti elem meglétéhez kapcsolni a kimutatott szerkezeteket annak ellenére, hogy kézenfekvő megoldás lenne, a munka jelenlegi stádiumában csak feltételezés.

Másik megoldás, ha két KÉK-NyDNy – NyÉNy-KDK-i fő irányt konjugált töréspárnak tekintjük, kicsi, de észlelhető elvetésekkel. Hasonló töréspárok kialakulása gyakran figyelhető meg antiklinálisok vagy sódóмок fedőüledékeiben. Ez jelen esetben a pannon aljzat és/vagy a fedő pliocén/kora-pleisztocén Tengelici Agyag képlékeny állapotú redőződése fölött – a gyűrődés folyamata által kiváltott –, nem konszolidált, üledékes fedő üledékben/rétegekben zajlott/zajló, töréses deformációt látjuk. A folyamat rendkívül fiatal, feltehetően jelenleg is aktív.

A redőződés - elvi alapon - lehet tisztán kompressziós. A regionális neotektonikai modellt figyelembe véve - gyakorlati alapon pedig - eltolódási zónákra általában jellemző kulisszás, vagy az ismételt megújulások miatt utólag deformálódott redők, esetleg az eltolódások mentén gyakran megjelenő vetőkapcsolt redők kategóriájába is tartozhatnak. Ebben az esetben is a fő regionális szerkezeti elem ÉK-KÉK – DNy-NyDNy-i irányúnak várható.

Mindenesetre a vizsgált terület részletes geofizikai vizsgálata tovább segíthet annak megválaszolásában:

- Meddig terjed a törésekkel érintett terület határa, ez mutat-e valamilyen irányítottságot és van-e kapcsolat a jelenlegi morfológiával?
- Kapcsolhatók-e a megfigyelt mikrotektonikai elemek nagyobb szerkezet jelenlétéhez?
- Ha igen, milyen vagy melyik regionális neotektonikai szerkezeti elemhez tartozhatnak?

6. A paksi kikötő bővítésének szelvénye és földtani értelmezése

2015. októberében a Paks belterületén, annak déli részén, a paksi teherkikötő bővítése során a Duna jelenlegi magas árterének (I.b.) peremét egy támfal építése miatt megbontották (1. ábra, 17. ábra).

6.1. A kikötői rétegsor

A feltárás mintegy 80 m hosszú, 2,0 - 2,5 m magas közel É-D-i irányú fal, ami az épülő kikötői támfal munkagödre. A szelvény öt pontján végeztünk neotektonikai értékelést és dőlésméréseket. A részletesen leírt szelvényszakasz a feltárás É-i végén van.

6.1.1. (0-0,25 m) humuszos öntéstalaj A-szint

Barnásszürke, kissé tarka, közepesen humuszos, apródiós, morzsás szerkezetű, képlékeny agyagos kőzetliszt. Egy dunai öntésen kialakult közepesen fejlett talaj felső szakasza. Kissé zavart szerkezetű, az alapkőzet eredeti rétegzettsége a talajosodás miatt nem látszik.

6.1.2. (0,25-0,3m) humuszos öntéstalaj BC-szint

Keskeny átmeneti altalaj az ártéri öntésiszap és a humuszos feltalaj között. Felfelé sötétedő tónusú barnásszürke, gyengén humuszos, agyagos kőzetliszt.

6.1.3. (0,3-0,8 m) ártéri kőzetliszt (iszap)

Piszkos szürkésárga, barnásszürke öntésiszap, helyenként vékony, az iszapnál világosabb tónusú finomhomok zsinórokat tartalmaz. A képződmény felső része porózus, rétegzetlen, pad-szerű, limonitfoltos tarka. Alsó szakasza vékonyrétegzett, mintegy 3 mm-es rétegek váltakoznak.

6.1.4. (0,8-1,4 m) ártéri finomhomokos kőzetliszt (iszap)

A szakasz szürkésbarna sávós, tarka; világosabb tónusú durvább és sötétebb tónusú finomabb szemcsés részek váltakozásából áll. Közepesen rétegzett, kissé szabálytalan közel enyhén Ny-i dőlésű 0,3-2,0-6,0 cm-es változó mértékben finomhomokos, kőzetlisztes és agyagos képződmény. A finomhomok frakció jól osztályozott, uralkodóan kvarc anyagú, kevés metamorfit szemcsével és csillámmal.

6.1.5. (1,4-2,0 m) ártéri kőzetliszt (iszap)

Szürkésbarna sávós, kiválóan vékonyréteges 0,2-0,5-1,0-2,0 cm-es változó összetételű agyagos, kőzetlisztes és finomhomokos rétegekből áll. Laminárisan, helyenként kissé ívelten réteges, leveles szakasz. Valószínűleg a gyakori vízszint ingadozások miatt erősen glejes, limonitfoltos képződmény.

6.1.6. (2,0-2,2 m) folyóvízi homokos kavics (mederüledék)

A leírt ponton a szelvény mintegy alsó 20 cm-ében osztályozatlan közép- és durvaszemű homokos aprókavics táru fel. A kavics anyaga főként kvarc, itt közepesen, jól kerekített, jellemzően 0,5-1,5 cm átmérőjű. A homok frakció éles, gyengén koptatott szemcsékből áll. Anyaga sárgásfehér és víztiszta kvarc, néhány sötétszürke és fekete metamorfit szemcsével.

A feltárásban D-felé haladva a kavicsos mederüledék fokozatosan kivastagszik, északi irányban összefogozódik az ártéri finomhomok, kőzetliszt és agyag váltakozásából álló sorozattal és a támfal D- i szélén eléri a 0,8-1,0 m vastagságot. A rétegsor egésze DNy-i irányban 15-20°-al kibillentett.

6.2. Az észlelt rétegsor földtani értelmezése

A feltárás É-i szegélyének teljes szelvényét az ártéri eredetű, barnás- és sárgásszürke, limonitsávós, vékonyrétegzett, lemezes közép- és finomszemű homok, kőzetliszt és szürke-világosszürke agyag váltakozása adja. Szembetűnő jelenség, hogy a rétegek, lemezek határa hullámos, csipkés, vastagságuk kis távolságon belül is változékony. A 0,5 - 5 cm vastag homok

és homokos kőzetliszt tartalmú szintekben pedig üledékes deformációk, vízkiszökések sorozata illetve a – nagyobb agyag tartalmú rétegek közé zárt homokosabb – 0,5-1,5 cm vastag rétegek hurkásodása látszik, melyeket a finomabb szemcseméretű fedő és fekvő kőzetliszt és agyagos kőzetliszt lemezek (helyenként vékony rétegek), mikrogyüredezetten, illetve hullámosan megnyúlva keretezik. Ez a típusú mikrogyüredezettség vízzel telített, agyagos fedő és fekvő közé zárt homokos üledékekben gyakran fordul elő mikro-méretű vetődésekkel, kinkszerkezetekkel és/vagy víztelenedési jelenségekkel együtt (18. ábra, 19. ábra).

A megfigyelt és leírt jelenségeket az pórusvízzel átítatott üledéken áthaladó földrengés hullámok keltette túlnyomás okozhatta cf. [31][38][44]. Ennek nyilvánvaló jelei a vízkiszökéses, vagy oszlop- és tálszerkezetek. Ehhez kapcsolódik a mikrokredőződés kialakulása is, melyet a pórusvíz nyomásának kismértékű megváltozása vált ki, így létrejött nem az elsődleges tektonikai feszültségtér függvénye [53]. A hurkásodás kialakulásakor pedig a nagyobb porozitású üledékben (itt finomhomokban) keletkező túlnyomás a záróréteg szigetelő hatása miatt – amikor azt nem képes fölfelé átszakítani – oldalirányban (is) igyekszik feloldódni és hullámos, szabálytalanul változó rétegvastagságokat eredményez.

A homokrétegekből OSL kormeghatározásra mintavétel is történt. A vizsgálat az MFGI optikai luminescens laboratóriumában folyamatban van. Előzetesen azonban elmondható, hogy tekintve a folyóvízi-ártéri üledéksorozat tetejére települő recens humuszos öntéstalaj fejlettségét és a humifikáció sebességét, a vizsgált szelvény záró tagjának (a talajszelvénynek) a kora néhány ezer – 2-300 év közé tehető. Ebben az időszakban történhetett a deformációkat okozó földrengés is, amelynek a kormeghatározás eredményének megszületése után is csak a képződési időintervalluma pontosítható, ugyanis az üledék lerakódása óta számtalanszor lehetett vízzel átítatott (magas vízállások idején) ezért deformáció kialakulására és megőrzésére szinte folyamatosan alkalmas.

A szelvényben észlelt deformációs bélyegek azonos – maximum néhány centiméteres – nagyságrendje, az egymással harmonikus formák, a felújulásos és felülírt bélyegek hiánya alapján feltételezhető, hogy egy (paleo)szeizmikus esemény nyomai láthatók az üledékben. Megjegyzendő, hogy a tanulmányozott szelvény azon felülete, amely a leírt bélyegek megőrzésére alkalmas (homok-kőzetliszt-agyag váltakozása) üledéket tartalmaz, csak néhány négyzetméteres volt. A tágabb területet a magas ártér kialakulás óta ért földrengések lehetséges számának részletesebb vizsgálatához további szelvények tanulmányozása ajánlott, akár a PAE-II telephely területén történt árkolásokkal és/vagy a telephely szűkebb/tágabb környezetének részletes/átfógo paleoszeizmológiai felmérésével.

Vízkiszökéses/ víztelenedési szerkezetek (liquefaction features) kialakulásához egy adott erősséget meghaladó rázkódás alapvetően szükséges. Ez a minimális küszöbszint – nagyon érzékeny üledék esetében – legalább 0,1 g vízszintes gyorsulást eredményező földrengés esetében érhető el [28][42]. A világ számos helyéről összegyűjtött történelmi földrengések pedig azt mutatják, hogy vízkiszökéses szerkezetek kialakulásához legalább 5-ös magnitúdó szükséges, de 5,5–6 közötti van az a határ, ami alapvető feltétel ahhoz, hogy az említett szerkezetek már meglehetősen gyakorisággal fordulhassanak elő egy adott területen [4].

7. Összefoglaló megállapítások és következtetések

7.1. Tények / megállapítások

- Paks tágabb környezetében a negyedidőszaki üledékek nem zavarmentesek, azok szerkezeti hatások miatt üledékesen deformáltak.
- A vizsgált területen nyilvánvaló jelei vannak negyedidőszaki töréseknek.
- A vizsgált területen belül 10.000 évesnél fiatalabb, 5-ös magnitúdójú vagy azt meghaladó földrengésekkel lehet számolni.
- A megismert tektonikai elemek és a rendelkezésre álló paleoszeizmikus adatok között kapcsolat tételezhető fel.
- A negyedidőszaki üledékekből gyűjtött adatok alapján következtethető, hogy a vizsgált negyedidőszaki üledékekkel fedett pannon rétegeket is vetők harántolhatják.
- A körzeten belül recens – akár $M \geq 5$ meghaladó – földrengés nem zárható ki.

7.2. Összefoglalás

Paks település tágabb környezetében terepi vizsgálatokkal igazolható bizonyíték van olyan méretű földrengésre, amely kimutatható tektonikus szerkezeteket hozott létre a földfelszín közeli, részletesen vizsgált rétegekben az elmúlt 10 000 évben. Az eddigi megfigyelések alapján a területtől ÉÉNy-ra található törészóna a felszín közelében is létrehozott nyírásos elmozdulásokat, így jövőbeli aktivizálódás esetén képes lehet a felszínt vagy az ahhoz közeli tartományt (újra) elvetni.

7.3. A tények pontosítása érdekében további javasolt vizsgálatok:

- A törészónákat tartalmazó terület geofizikai vizsgálata.
- Részletes paleoszeizmikus vizsgálat a telephely tágabb/szűkebb környezetében.
- A töréses terület árkolásos feltárása és ezek részletes neotektonikai, paleopedológiai dokumentálása, vizsgálata.
- A töréseket kitöltő és fedő üledékek korának újra/referencia mérése (OSL módszerrel).

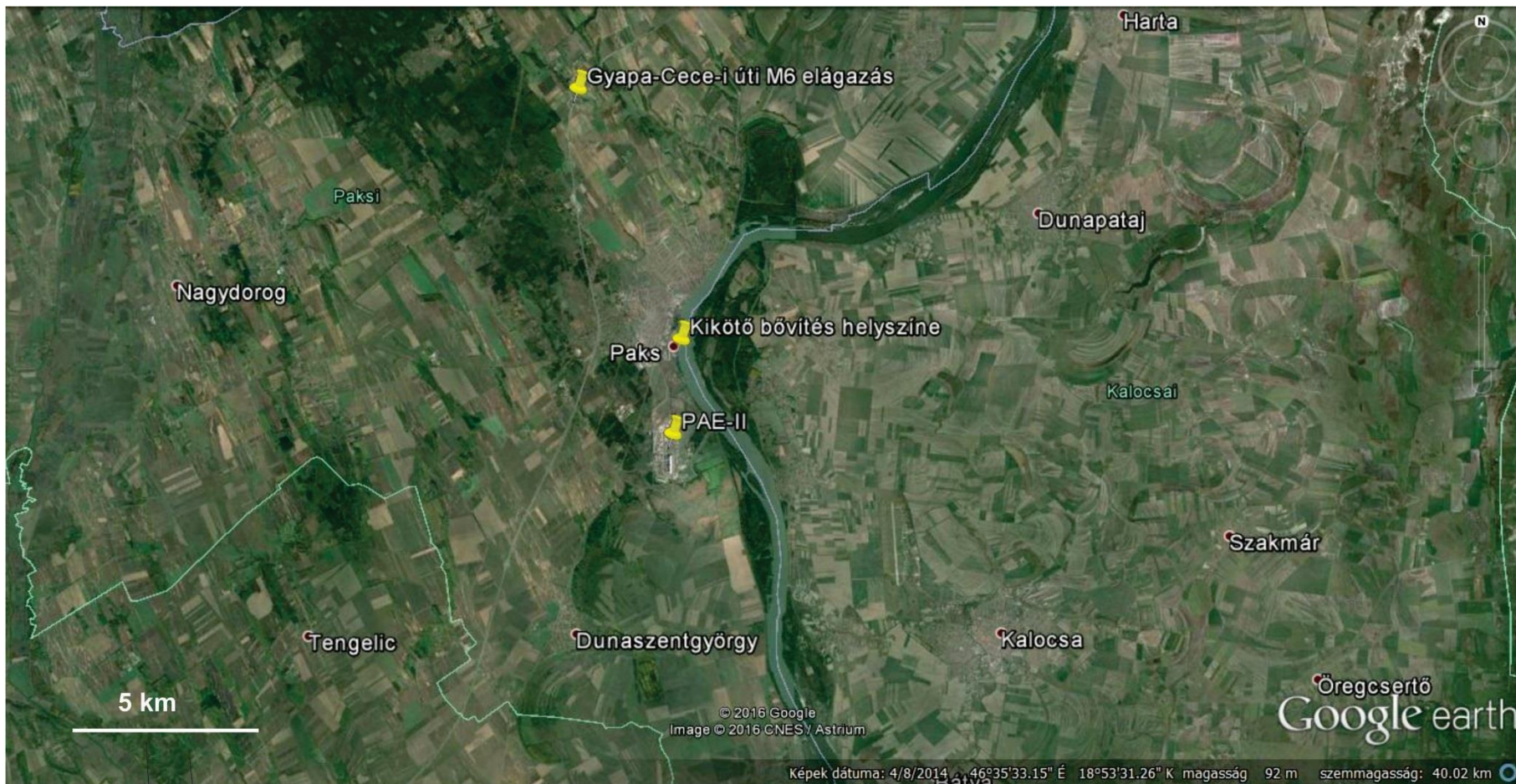
Irodalom

- [1] Ádám I. (1964): A Szekszárdi-dombság kialakulása és morfológiája – Földrajzi Tanulmányok 2. Akadémiai Kiadó, Budapest, 84 p.
- [2] Ádám I. (1969): A Tolnai--dombság kialakulása és morfológiája – Földrajzi Tanulmányok 2. Akadémiai Kiadó, Budapest, 186 p.
- [3] Ádám I., Marosi Sz., Szilárd J. (1959): A Mezőföld természeti földrajza – Földrajzi Monográfiák 2. Akadémiai Kiadó, Budapest, 514 p.
- [4] Ambraseys N. N. (1988): Engineering seismology; earthquake and structural dynamics – J. Int. Assoc. Earthquake Eng. 17. pp. 1-105.
- [5] Bada G., Bus Z., Gribovszki K., Horváth F., Magyar Á., Mónus P., Szeidovitz Gy., Tímár G., Tóth T., Wéber Z., Wórum G. (2005): A tíz éve folyó mikroszeizmikus monitorozás eredményeinek szeizmológiai értékelése és a neotektonikai modell megújítása – A Paksi Atomerőmű tervezett üzemidő-hosszabbítására vonatkozó Részletes Környezeti Hatástanulmányt (RKHT) előkészítő földtani, szeizmotektonikai és geotechnikai értékelés. II. kötet: A tíz éve folyó mikroszeizmikus monitorozás eredményeinek szeizmológiai értékelése és a neotektonikai modell megújítása – Kutatási jelentés az ETV-ERŐTERV Rt. részére, Georisk Kft és Geomega Kft., Budapest, 219 p.
- [6] Bada G., Dövényi P., Horváth F., Szafián P., Windhoffer G. (2007): Jelenkori feszültségtér a Pannon-medencében és alpi-dinári-kárpáti környezetében – Föld.Közl., 137/3, pp. 327-359.
- [7] Bada G., Szafián P., Vincze O., Tóth T., Fodor L., Volkhard S., Horváth F. (2010): Neotektonikai viszonyok a Balaton keleti medencéjében és tágabb környezetében nagyfelbontású szeizmikus mérések alapján – Föld. Közl., 140/4, pp. 367-390.
- [8] Balla Z. (1991): Észrevételek és javaslatok a paksi atomerőmű telephelyére vonatkozó szerkezeti felülvizsgálatok tárgyában – Kézirat, Paksi Atomerőmű Rt. Földrengéses Projekt jelentéstára
- [9] Balla Z. (1994): A telephely neotektonikai viszonyai. In KKÁT telephely általános földtani értékelése - Kézirat, Paksi Atomerőmű Rt. Földrengéses Projekt jelentéstára
- [10] Balla Z., Dudko A., Maros Gy. (1997): Paks környékének mélyszerkezete és tektonikája - in Marosi S., Meskó A. (szerk): A Paksi Atomerőmű földrengésbiztonsága – Akadémiai Kiadó, Budapest pp. 33-47.
- [11] Chikán G. (1992): Paks környékének földtani leírása. Jelentés Paks tektonikai helyzetének pontosítása céljából elvégzett munka eredményeiről, 4. kötet – Kézirat MFGI, Földtani és Tektonikai Adattár
- [12] Chikán G-né, Don Gy., Kókai A., Papp P (1992): A kutatóárkok földtani dokumentációja. Jelentés Paks tektonikai helyzetének pontosítása céljából elvégzett munka eredményeiről, 3. kötet – Kézirat MFGI, Földtani és Tektonikai Adattár
- [13] Chikán G., Kókai A. (1989): Szerkezetföldtani vizsgálatok Tangelic-Szőlőhegy és Pusztacsehe Közt – Kézirat MFGI, Földtani és Tektonikai Adattár
- [14] Chikán G., Chikán G-né., Kókai A., Turzi G. (1997): Földtani vizsgálatok Paks környékén, 1985-1994 - in Marosi S., Meskó A. (szerk): A Paksi Atomerőmű földrengésbiztonsága – Akadémiai Kiadó, Budapest pp. 11-32.

- [15]Dudko A. (1992): A szerkezeti adatok értékelése. Jelentés Paks tektonikai helyzetének pontosítása céljából elvégzett munka eredményeiről, 4. kötet – Kézirat MFGI, Földtani és Tektonikai Adattár
- [16]Dudko A., Maros Gy. (1994): Kőzetrés vizsgálat feltárásokban. A Paksi Atomerőmű körzetének földtani felépítése, 3. kötet - Kézirat MFGI, Földtani és Tektonikai Adattár
- [17]Gerner P. (1993): Löszben mért kőzetreszek neotektonikai elemzése Paks környékén – Kézirat, MFGI, Földtani és Tektonikai Adattár
- [18]Gracsov A.F., Bojarszku M.É., Buné. V.I., Lapusonok I.L., Medvedeva N.Sz., Oser B.V., Poljakova T.P., Steinberg V.V., Szaksz M.V. (1987): Jelentés a paksi atomerőmű szeizmikus veszélyeztetettségéről – Kézirat (orosz nyelven), Paksi Atomerőmű Rt. Földrengéses Projekt jelentéstára
- [19]Gracsov A.F., Frolova N.K., Grigojan Sz.Sz., Gulakjan K.A., Kunin J.A., Mihajlov V.O., Osztroumov A.V., Romanjuk T.V., Uszenko Sz.V. (1989): A Paksi Atomerőmű körzetében lévő törés földtani helyzetének és természetének pontosítása– Kézirat (orosz nyelven), Paksi Atomerőmű Rt. Földrengéses Projekt jelentéstár
- [20]Gyalog L. (szerk): A földtani térképek jelkulcsa és a rétegtani egységek rövid leírása – Magyar Állami Földtani Intézet alkalmi kiadványa, Budapest, 187 p.
- [21]Hancock P. (1985): Brittle microtectonics: principles and practice – Journal of Structural Geology 7, 437-457.
- [22]Harding T.P. (1974): Petroleum traps associated with wrench faults – Bull. Am. Ass. Petr. Geol., 58, 1290-1304.
- [23]Horváth F., Csontos L., Erdélyi M., Ferencz Cs., Gábris Gy., Hevesi A., Síkhegyi F. (1990): Paks környezetének neotektonikája - Kézirat, Paksi Atomerőmű Rt. Földrengéses Projekt jelentéstára
- [24]Horváth F., Csontos L., Dövényi P., Wéber Z., Drahos D., Nagymaros A., Székely B., Tímár G., Györe E., Szabó A., Várkonyi L., Csernyi T., Czeller I. Gombos Cs., Remete L., Samu L., Bunterbarth G. (1993): Paks környezetének szerkezeti viszonyai és nagytektonikai helyzete az újabb szeizmikus szelvények és más földtani-geofizikai adatok komplex kiértékelése alapján - Kézirat, Paksi Atomerőmű Rt. Földrengéses Projekt jelentéstára
- [25]Horváth F., Bada G., Windhoffer G., Csontos L., Dövényi P., Fodor L., Grenerzcy Gy., Síkhegyi F., Szafián P., Székely B., Tímár G., Tóth L., Tóth T. (2005): A Pannon-medence jelenkori geodinamikájának atlasza: Euro-konform térképsorozat és magyarázó – OTKA T034928 sz. projekt, zárójelentés, ELTE Geofizikai Tsz., Budapest, 38 p.
- [26]IAEA Safety Guide (1979): Earthquakes and Associated Topics in Relation to Nuclear Power Plant Siting – A safety guide, 50-SG-S1, International Atomic Energy Agency, Vienna p. 60.
- [27]IAEA Safety Standards for protecting people and environments (2010): Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations – Specific Safety Guide, No. SSG-9, International Atomic Energy Agency, Vienna p. 80.
- [28]Ishihara K. (1985): Stability of natural soil deposits during earthquakes – Proc. Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng. 11th San Francisco, Vol. 1, pp.321-376.
- [29]Jaskó S. (1991): A Duna-völgy neotektonikájának építésföldtani és környezetvédelmi vonatkozásai – Földtani Kutatás, 33 (4) pp. 45-59.

- [30]Jaskó S., Krolopp E. (1991): Negyedidőszaki kéregmozgások és folyóvízi üledékfelhalmozódás a Duna-völgyben Paks és Mohács között – Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jel. Az 1989-ről, pp. 65-84.
- [31]Jones A.P., Omato K. (2000): Towards establishing criteria for identifying trigger mechanisms for soft-sediment deformation: a case study of Late Pleistocene lacustrine sands and clays, Onikobe and Nakayamadaira Basins, northeastern Japan: *Sedimentology*, v. 47, p. 1211-1226.
- [32]Kriván P. (1960): A paksi és villányi alsó-pleisztocén kifejlődések párhuzamosítása – *Föld. Közl.* 90. pp. 301-321.
- [33]Magyari Á. & Marsi I. (2010): Indications of neotectonic activity of Late Pleistocene terrestrial sediments in the middle part of the Danube valley - 4. Croatian Geological Congress with international participation Sibenik 14.–15. 10. 2010. Abstract Book, 397p.
- [34]Magyari Á. (2013): Az Alföld nyugati peremének plio-pleisztocén üledékeinek tagolása és párhuzamosítása (F 75801 számú OTKA kutatási zárójelentése a 2009. 01.01 – 2012. 12. 31. időszakról) – Budapest, Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok irodája, 2013. február
- [35]Magyari Á. Marsi I., Thamó Bozsó E. (2011a): Üledékföldtani és tektonikai megfigyelések az M6 autópálya Paks környéki szelvényeiben. - Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság XIII. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia. Gyergyószentmiklós, 2011. márc. 31-ápr. 3. Abstract 237. oldal.
- [36]Magyari Á., Marsi I. and Thamó Bozsó E. (2011b): Indications of Late Pleistocene Neotectonic and paleoseismic activity in the Middle Part of the Danube Valley (Pannonian Basin) - XVIII. INQUA Congress Bern, Switzerland, 21-27 July 2011, Abstracts 2886.
- [37]Magyari Á., Marsi I., Thamó Bozsó E. (2012): Késő-pleisztocén neotektonikai és paleoszeizmológiai tevékenységek nyomai a Duna-völgy középső részén - Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság XIV. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Arad, 2012. márc. 29 - ápr.1., Abstract 235. o.
- [38]Montenat, C., P. Barrier, P. Ott d'Estevou, and C. Hibsich, 2007, Seismites: an attempt at critical analysis and classification: *Sedimentary Geology*, v. 196, p. 5-30.
- [39]Marsi I., Magyari Á., Zilahi-Sebess L. (2011): Correlation of loess sequences in Southeastern Transdanubia based on field observations, well-log interpretations and laboratory investigations (Hungary). — Konferencia-kötet, Quaternary Sciences – the view from the mountains. XVIII INQUA-Congress, 21-27 July 2011 in Bern, Switzerland, Abstract 3291.
- [40]Marosi S., Meskó A. (1997): A Paksi Atomerőmű földrengésbiztonsága (szerk.) – Akadémiai Kiadó, Budapest p. 187.
- [41]Meskó A., Erdélyi M., Jámbor Á., Rynbach L., Stegena L., Szederkényi T., Varga P. (1993): A paksi atomerőmű földtudományi értékelése – Kézirat, Paksi Atomerőmű Rt. Földrengéses Projekt jelentéstára
- [42]National Research Council (1985): Liquefaction of Soils During Earthquakes – Natl. Acad. Press, Washington DC.
- [43]Pascal D., Lubkowski Z. (1985): Seismic Hazard Reevaluation: Task 2 – European Commission, Phare Programme VVER440-213 - Ove Arup & Partners International Consulting Engineers p. 274.

- [44]Rodríguez-Pasqua, M.A., J.P. Calvo, G. De Vicente, and D. Gomez-Gras, (2000): Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene: *Sedimentary Geology*, v. 135, p. 117-135.
- [45]Rónai A. (1964): A dunántúli és az alföldi negyedkori képződmények érintkezése Paks és Szekszárd között - *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jel. Az 1961-ről*, II. Rész, pp. 19-61.
- [46]Rónai A. (1973): Negyedkori kéregmozgások térképe Magyarországon - *MTA X. Oszt. Közl.* 6. /1/, pp. 241-243.
- [47]Rónai A. (1977): Negyedidőszaki kéregmozgások a Magyar medencében – *Föld. Közl.*, 107. (3-4) pp. 431-436.
- [48]Rónai A. (1986): A magyarországi kvarter képződmények kifejlődése és szerkezeti helyzete – *Földt. Közl.* 116. (1) pp. 31-43.
- [49]Urbancsek J. (1965): Az Alföld negyedkori földtani képződményeinek mélyszerkezete – *Hidr. Közl.* 45. (3) pp. 111-124.
- [50]Thamó-Bozsó E., Ó. Kovács L., Magyar Á., Marsi I. (2014): Tracing the origin of loess in Hungary with the help of heavy mineral composition data *Original, Quaternary International*, Volume 319, 15 January 2014, pp. 11-21.
- [51]Tóth L. (szerk), Csabafi R., Grenczy Gy., Horváth F., Kiszely M., Kosztyu Z., Kovácsvölgyi S., Mónus P., Páncsics Z., Posgay K., Ráner G., Redlerné Tátrai M., Szabó Z., Tóth T., Wéber Z., Zsíros T. (1989): A PAE telephely és környezete mikroszeizmikus megfigyelései – *Összefoglaló Értékelés - Kézirat*, Budapest, p. 164.
- [52]Tóth T., Horváth F. (1997): Neotektonikus vizsgálatok nagyfelbontású szelvényezéssel - in Marosi S., Meskó A. (szerk): *A Paksi Atomerőmű földrengésbiztonsága – Akadémiai Kiadó*, Budapest pp. 123-152.
- [53]Van Loon, A.J., Brodzikowski, K., Gotowala, R., 1985. Kink structures in unconsolidated fine-grained sediments: *Sedimentary Geology*, 41 (2–4): 283–300.



1. ábra A tanulmányozott szelvénye helye a Gyapa-Cece-i út és M-6-os autópálya lehajtója és a paksi kikötő bővítésének helye



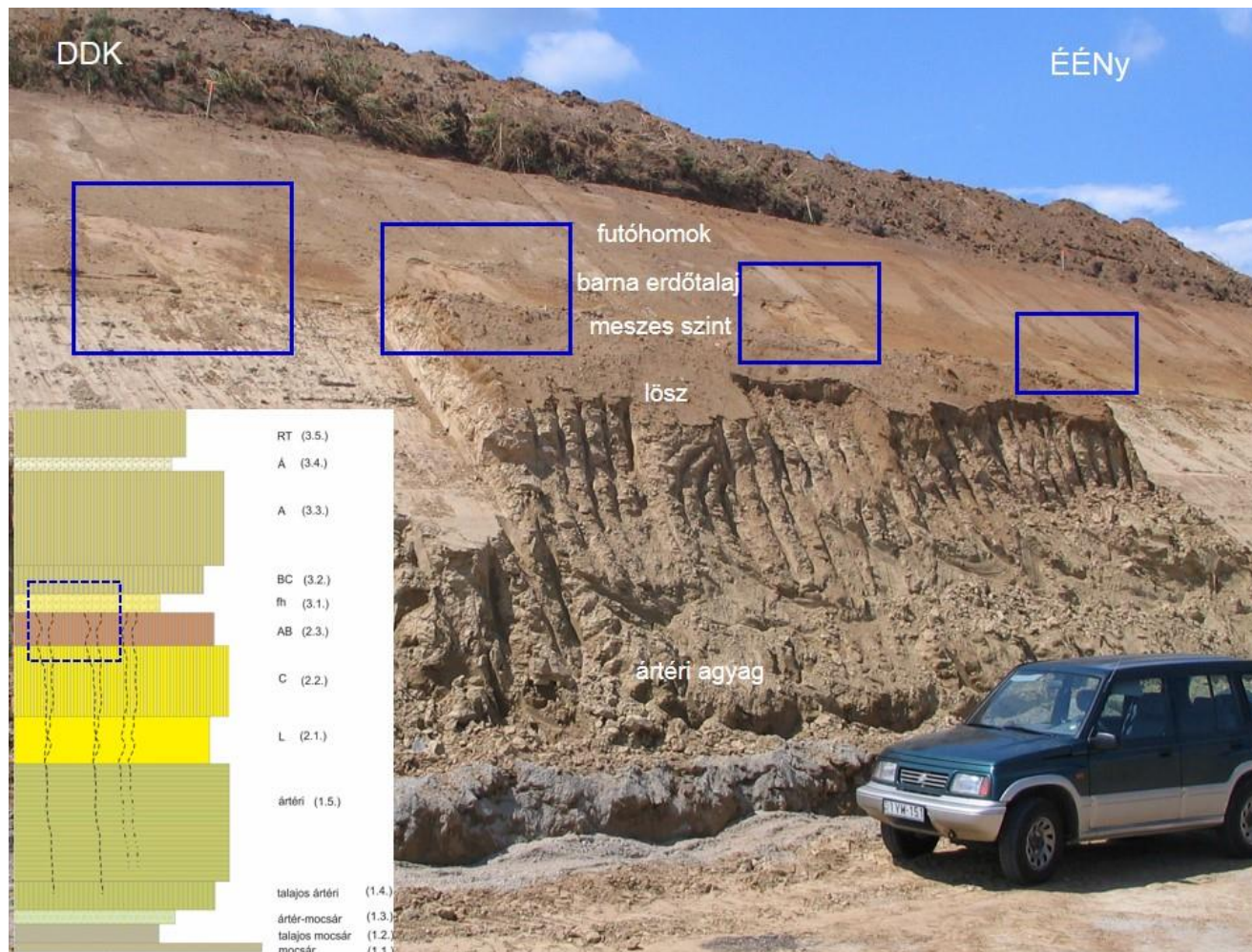
2. ábra Az 1. és 2. észlelési pontok

Az épülő M-6 autópálya a Paks és Németskér közötti műutat Gyapa község ÉNy-i határában metsző csomópontjának lehajtója. A képen az 1. és 2. észlelési pontok láthatók 2009 augusztus 4.-én.



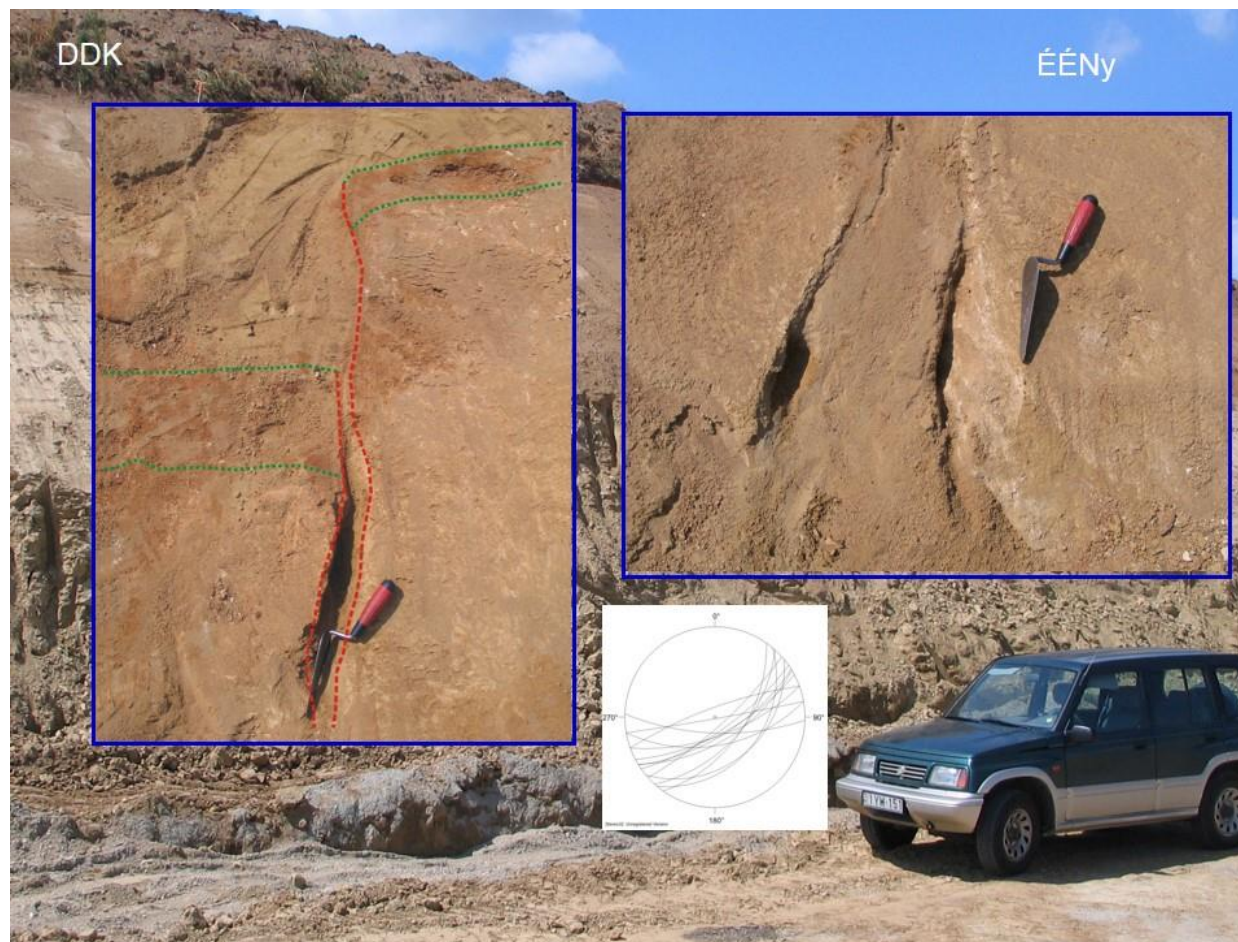
3. ábra A tanulmányozott szelvények helye

Az M-6-os autópálya a gyapai csomópontban és attól délre tanulmányozott szelvények helye.



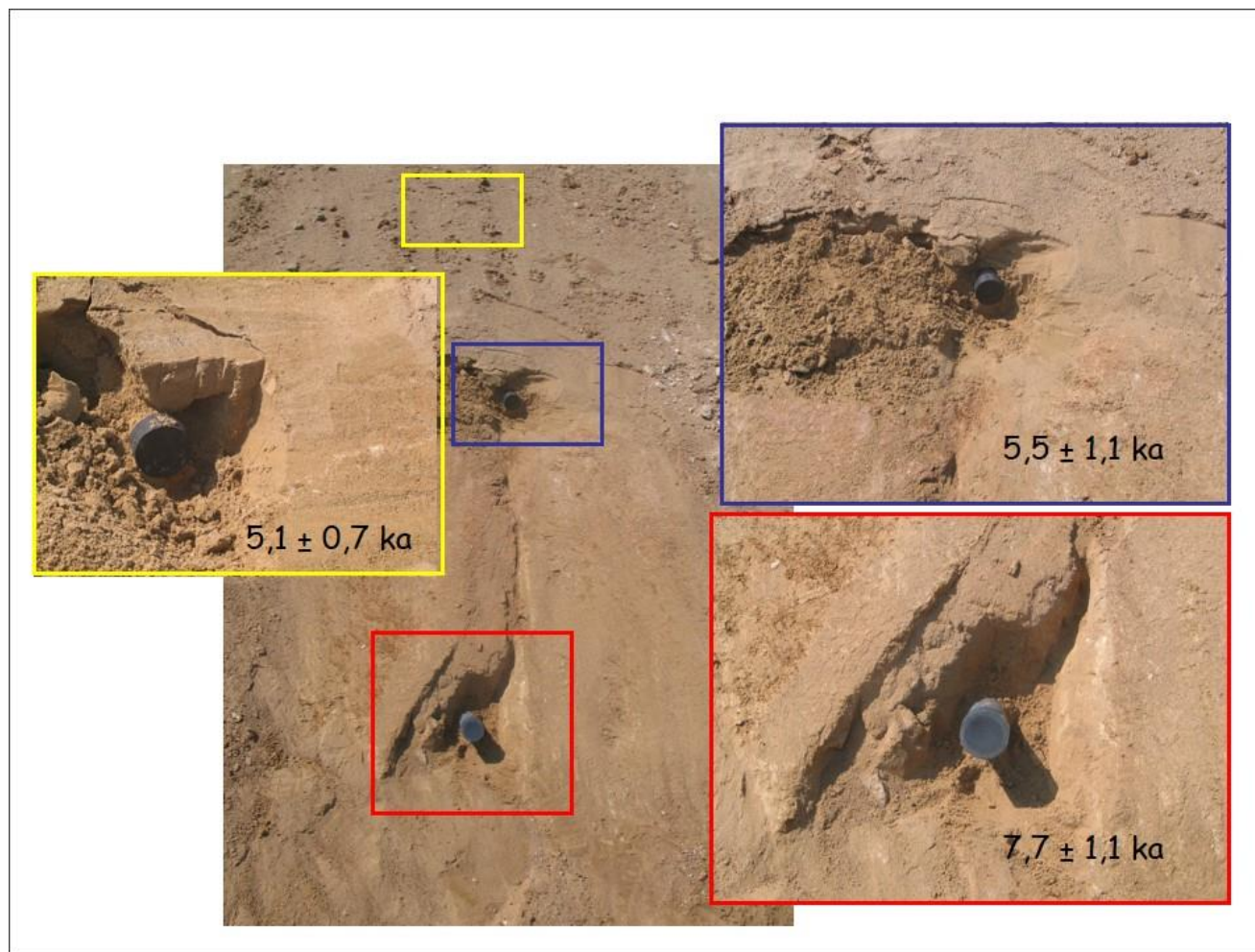
4. ábra Az 1. észlelési pont szelvénye és rétegsora.

A kék keretek a löss barna erdőtalaj (AB) és karbonátos (C) szintjében talált törések letisztított helyét jelöli



5. ábra ÉK-KÉK–DNy-NyDNy-i csapású törések

0,1-0,4 m széles, a lösz közel függőleges, de egyenetlen falakkal átvágó, ÉK-KÉK – DNy-NyDNy-i csapású törések. A szerkezeti elemek markánsan jelennek meg a lösz felső (paleotalaj AB- és C-szintek) 2-2,5 méterében. Kitöltése a fedőt anyagát alkotó futóhomok és a löszből származó paleotalaj valamint karbonát törmelék. A törések mentén néhány cm – 60 cm nagyságú vertikális elmozdulás is mérhető. (Sztereogram: Schmidt-háló, alsó félgömb vetület)



6. ábra OSL mintavétel helye és a mérések alapján meghatározott korok az 1. észlelési pontban

A törést kitöltő üledék (piros keretben) $7,7 \pm 1,1$; a törést közvetlen fedő üledék (kék keretben) $5,5 \pm 1,1$; a magasabb helyzetben lévő fedőüledék (sárga keretben) kora $5,1 \pm 0,7 \text{ ka}$.



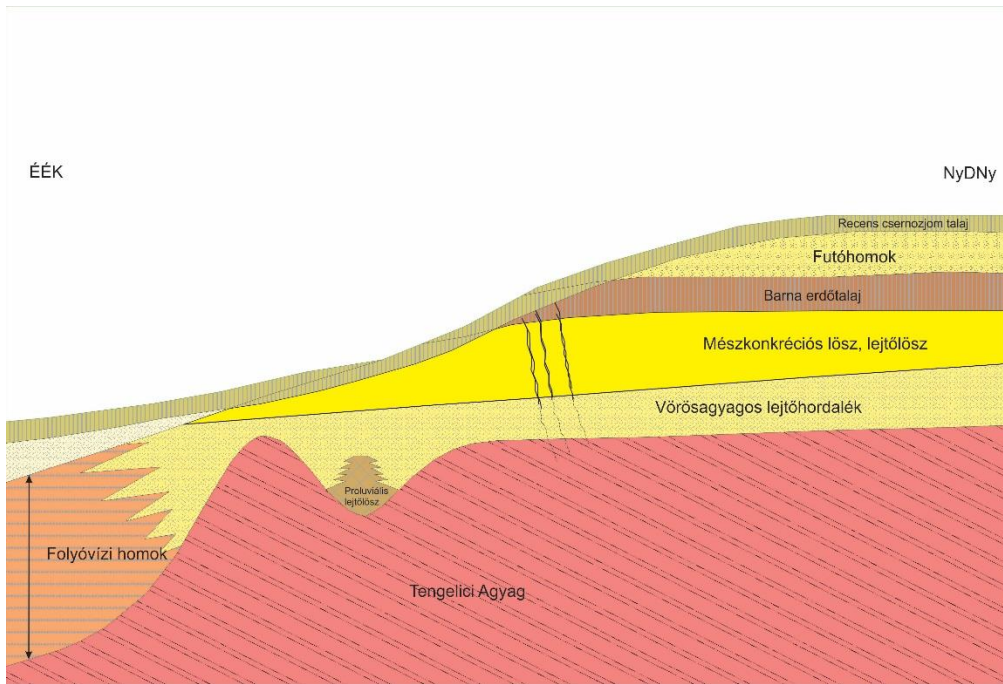
7. ábra 2. észlelési pont Tengelici Vörösgyag

Tengelici Vörösgyag és a kiemelt felszínére települő fakósárga, gyengén csillámos, erősen mészkonkréciós lejtőlössz-szerű üledék települ, amit valószínű, hogy talajvíz hatás is ért.



8. ábra 2.észlelési pont mikroszerkezetei

Tengelici Vörösgyagra diszkordánsan települő, közepesen, gyengén osztályozott, közepesen koptatott folyóvízi homok, terheléses-víz kiszorításos eredetű mikroszerkezetekkel.



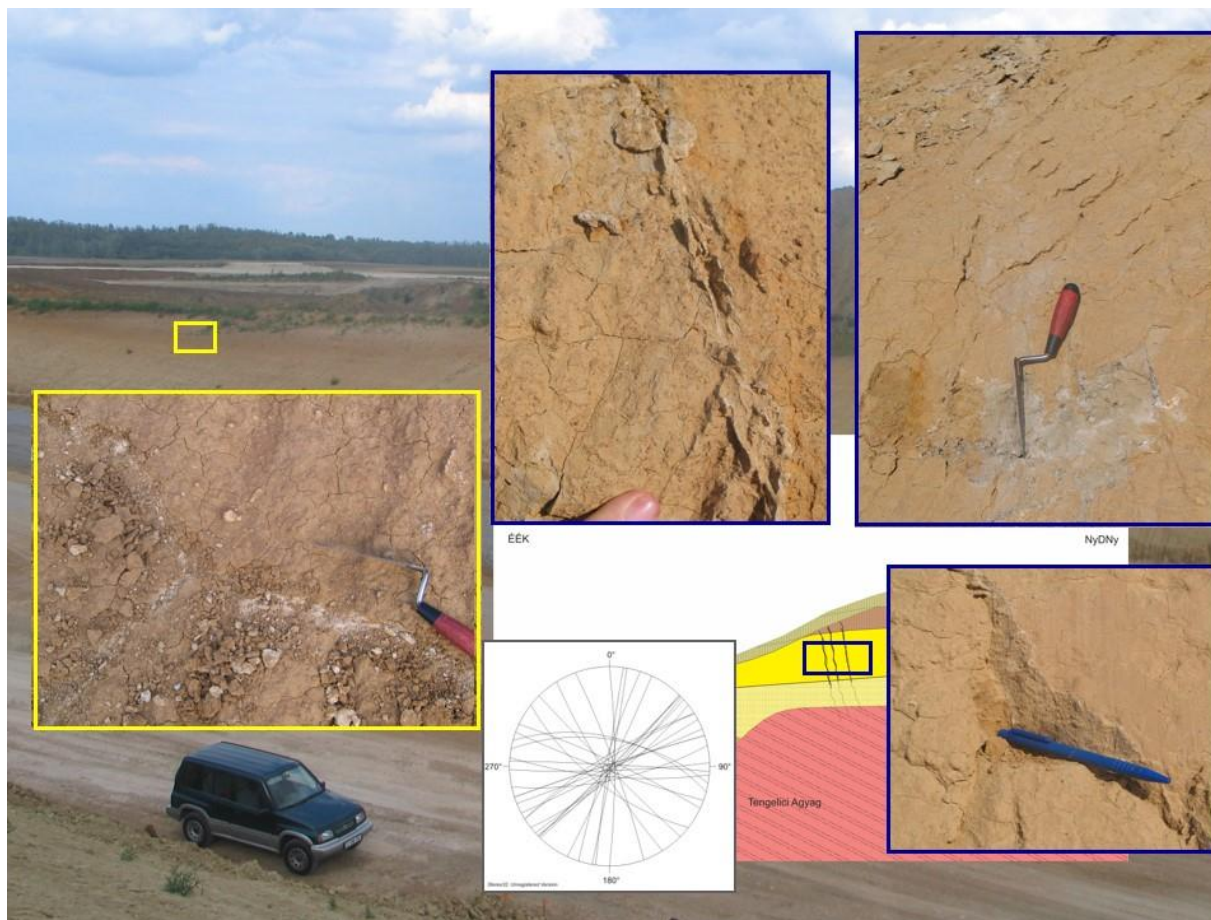
9. ábra A 3. észlelési pont ÉÉK–DDNy-i irányú elvi szelvénye

A vörösagyag eróziósan roncsolt, neotektonikusan tagolt hullámos felszínére (bonyolult területi elrendeződésben) egymással összefogazódó folyóvízi, szárazvölgyi és lejtőüledékek, futóhomok, valamint löszképződmények települnek (összvastagág: 9-10 méter)



10. ábra 3. észlelési pont, 3. réteg

Lejtőagyaggal összefogazódó keresztarétegzett folyóvízi homok.



11. ábra Felszíni megjelenés

Az barna erdőtalajt és a fekü lösz sorozatot a szelvények aljától a felszínig szabdaló, kulisszás lefutású, rajokban is futó törésrendszer (kék keret). A barna erdei talaj borította agyagos felszínen a karbonáttal átitatott és cementált, enyhén kipreparódott törések három irányának találkozása hatszöges felszíni megjelenést kölcsönöz a 30°-os szögben rézsűzött térszínnek (sárga keret). (Stereogram: Schmidt-háló, alsó félgömb vetület)



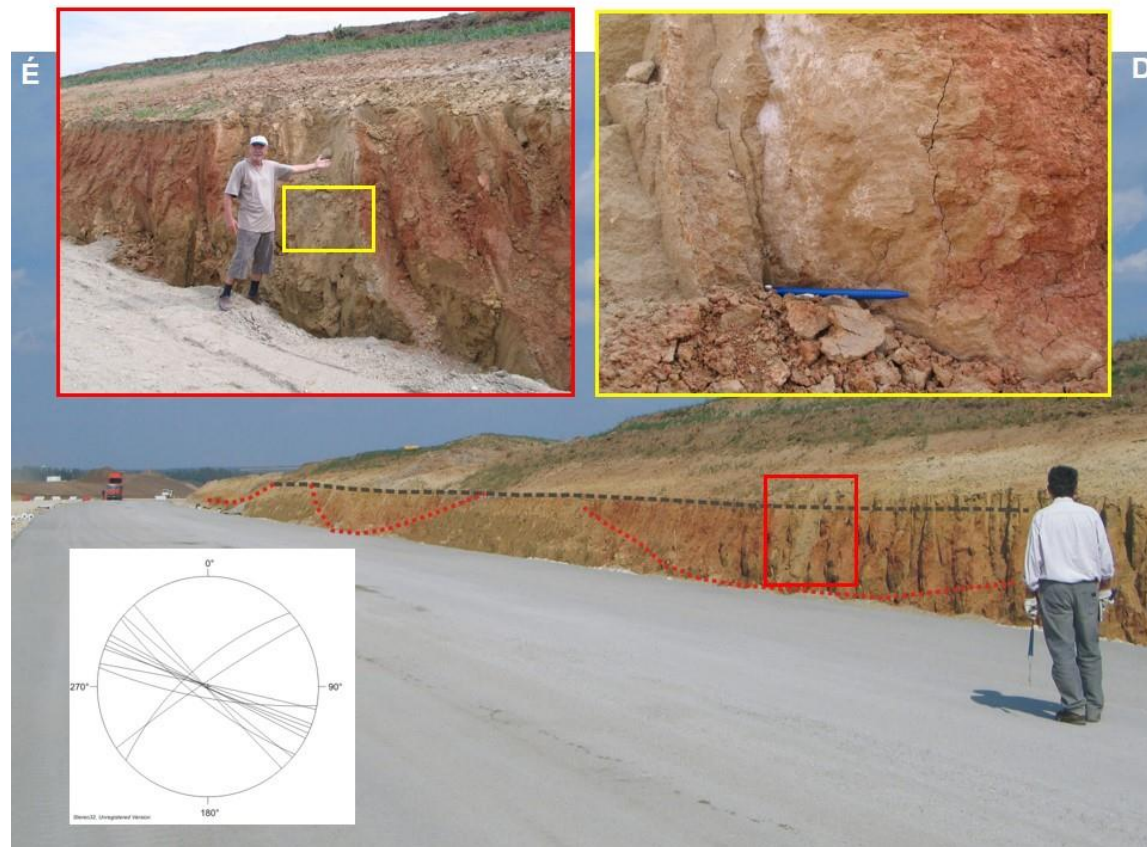
12. ábra 3. észlelési pont litoklázis

0,5-3 cm széles, egyenes illetve kulisszás lefutású törés/litoklázis, világosszürke karbonáttal és glejesedett agyaggal kitöltve a 3. pont lösz szelvényében



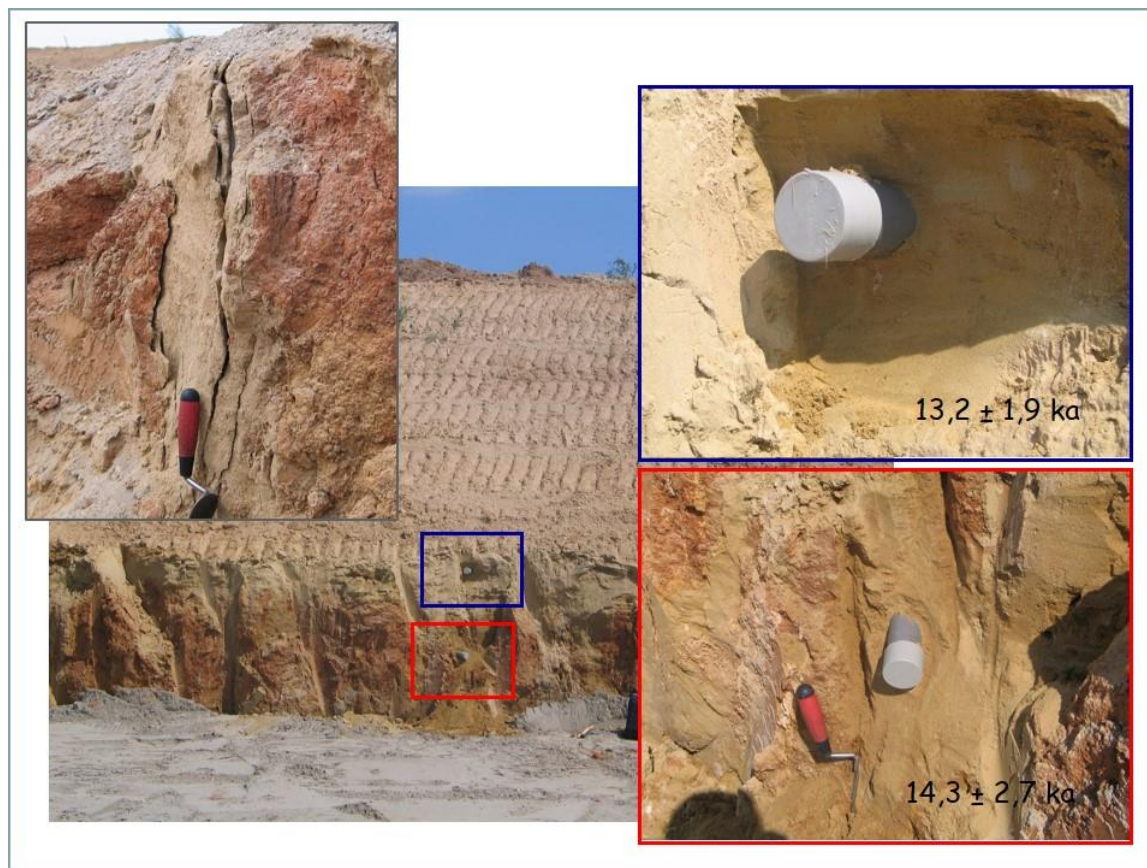
13. ábra 4.észlelési pont, 1. képződmény

Élénksárga, helyenként piszkosfehér foltos, mészeres, zavart szerkezetű, mangánszeplős agyagos kőzetliszt. Genetikáját tekintve eolikus-deluviális anyag.



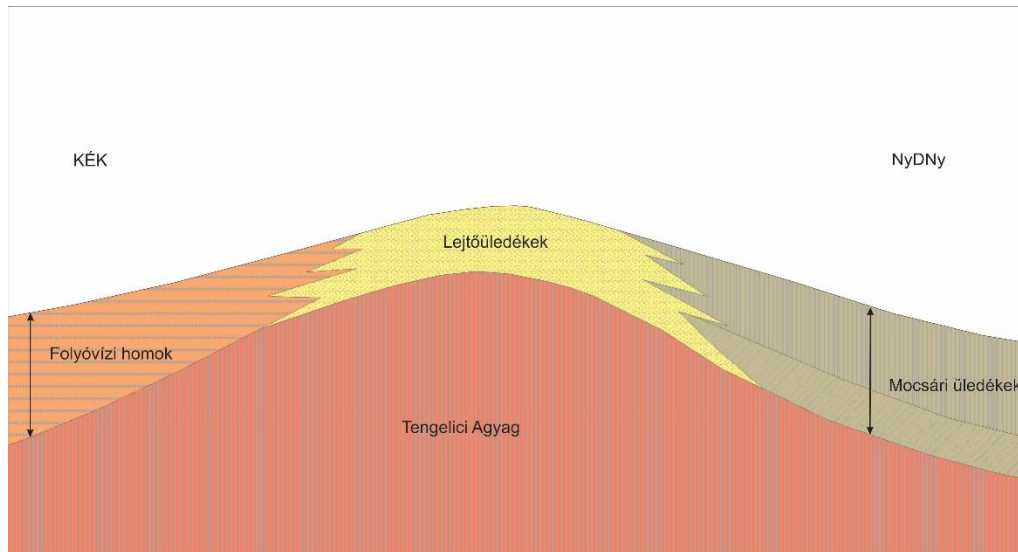
14. ábra Képződmények települése

Idős lejtőlész hullámos felszínén (piros szaggatott vonal) vörös, mediterrán talaj települ. A talaj egyes helyeken követi az eróziós morfológiát, más helyeken nekifut egy elnyesett paleofelszínnek (szürke szaggatott vonal). Ez arra utal, hogy nemcsak egy idősebb kiemelkedést követő eróziós paleomorfológián történt térszíni kiegyenlítődés mentén települnek a képződmények, hanem azokat egy későbbi neotektonikus fázis is felszabdalta. Erra utal az is, hogy a vörös, mediterrán paleotalajt és feküképződményét a fedő folyóvízi homokjával kitöltött szélesre nyílt neotektonikus repedésrendszer járja át (piros keret és Chikán Géza). A törések falát mindenhol vékony, kemény mészlepedék, vagy akár 2-3 cm vastagságot elérő mészkéreg borítja. Ehhez vastag mészkéreghez kapcsolódik a terület vizsgált töréseinek egyetlen valószínűsíthető, KÉK-NyDny-i csapású felület kelet felé 8°-os szögben dőlő vetőkarca is (sárga keret)



15. ábra 4. észlelési pont

A töréseket kitöltő és fedő folyóvízi üledéksor kora a törések kialakulásának idejével azonos. OSL korok: a törést kitöltő üledék $14,3 \pm 2,7$ (piros keret); a törést közvetlen fedő üledék kora $13,2 \pm 1,9$ ka (kék keret). A szürke keretben egy 20 cm széles, közel függőleges, kissé egyenetlen falakkal határolt törés látszik. Kitöltő anyaga a fedőt alkotó, mésszel kissé cementált folyóvízi, aleuritós, homok. A törések falát is kemény mészlepedék, illetve mészkéreg borítja



16. ábra A terület keresztirányú (KÉK–NyDNy-i) elvi rétegsora

Az 1-4. pontok által körülvelt terület keresztirányú (KÉK–NyDNy-i) elvi rétegsora az épülő autópálya test szintjében (ld. 2. ábra). A legidősebb feltárt képződmény az eróziósan letarolt, egyenetlen felszínű Tengelici Vöröstasyag. A Formáció leginkább kiemelt szakasza feltehetően egy ÉNy-DK-i irányú hátat formáz, melynek tengelye a feltárás közepén / útpálya tengelyében húzódik. Az eróziós feké magasabb részeire lejtőüledék, mélyebb térszíni szakaszaira pedig a delúviummal összefogazódó folyóvízi és mocsári üledékek települnek



17. ábra A paksi kikötő bővítésének szelvénye 2015. októberében

A Duna ártéri magas teraszának meder és ártéri üledékeit feltáró szelvény mintegy 80 m hosszú, 2,0-2,5 m magas és közel É-D-i irányú.



18. ábra A 17. ábra szelvényének északi szegélyén található deformált ártéri üledékek

A 17. ábra szelvényének északi szegélyén található deformált ártéri üledékek (ld. 19. ábra is). A rétegek és lemezek határa hullámos, csipkés, vastagságuk kis távolságon belül is változékony. A 0,5–5 cm vastag homok és homokos kőzetliszt tartalmú szintekben pedig üledékes deformációk, vízkiszökések sorozata látszik. A jelenség ülepedés utáni földrengés(ek)e)t jelez.



19. ábra A nagyobb agyag tartalmú rétegek közé zárt homokosabb – 0,5–1,5 cm vastag rétegek hurkásodása

A nagyobb agyag tartalmú rétegek közé zárt homokosabb – 0,5–1,5 cm vastag rétegek hurkásodása látszik a fotó felső sávjában (és a 18. ábra is), melyeket a finomabb szemcseméretű fedő és fekvő kőzetliszt, agyagos kőzetliszt lemezek (helyenként vékony rétegek), mikroyüredezetten illetve hullámosan megnyúlva kereteznek. A kép közepén vízkiszökés által erőteljesen deformált homokos réteg látható.