

A TELEPHELY KÖRNYEZETÉNEK GEOFIZIKAI ÉS TEKTONIKAI JELLEMZÉSE

GEOPHYSICAL INVESTIGATION AND TECTONIC CHARACTERIZATION OF THE SITE VICINITY

Horváth Ferenc¹, Tóth Tamás², Koroknai Balázs³, Wórum Géza⁴, Földvári Koppány⁵

¹DSc, geofizikus, professor emeritus, ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Budapest, Geomega Kft., Budapest

²PhD, senior geofizikus, Geomega Kft., Budapest, info@geomega.hu

³PhD, senior geológus, Geomega Kft., Budapest

⁴PhD, senior geofizikus, Geomega Kft., Budapest

⁵MSc, geológus, Golder Associates (Magyarország) Zrt., Budapest (korábban Geomega Kft.)

ÖSSZEFOGLALÁS

A Paksi Atomerőmű telephelyének és környezetének mélyszerkezetéről, valamint az azt létrehozó tektonikai folyamatokról az 1980-as évek óta folyó célzott földtani és geofizikai kutatások már számos fontos eredményre jutottak, de néhány fontos kérdésben az ellentétes vélemények az elmúlt évekig fennmaradtak. Az áttekintő tanulmány első része rövid tektonikai helyzetképet ad a Földtani Kutatási Program (FKP, 2015–2016) megindítása előtti ismeretekről és a vitatott kérdésekről. Ezt követően az FKP megvalósítása során elvégzett legfontosabb felszíni geofizikai méréseket és ezek tektonikai értelmezését foglaljuk össze. Az eredmények alapján felvázoljuk a vizsgált terület neotektonikai szintézisét.

ABSTRACT

Site-specific geological and geophysical investigations of the Paks Nuclear Power Plant and its vicinity have been ongoing since the 1980s and revealed several important results about the subsurface structure and tectonic processes. Some key questions, however remained subject of discussion until very recent years. First part of this publication gives a brief overview of the tectonic models and debated questions prior to the geological survey program of 2015–2016 (Földtani Kutatási Program, FKP). Following this introduction key geophysical surveys carried out in the framework of the FKP and their tectonic interpretation are summarized. Based on the presented results the neotectonic synthesis of the study area is introduced.

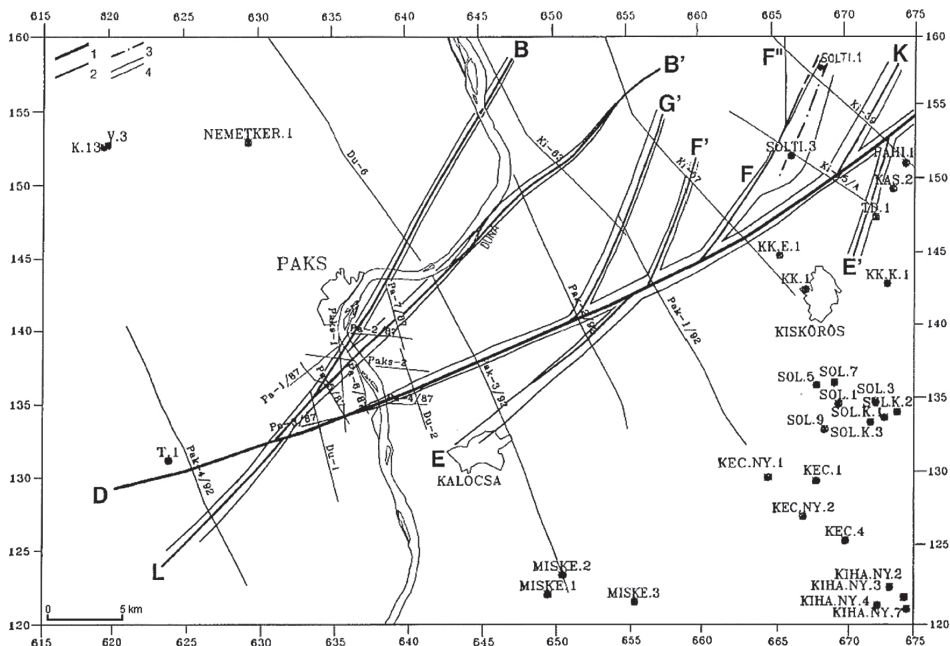
Kulcsszavak: Paksi Atomerőmű, neotektonika, aktív vető, geofizika

Keywords: Paks Nuclear Power Plant, neotectonics, active fault, geophysics

TEKTONIKAI HELYZETKÉP A FÖLDTANI KUTATÁSI PROGRAMOT (2015–2016) MEGELŐZŐEN

A Paksi Atomerőmű telephelye és környezete tektonikai viszonyainak megismerése érdekében az elmúlt huszonöt év során több fúrási és szeizmikus mérési kampány is megvalósult, a geológiai és geofizikai adatok integrált feldolgozása tektonikai modellek megalkotását eredményezte. A terület utolsó részletes földtani-geofizikai kutatása Paks II. Földtani Kutatási Programjának (FKP) keretében zajlott 2015–2016 során.

Az 1980-as évek második felében végzett célirányos kutatások alapján világossá vált, hogy „...Paks alatt húzódik át DNy–ÉK-i irányban az ország medencealjzatának legnagyobb jelentőségű töréses öve...” (MÁFI, 1994; Balla et al., 1997; *l. ábra*). Ugyanerre a következtetésre jutottak más, korábbi tanulmányok is (ELTE, 1990, 1993), sőt az olajipari adatokat is figyelembe vevő újabb feldolgozás (GeoRisk, 2005) a korábbi térképezéseket megerősítve adta meg az atomerőmű szempontjából kardinális Kapos-vonal lefutását és az abból kiágazó vetőágakat.



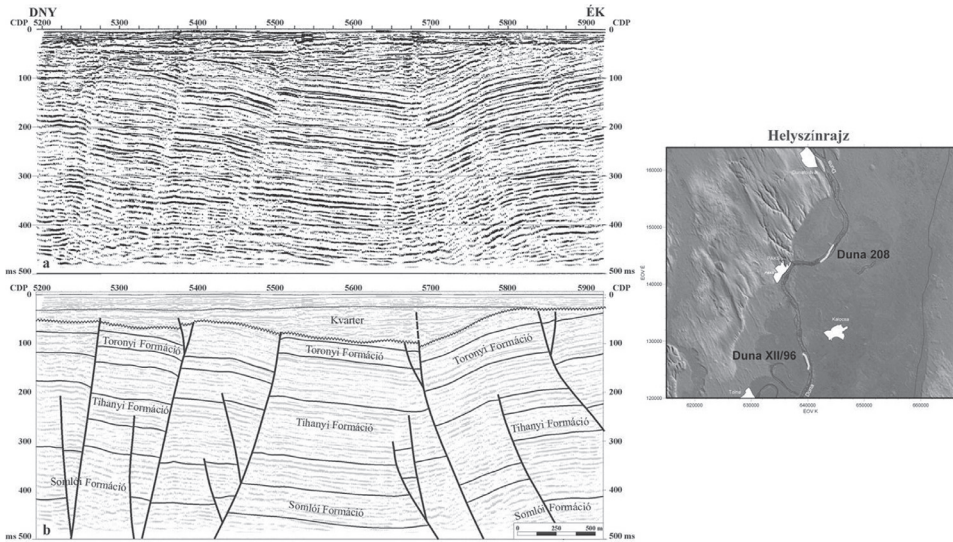
1. ábra. Korai eredmény (MÁFI, 1994 alapján) a Paks környezetében szeizmikus szelvények (vékony vonalak) és fúrási adatok (telt körök) alapján szerkesztett vetőrendszerrel.

A Kapos-vonalból (D) kiágazó mellékvetőket L és B–K betűk jelzik. A vetővonalakat két oldalról szegélyező vékonyabb vonalak a legfiatalabb aktivitású vetőket mutatják.

B' az újabb Dunaszentgyörgy–Harta (DH) néven nevezett vetőszegmenst jelzi.

(Mindegyik ábra a szerzők saját szerkesztése)

Az elemzések és értékelések során a legfontosabb eltérő vélemény a terület neotektonikai aktivitásának kérdésében alakult ki. Két ütköző vélemény jelentős publicitást kapott, amikor szakemberek egy csoportja (Balla et al., 1997; Balla, 1999) megkérdőjelezte a tektonika negyedidőszaki aktivitását alapvetően a szeizmikus szelvények alapján, amelyeken leképezési és feldolgozási hibákat vélt felfedezni. Mások a leképezés és feldolgozás hibáinak általánosítását szakszerűtlennek tartották, és amellet érveltek, hogy a nagy felbontású dunai vízi szeizmikus mérések (2. ábra) a tektonikai aktivitás negyedidőszaki folytatódására mutatnak (Tóth–Horváth, 1997, 1999).



2. ábra. Korai többsatornás vízi szeizmikus szelvény (Duna-208) a DH vető ÉK-i részén (Tóth, 2003 alapján, módosítva). Az értelmezés szerint a pannóniai rétegeket (Somlói, Tihanyi és Toronyi Formáció) markánsan elnyíró vetők érintik a pannon tetejét jelző diszkordanciafelületet, valamint a kvarter összlet alsó részét is

Az ellentétes értelmezés lehetősége abból adódott, hogy a terület legfiatalabb (negyedidőszaki) képződményeit ért deformációk nem voltak jól leképezhetők geológiai térképezéssel és fúrásokkal, sem pedig geofizikai mérésekkel. Figyelembe véve a vetőkkel markánsan érintett pannóniai rétegek és a fedő negyedidőszaki összlet közötti eróziós diszkordanciát (2. ábra), a szerkezetek korának megítélése és a vetődések menti oldalirányú elmozdulás mértékének meghatározása is komoly problémát jelentett.

Az 1990-es évek elejére kialakult vitás helyzet megnyugtató rendezését kísérelte meg a brit OveArup & Partners International cég által koordinált PHARE-projekt, amely a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) felügyelete

mellett valósult meg (OveArup, 1996). Legfontosabb megállapítása szerint a telephely alatti pannóniai képződményeket feldaraboló törészóna nagy valószínűséggel nem tekinthető aktívnak a negyedidőszak során, mivel nem volt vitathatatlán megfigyelési adat ilyen korú képződmények tektonizáltságára. A kis valószínűséggel bekövetkező események konzervatív kezelése miatt azonban a vetőműködés negyedidőszaki felújulásának lehetőségét 10%-nak tételezték fel a veszélyeztetettség valószínűségi analízise során.

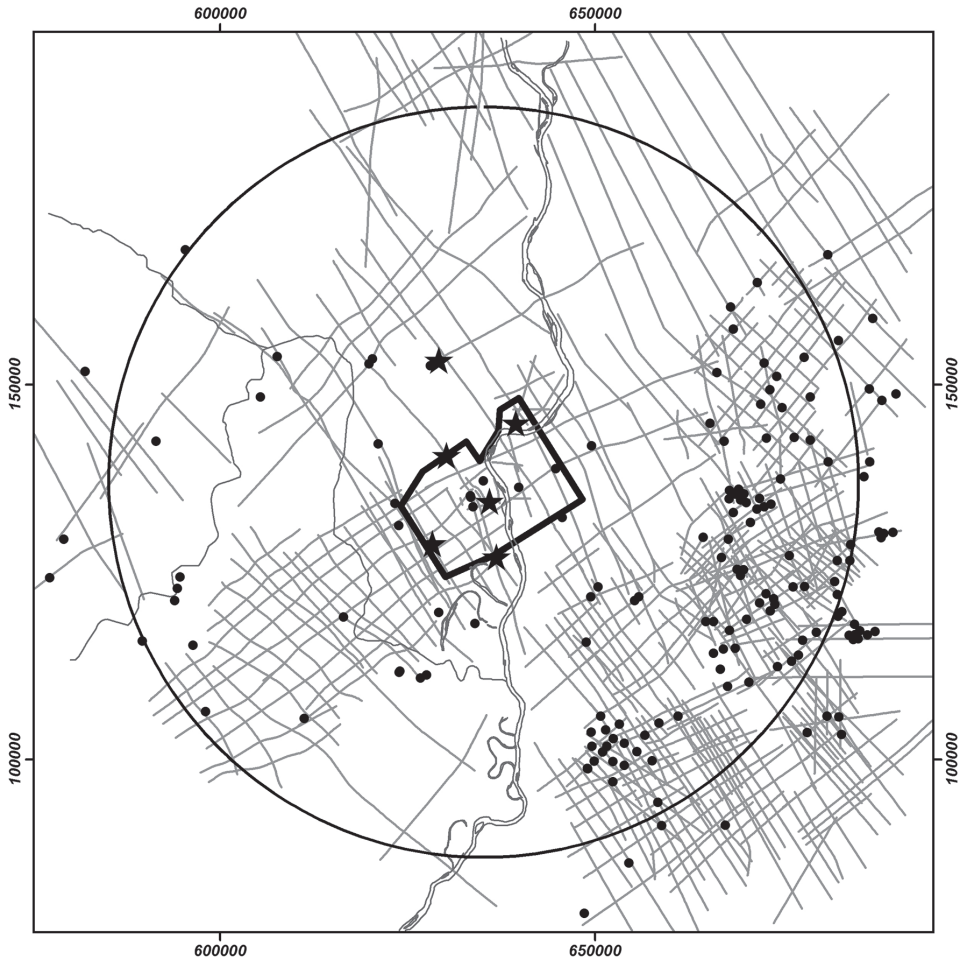
AZ FKP KERETÉBEN SZÜLETETT ÚJ GEOFIZIKAI ADATOK ÉS EREDMÉNYEK

A legnagyobb volumenű és logikusan előresorolt geofizikai kutatás az erőmű 300 km² területű körzetében megvalósított 3D szeizmikus felvételezés volt (3. ábra). A méréssel kapcsolatban az volt az elvárás, hogy a térben folyamatos leképezés eredményeképpen jobban megismerhető legyen a medencealjzat, pontosabbá váljék a vetőzónák rendszerének meghatározása és az idősebb (alsó és középső miocén) és a fiatalabb (pannóniai) vetők kapcsolatának és geometriájának térképezése. Ezek megvalósulása teremtette meg annak lehetőségét, hogy a fiatal vetők felszínközeli megjelenését alkalmasan lokalizált, nagy felbontású 2D geofizikai mérésekkel megismerjük: szárazföldi P- és S-hullám reflexiók szelvényezéseket, dunai pszeudo-3D szeizmikus méréseket és multielektrodás geoelektromos szelvényezéseket végeztünk. Ezeket vesszük sorra a következő részben a teljes bemutatás igénye nélkül, alapvetően az ezekből levonható fő tektonikai eredményekre koncentrálva.

A 3D szeizmikus mérés és kiterjesztett értelmezés

A mérés kivitelezéséről és végső értelmezéséről zárójelentés ad számot, de ezt megelőzően egy előzetes értelmezés is készült, amely alapján került sor az FKP-ben megadott fúrások helyének és elérendő talpmélyiségének revíziójára (Geomega, 2015a, b). A 3. ábrán a 3D-mérés területe és a javasolt új fúrások (PAET-26, -27, -29, -30, -34 és -35) elhelyezkedése is látható. A 3D szeizmikus anyag értelmezése kiterjesztett területre, az atomerőmű 50 km-es sugarú körrel kijelölt környezetére lett elvégezve (Geomega, 2016c, d). A felhasznált 2D szeizmikus szelvényeket és fúrásokat ugyancsak a 3. ábra mutatja.

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 sebességinformációk alapján mélységskálára lettek transzformálva, annak szigorú figyelembevételével, hogy az értelmezett réteghatárok egyezzenek meg a fúrásokban megismert tényleges réteghatárokkal. A 4. ábra a térképezett fő rétegtani-tektonikai határok definícióját



3. ábra. Paks 50 km sugarú környezetére kiterjesztett értelmezés során felhasznált 3D szeizmikus mérés területe (vastag vonallal lehatárolva közel 300 km²), 2D szeizmikus szelvények (szürke vonal) és fúrások (fekete pont) elhelyezkedése, fekete csillaggal jelölve az FKP keretében mélyült új fúrások

és a terület általánosított tektonosztratigráfiai modelljét mutatja, amelyhez a következő fejlődéstörténeti tartalom kapcsolódik.

Közel 20 millió évvel ezelőtt, a korai miocénben kezdődött el az akkor még a Belső-Dinaridákhoz kapcsolódó, változatos topográfiájú Tisza–Dácia-terrének riftesedése. A mezozoos-paleozoos aljzaton (I. unkonformitás) létrejövő tektonikus árkokat a nagy reliefenergiájú környezet lepusztulásával keletkezett tavi-folyóvízi törmelékes üledékek töltötték fel. Ezt a folyamatot a riftesedéshez kapcsolódó jelentős mértékű litoszféra-kivékonyodás és hőmérséklet-növekedés miatt magma-

tizmus kísérte savanyú magmás láva kiömlésével és nagy tömegű riolitos-dácitos vulkáni törmelék explóziójával. Ennek eredményeként az idősebb (mezozoos és paleozoos) aljzatra vastag szárazföldi törmelékes és vulkáni sorozat települt, ami jellegzetes kaotikus reflexiók képe alapján a szeizmikus szelvényeken általában jól elhatárolható az ezt követő, markánsan rétegzett tengeri üledékes rétegektől. Ezért a törmelékes üledékes sorozat tetején kijelölhető 2. unkonformitás felülete értelemszerűen a vulkanoklasztikus képződmények tetejét követi.

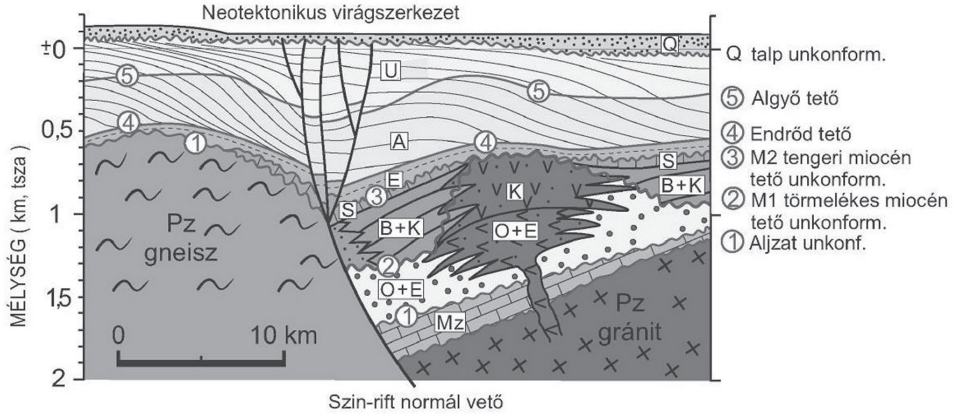
A kárpáti emelet elején a terület süllyedése olyan mértékűvé vált, hogy kapcsolatot jött létre a Paratethys-tengerrel. A tengeri térhódítás általánossá vált, és kezdeti partszegélyi fáciesű üledékek mellett a bádeni időszak során igazi pelágikus márgák képződtek regionális elterjedésben. Ezt követően a környező hegységek emelkedése miatt a tengeri kapcsolatok beszűkültek, majd megszűntek. Ekkor alakultak ki a brakkvízi szarmata képződmények. A szarmatát követő időszakban az emelkedés és lepusztulás átterjedt 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 a Pannon-tó.

A Pannon-tó kialakulását az izolált medence gyors süllyedése alapozta meg. Ekkor egy tagolt topográfiájú, helyenként akár 1000 m mélységet elérő medencében főleg agyag- és mészmárga képződött, amelyik változó vastagságú lepelként fedte be a medence aljzatát. Ennek felső határa a 4. jelű felület.

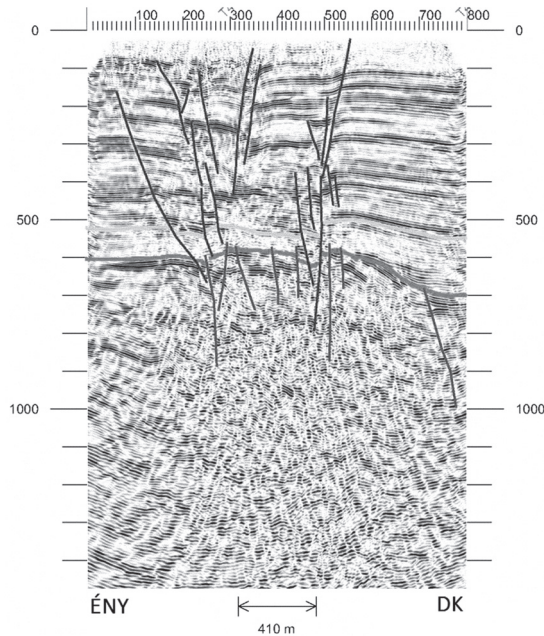
Ezt követte a medence fokozatos feltöltődése a Paleo-Duna- és Paleo-Tisza-folyórendszerek által szállított nagy tömegű sziliciklasztos törmelékekkel. A feltöltődés ÉNy-i, illetve ÉK-i irányból progradált dél felé, és a Pannon-medence mai szerbiai részén fejeződött be a pliocén során. Az előrehaladó és épülő lejtő előterében általában gravitációs eredetű turbidittestek alakultak ki, amelyek a viszonylag nagyobb mélységű medencékben akkumulálódtak. A paksi kutatási terület a posztszarmata kiemelkedést követően környezetéhez viszonyítva lassan süllyedt, így aljzatmagaslat maradt, amelyet elkerültek a turbidites üledékfolyások. Ezért a márgás sorozatra közvetlenül a progradáló rétegsor települ, amelynek szeizmikus és karotázsszelvények alapján jól követhető tetejét (az egykori selfperemet) az 5. jelű felület mutatja.

Ezt követően a feltöltött területeken a medence süllyedése egyensúlyban volt az üledékfelhalmozódással. Ekkor delta- és alluviális síkságon ritmikusan váltakozó homokos-agyagos üledékek képződtek. 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 unkonformitást hozta létre. Ennek mélysége 30 és 100 méter között változik, amely mélységtartomány ipari szelvényeken nem jelenik meg, és csak speciális szeizmikus szelvényezéssel képezhető le. A neotektonikus inverzió so-

rán jelentős vertikális mozgások mellett a pannon üledékes kőzeteket harántoló virágszerkezetek jöttek létre, amelyek gyakran a kora és középső miocén árok-szerkezetekhez kapcsolódnak (4. és 5. ábra).



4. ábra. A kutatási terület elvi tektonosztratigráfiai szelvénye a térképezett felületek (1–5), a felületekkel határolt rétegtani egységek és a tektonikai stílus bemutatására (Horváth, 2017 alapján, módosítva)



5. ábra. A Pa-21 szeizmikus szelvény, amely a függőleges tengelyen kétutas futási időt mutat ms egységekben megadva (Horváth, 2017 alapján, módosítva). Helyszínért lásd a 6. ábrát

Összegzésként megállapítható, hogy a 3D szeizmikus mérés és kiterjesztett értelmezés alapvető ismeretekkel gazdagította a terület fejlődéstörténetére vonatkozó tudásunkat. Ezek közül legfontosabb a regionális kiterjedésű, fiatal tektonikai aktivitás eredményeképpen létrejött oldalelmozdulásos „virágszerkezetek” térképezése, és annak a megerősítése, hogy további mérések szükségesek a vetők felszínközeli geometriájának és ezúton az aktivitás korának pontosabb megértéséhez.

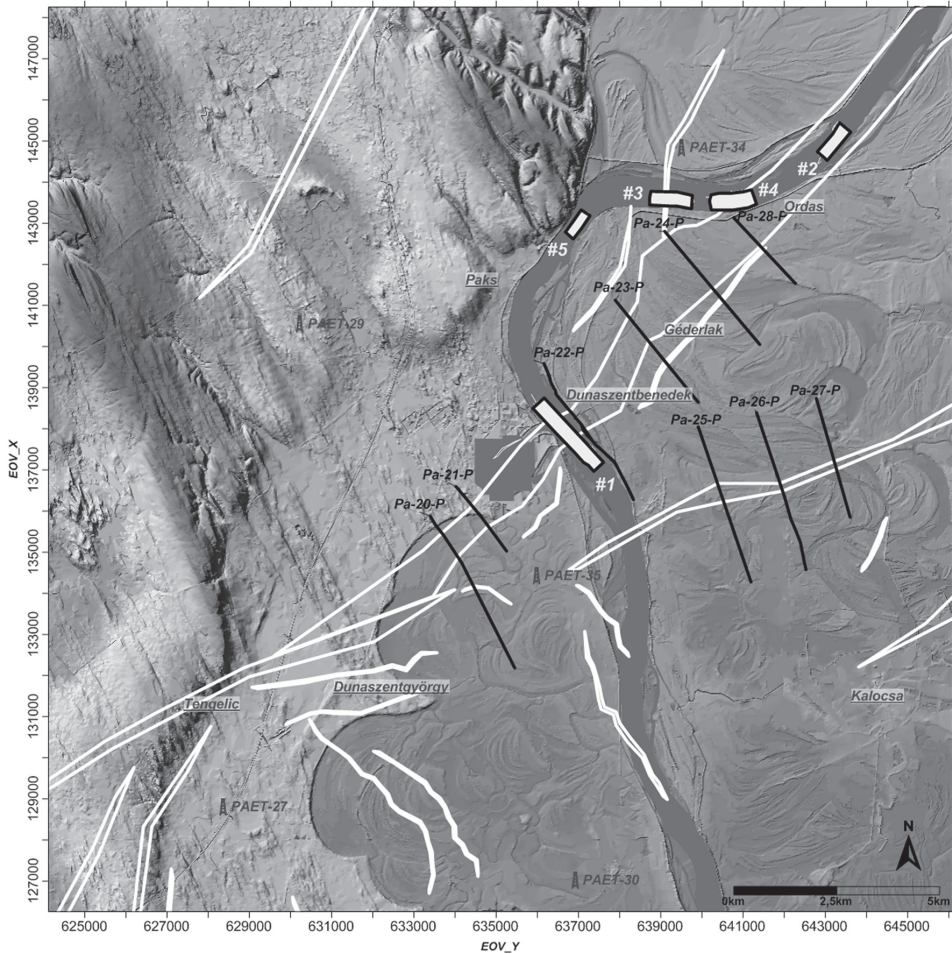
A felszínközeli mélységtartomány nagy felbontású leképezése

A fenti terv megvalósítása céljából nagy felbontású reflexiós mérések történtek. A P-hullám reflexiós mérések jelentése (MFGI, 2016) alapján készült a 6. ábrán látható helyszínrajz, amely kilenc szelvényt mutat (Pa-20 – Pa-28), együttesen 30 km összhosszúságban. Ezen túlmenően az ábra a kiterjesztett szeizmikus értelmezés alapján a felszín közelébe hatoló vetők sávját is jelzi fehér vonallal lehatárolva. Látható, hogy a szelvényezések célirányosan a vetők megismerésére lettek tervezve.

Illusztrációként egy szelvényt (Pa-21; 5. ábra) mutatunk be, amely közvetlenül az atomerőmű telephelyének délnyugati sarkánál helyezkedik el (6. ábra). A szelvény mélységskálája ms-ban van megadva, és a pannonban közel állandó 2000 m/s hullámterjedési sebesség miatt 100 ms jó közelítéssel 100 méternek felel meg. Az idősebb miocén képződmények felszíne 600–700 ms mélységben észlelhető. A pannont harántoló virágszerkezet több ága is a felszín felé hatol, és elveti a 60–70 ms mélységig leképezett sekély felső pannon rétegeket is.

A virágszerkezet felszín felé való felhatolása minden szelvényen markáns, de a fiatal tektonikai aktivitás negyedidőszaki korának verifikálását a módszer a felszínközeli (0–50 m) tartomány leképezésének hiánya miatt továbbra sem teszi lehetővé.

Összefoglalva megállapítható, hogy a speciálisan tervezett P-hullám szeizmikus szelvényezés kiváló minőségben valósult meg, és a vártak megfelelően 40–80 ms futási időnek megfelelő mélységig (40–80 m) a terület rétegszerkezetének nagy felbontású leképezését adja (MFGI, 2016). Ennek alapján megállapítható, hogy a 3D szeizmika alapján levezetett tektonikai kép hiteles, és lényegesen gazdagodott a nagy felbontású sekélygeofizikai kutatásokkal. A speciális P-hullám reflexiós mérések legfontosabb eredménye tektonikai szempontból az, hogy a fiatal vetőrendszerek a teljes pannóniai rétegsort harántolják, ami teljes összhangban áll a korábbi szeizmikus vizsgálati eredményekkel. Továbbra is megválaszolatlan maradt ugyanakkor a pannon diszkordanciafelületre nagy időhézaggal települő negyedidőszaki üledékes képződmények tektonizáltságának kérdése.



6. ábra. Paks környékének terepmodellje a fiatal vetődések felszínre tetített sávjával (fehér görbék), a nagy felbontású szeizmikus szelvények nyomvonalával (fekete vonalak Pa-20-P – Pa-28-P jelöléssel) és a dunai vízi szeizmikus mérések (#1–#5 számú szürke téglalapok) területeivel (Horváth, 2017 alapján, módosítva)

Multielektrodás geoelektromos és pseudo-3D vízi szeizmikus mérések

A multielektrodás geoelektromos MUEL-tomográfias szelvényezés szárazföldi területen tudja leképezni a kőzetek elektromos fajlagos ellenállásának változásait, elvben a fizikai felszíntől néhányszor tíz méteres mélységig. Alapvetően a nagy felbontású szeizmikus mérésekhez kapcsolódó tizenegy geoelektromos szelvény mindegyike a pannonban lévő vetőkkel jól korrelálható, markáns felszínközeli ellenállás-anomáliákat mutatott (Geomega, 2016a, c). Ezzel erős

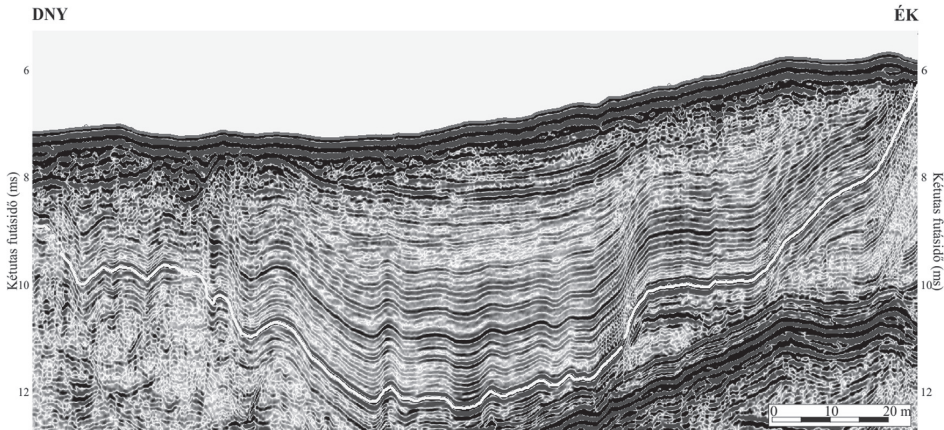
támogatást adtak a negyedidőszaki üledékek (de legalábbis azok alsó tartományának) tektonikus érintettségére. A fajlagos ellenállások oldalirányú változásai azonban értelmezhetők laterális litológiai kontraszttal is. Utóbbiak pedig a nagyon változatos fáciesű negyedidőszaki összletben sűrűn és előrejelezhetetlenül fordulhatnak elő, ezért a MUEL-mérések nyújtotta eredményeket nem tekinthetjük perdöntőnek.

Nagy felbontású vízi szeizmikus mérésre a Duna kínál jó lehetőséget (Geomega, 2016b, c), hiszen a térképezett vetők a kutatási területen harántolják a folyó medrét (6. ábra). Speciális egycsatornás eszközzel, nagyfrekvenciás hanghullámok segítségével és néhány méteres szelvényközzel felvételezve közvetlen a mederfenéktől néhány méter mélységig „pszeudo-3D”-leképezés valósítható meg. Időigénye és technikai kivitelezésének bonyolultsága miatt ilyen sűrűségű felvételezést csak limitált terjedelemben lehetett megvalósítani, ezért a mérésre alkalmasan kiválasztott területrészeken került sor. Az 1–5. jelű területrészeket a 6. ábra mutatja, amely egyúttal feltünteti a pannonban térképezett vetők felszíni vetületét is. Látható, hogy az 1. mérési terület a legkritikusabb részen, az erőmű melletti folyamszakaszon, a 2., 3. és 4. pedig a vetőzóna ÉNy-i folytatódásában volt kijelölve. Az 5. mérési terület a vetők közötti nyugodtabb szakaszon helyezkedik el. Az öt mérési blokk területe összesen 2,0 km².

A teljes mérési anyag kiértékelése alapján általános következtetésként megállapítottuk, hogy a dunai üledékek szeizmikus képe üledékföldtani okok miatt bonyolult rétegszerkezetet mutat, de töréses tektonika nyomai a recens dunai üledékekben egyik mérési területen sem voltak megtalálhatók. A Geomega anyaga (2016c) ugyanakkor rámutat, hogy a mérési anyag a törmelékes késő negyedidőszaki képződmények bonyolult belső üledékföldtani struktúrája miatt egyértelmű és közvetlen vetőazonosításra nem volt alkalmas, illetve, hogy a neogén vetőrendszer kvarterben történő felújulására vonatkozó bizonyítékokat a gyorsan változó üledékföldtani rendszer – a Duna – felülírhatja, így ezek nem feltétlenül őrződnek meg a plasztikus fluvialis üledékekben.

Vannak azonban a recens tektonikai aktivitásnak más megnyilvánulásai a paksi telephely környezetében, amit a vízi szeizmikus szelvényezés segítségével lehetett kimutatni a 2. mérési területen (Geomega, 2016c). Ez a legészakibb mérési terület ott helyezkedik el, ahol a folyó medre alatt halad a vetődés Dunapataj és Harta között (6. ábra). Ezen a területen sem volt észlelhető felszínre hatoló vető, de egy, a mai folyót ferdén keresztező paleomedér volt kimutatható (7. ábra), amelyet egy kb. 130 m széles és 4 m mély egykori folyóág hozott létre. Ennek különlegességét az adja, hogy a lumineszcens kormeghatározás szerint a kb. 11 ezer éve felhagyott és feltöltött medret (morotvát) kitöltő agyagos-iszapos üledékek (Novothny, 2016) jellegzetesen hullámosan deformált, gyűrődéses-csúszásos szerkezetűek, jóllehet eredetileg teljesen vízszintesen települtek. Ilyen szerkezeteket földrengéshullámok hatására bekövetkező vízkiszökés és kő-

zetzváz-összeomlás okoz, emiatt azokat *szeizmitéknek* hívják. A paleo-földrengés következtében létrejött üledékszerkezet a terület szeizmikus veszélyeztetettsége szempontjából számba veendő, de maga a földrengés nem szerepel a historikus események katalógusában.



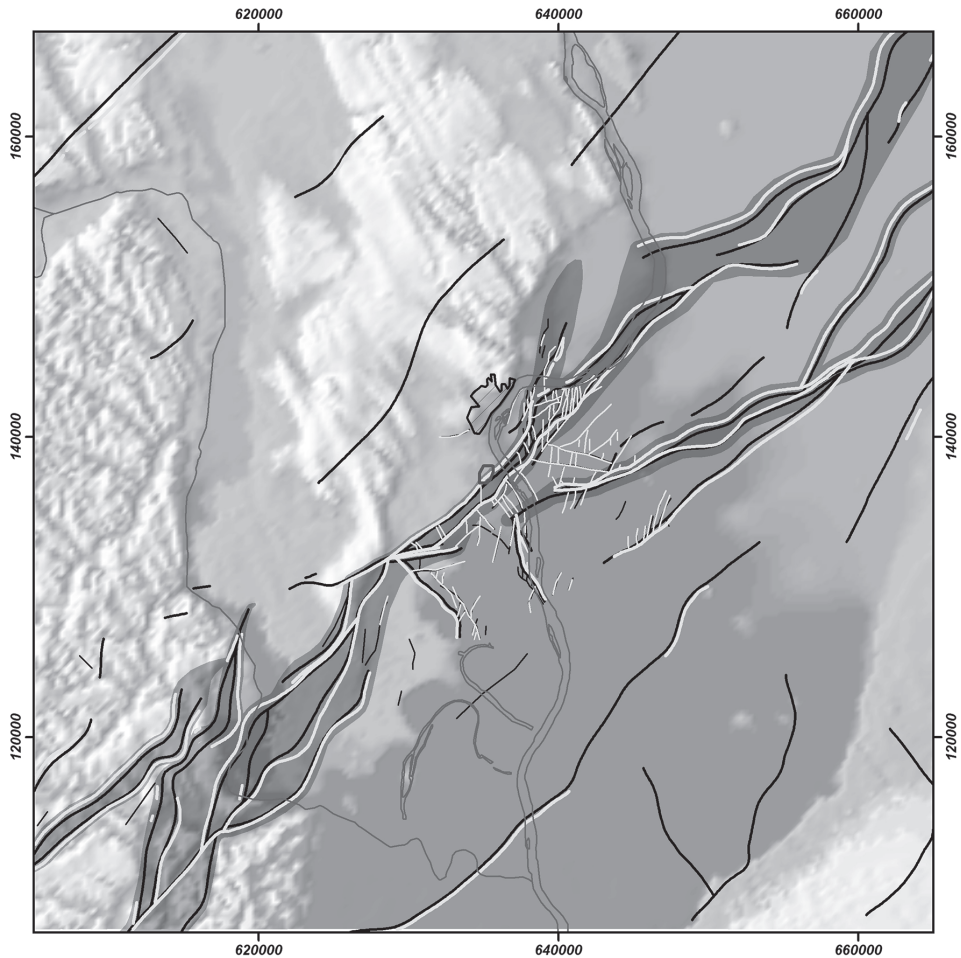
7. ábra. Vízi szeizmikus szelvényrészlet a 2. mérési területről (6. ábra), amely egy egykori földrengés hatására deformált kb. 130 m széles és 4 m mély, 11 ezer éves mederkitöltést mutat (Horváth, 2017 alapján, módosítva)

NEOTEKTONIKAI SZINTÉZIS ÉS A VETŐ FELTÁRÁSA

A geofizikai és fúrási adatok felhasználásával készített rétegszerkezeti és tektonikai térképek alapján vezettük le a terület szintetizált tektonikai modelljét (Geometa, 2016c; Mecsekérc, 2016a, b). A kutatási terület meghatározó szerkezeti eleme az aljzatban regionális skálán (medence léptékben) követhető, KÉK–NyDNY-i irányítottságú „Kapos-vonal”. Az atomerőmű részletesen térképezett 50 km sugarú környezetében a „vonalat” valójában meredek (70–80°-os dőlésű) törési síkok alkotják, amelyek a részletes térképezés szerint Dunaszentgyörgytől nyugatra egy északi dőlésű, keletre pedig egy déli dőlésű szűk vetősávot alkotnak. Míg a vonal keleti szegmense markáns neotektonikai aktivitást mutat, addig a nyugati szakasz neotektonikusan lényegében inaktív a vizsgálati területen (8. ábra).

A Kapos-vonalból Dunaszentgyörgynél ÉK-i irányba kiágazó, a telephely alatt és annak déli előterében elhaladó Dunaszentgyörgy–Harta-vetőzóna a Kapos-vonal keleti szakaszával együtt a kutatási terület legintenzívebb neotektonikus aktivitású szerkezeti eleme. Tipikus „virágszerkezetet” mutató belső struktúrájuk és a kapcsolódó másodlagos formaelemek (Riedel-törések) alapján balos oldaleltolódásnak minősíthetők. Szerkezeti jellegeiben igen hasonló a Bonyhádi-me-

dence DK-i peremén húzódó mestervető (Bonyhádi-törés) és a hozzá csatlakozó vetőrendszer, amely DNy felé a Mecsek Északi Pikkelyzónájának deformációs övéhez csatlakozik (Geomega, 2016d). Ez a vetőrendszer neotektonikai aktivitás szempontjából egységes, Bonyhád–Dunaszentgyörgy–Harta-vetőrendszernek tekinthető (8. ábra).



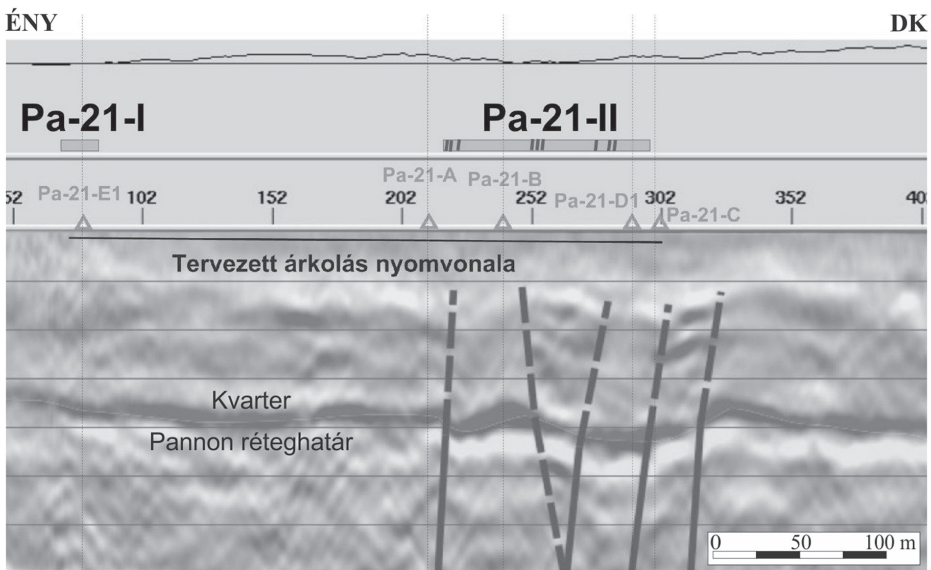
8. ábra. A földtani-geofizikai adatok szintézise eredményeképpen kapott neotektonikai modell, amely a sötétszürke sávon belül fehér vonalakkal mutatja a vetők neotektonikusan legaktívabb szakaszait (Horváth, 2017 alapján, módosítva).

A fekete vonalak a progradáló selfperem (5. jelű felület a 4. ábrán) tetejét átmetsző vetőket jelölik

A projekt keretében elvégzett különböző földtani-geofizikai vizsgálatok alapkérdését az jelentette, hogy pontosan milyen korúak a neotektonikus aktivitást mutató vetők, felhatolnak-e a legfiatalabb negyedidőszaki rétegekbe, és ha igen, ott

milyen mértékű deformációt idéznek elő. A neotektonikus vetők közül értelem-szerűen kulcsfontosságú a telephely alatt és annak déli előterében húzódó Duna-szentgyörgy–Harta-vetőzóna. A vetőzóna belső szerkezetének és neotektonikai aktivitásának részletes vizsgálatára a telephely környezetében több nagy felbontású felszíni geofizikai módszerrel végeztünk vizsgálatokat. Kulcsfontosságúnak mutatkozott a Pa-21-S jelű szelvényen látható vetőkép (9. ábra), mert ez arra mutatott, hogy a vetődés a negyedidőszaki képződmények felszínközeli tartományát is érinthette. A szeizmikus szelvény alapján hét sekélyfúrás (Pa-21-E1, -A, -B, -D1, -C, -F3 és -G4) valósult meg, és a 20 m-nél mélyebb szakaszokon magmin-tavételre volt lehetőség (Mecsekérc, 2016a, b). Egyértelmű eredmények és kézen-fekvő tektonikai értelmezés született, amelyet a tengelici vörösiszap megléte, illetve hiánya tett lehetővé. A tengelici vörösiszap tektonikus érintettségét a ma-gyanyagban talált vetőkarcok megkérdőjelezhetetlenné tették.

Ezt követően két szakaszon (Pa-21-I és -II) került sor a humuszréteg eltávolítá-sa után 2 méter mély árok kialakítására 12 méter és 84 méter hosszúságban (9. ábra). A Pa-21-II árokban felszínközeli tektonikai elvetést mutató szerkezetek tá-rultak fel késő negyedidőszaki futóhomokban, amelyek pontosan ott jelentkeztek, ahol azt az S-hullám szelvényen értelmezett vetők felszíni folytatása jelezte. Ezek közül a leglátványosabb az árok közepén (43,7 m-nél) észlelt „tölcséres szerkezet” és az ahhoz mindkét oldalon csatlakozó kis normálvetődések voltak (10. ábra).



9. ábra. A Pa-21 szeizmikus szelvény (5. és 6. ábra) mentén felvett speciális S-hullám szelvény szerkezeti értelmezése és az ennek alapján kijelölt 12 m és 84 m hosszú árkolás (Pa-21-I, illetve Pa-21-II) helyszínrajza (Horváth, 2017 alapján, módosítva)

A szerkezet jellege és iránya, amely megegyezett a Dunaszentgyörgy–Harta-vető csapásával, úgy értelmezhető, hogy az árkolás transztenziós virágszerkezetet tárt fel, amely a szeizmikusan dokumentált mélyvető felszínközeli manifesztációját képezi (Mecsekérc, 2016a, b). Az elvégzett kormeghatározások szerint a futóhomok kora 19–21 ezer év (Thamóné Bozsó–Füri, 2016). Ennek megfelelően a Nukleáris Biztonsági Szabályzat definíciója szerint a vető aktívnak minősítendő.

A 43,7 m-nél azonosított szerkezet annak kialakulásának idejére vonatkozóan paleofelszínig hatoló vetődéses deformációnak tekinthető, amelynek tanulmányozása során a szakemberek maximálisan néhány centiméteres vertikális elvetést dokumentáltak. A vetődés laterális komponensének megbízható meghatározására nem volt lehetőség.



10. ábra. A Pa-21-II árok közepén (43,7–45 m között), 2 m vastag humuszréteg eltávolítása után, mintegy 1 m vastagságban feltárt „tölcséres szerkezet” és a kapcsolódó kis normálvetők, kb. 20 ezer éves folyami homokban (Horváth, 2017 alapján, módosítva).

Az értelmezés szerint a szerkezet a mélyben gyökerező és a Pa-21 szelvényen látható virágszerkezet (5. ábra) felszíni manifesztációját jelenti, és a DH-vető aktív minősítésének evidenciáját szolgáltatja

KÖVETKEZTETÉSEK

- A telephely 300 km² területű környezetében végzett 3D szeizmikus mérések és azok 50 km sugarú területre kiterjesztett értelmezése igazolták és pontosították a korábbi kutatások alapján felvázolt fiatal vetőrendszert.
- Bizonyítást nyert, hogy a fiatal vetők balos oldalelmozdulással létrejött vi-rágszerkezetek, és a medence kialakulását inicializáló kora és középső mio-cén tektonikai elemek felújulásaiként jöttek létre.
- A nagy felbontású szárazföldi szeizmikus mérések és fúrások alapján meg-állapítható, hogy a fiatal vetők felhatolnak a pannon összlet tetejéig, amely egy eróziósan jelentősen lepusztult terület.
- A geoelektromos tomográfia eredményei szerint a negyedidőszaki képződ-ményekben markánsan megnyilvánuló fajlagosellenállás-zavarzónak a sze-izmikusan megismert vetőkkel állnak kapcsolatban.
- A pszeudo-3D vízi szeizmikus mérések bonyolult rétegtani struktúrákat mutatnak a dunai mederfenék alatti 6-7 m vastag recens folyami üledékek-ben, de ezek üledékföldtani jellegzetességek és nem tektonikus eredetű szer-kezetek.
- A vízi szeizmika ugyanakkor a kutatási területen, nagy léptékű skálán (fo-lyami holtágban) földrengéshullámok hatására deformált laza üledékeket (szeizmitek) talált, amelyek kora kb. 11 ezer év.
- A fokozatos megismerés elvét követő új geofizikai kutatások és sekélyfúrá-sok több évtizedes vitát zárnak le a Dunaszentgyörgy–Harta-vetőzóna men-tén árkolással feltárt 20-21 ezer éves folyami homokban észlelhető transz-tenziós szerkezet – aktív vető – feltárásával.

A szerkezet elemzése azt mutatja, hogy az azt létrehozó törési sík nem okozott az egykori felszínen néhány centimétert meghaladó vertikális elmozdulást, míg az elmozdulás horizontális komponensének megbízható meghatározására az árkolá-sos feltárásban nem nyílt mód.

IRODALOM

- Balla Z. (1999): Van-e bizonyíték negyedidőszaki tektonizmusra Paks környékén? *Földta-ni Közöny*, 129, 97–107. https://climeneews.com/letoltes/Paks-II/EPA01635_foldtani_koz-lony_1999_129_1_097-107.pdf
- Balla Z. – Dudko A. – Maros Gy. (1997): Paks környékének mélyszerkezete és neotektonikája. In: Marosi S. – Meskó A. (szerk.): *A Paksi Atomerőmű földrengésbiztonsága*. Budapest: Akadé-miai Kiadó, 33–59. http://real-eod.mtak.hu/8491/1/a_paksi%20atomeromu_foldrengesbizton-saga.pdf
- ELTE (1990): *Paks környezetének neotektonikája. Jelentés a MÁELGI 828/89. sz. megrendelése alapján*. Budapest

- ELTE (1993): *Paks környezetének szerkezeti viszonyai és nagytektonikai helyzete. Kutatási jelentés.* Budapest
- Geomega Kft. (2015a): *Előzetes jelentés a Paks környéki nagyfelbontású 3D szeizmikus mérések eredményeiről.* Budapest
- Geomega Kft. (2015b): *Értékelő jelentés a 3D szeizmikus kutatás eredményeiről.* Budapest
- Geomega Kft. (2016a): *Nagyfelbontású 2D szárazföldi geoelektromos szelvényezés. Zárójelentés.* Budapest
- Geomega Kft. (2016b): *Pseudo-3D vízi szeizmikus mérések. Zárójelentés.* Budapest
- Geomega Kft. (2016c): *Felszíni geofizikai kutatások értékelő jelentése (telephelyen kívül elvégzett mérések).* Budapest
- Geomega Kft. (2016d): *3D földtani-tektonikai modell kialakítása.* Budapest
- GeoRisk (2005): *A tíz éve folyó szeizmikus monitorozás eredményeinek szeizmikus értelmezése és a neotektonikai modell megújítása. Jelentés ETV-Erőterv P125050 (PAE jelentéstár)*
- Horváth F. (2017): *Paks II atomerőmű telephely-vizsgálatának tudományos eredményei: Földtani, tektonikai kutatások.* Tudományos előadás. MTA 188. közgyűlése, Budapest, 2017. május 17. https://issuu.com/bodoky/docs/02_horvathf
- MÁFI (1994): *A Paksi Atomerőmű körzetének földtani felépítése. Jelentés a PARt B402M-4-22/94/k sz. szerződés teljesítéséről.* Budapest
- Mecsekérc Zrt. (2016a): *A földtani modellezés összefoglaló és értékelő jelentése.* Pécs
- Mecsekérc Zrt. (2016b): *Földtani Kutatási Program zárójelentése.* Pécs
- MFGI (2016): *Nagyfelbontású 2D szárazföldi reflexiós szeizmikus szelvényezés.* Budapest
- Novothny Á. (2016): *Lumineszcens kormeghatározás a paksi telephelyen létesítendő új atomerőművi blokkok földtani kutatási programjához.* Kézirat. Budapest: ELTE
- OveArup & Partners International (1996): *PHARE Regional Programme Nuclear Safety. Project no. 4.2.1 VVER 440-213 Seismic Hazard Reevaluation. Final Report, Summary, Task 7.* Paks
- Thamóné Bozsó E. – Fűri J. (2016): *OSL kormeghatározási eredmények. (Paks környéki minták V)* Budapest: Magyar Földtani és Geofizikai Intézet
- Tóth T. (2003): *Folyóvízi szeizmikus mérések.* PhD-értekezés. Budapest: ELTE TTK Geofizikai Tanszék
- Tóth T. – Horváth F. (1997): Neotektonikus vizsgálatok nagyfelbontású szeizmikus szelvényezés-sel. In: Marosi S. – Meskó A. (szerk.): *A Paksi Atomerőmű földrengésbiztonsága.* Budapest: Akadémiai Kiadó, 123–152. http://real-eod.mtak.hu/8491/1/a_paksi%20atomeromu_foldrengesbiztonsaga.pdf
- Tóth T. – Horváth F. (1999): Van bizonyíték a negyedidőszaki tektonizmusra Paks környékén! *Földtani Közlöny*, 129, 109–124. http://epa.oszk.hu/01600/01635/00289/pdf/EPA01635_foldtani_kozlony_1999_129_1_109-124.pdf