

Egy kutatási jelentés margójára

Bodoky T. J.

E-mail: bodokytamasjanos@gmail.com

Bevezetés

Magyarország kormánya úgy határozott, hogy a kifutóban lévő Paksi Atomerőmű pótlására újabb atomerőművet építtet a meglévő közvetlen szomszédságában (tőle É-ra) Paks-II néven. Az építkezésekkel kapcsolatos teendőket, így a kiválasztott helyszín földrengésbiztonságának vizsgálatát is, a Paksi Atomerőművet is üzemeltető Magyar Villamosági Művekre (MVM) bízta. Ennek a vizsgálatnak a telephely körül mintegy 50 km sugarú körre kellett kiterjednie. Az MVM a vizsgálatokat elvégeztette, és a szakértői vizsgálatok eredményeiből összeállított egy úgynevezett *Telephely Biztonsági Jelentést (TBJ)*, amelynek alapján kérte az illetékes hatóságokat a telephelyre vonatkozó engedély kiadására. Az MVM által összefoglalt vizsgálati eredmények alapján a hatóságok a telephely engedélyét 2017. március 30-i dátummal kiadták [1].

Az MVM a teljes vizsgálati és engedélyezési anyagot nyilvánossá tette [2–12]. A hazai geofizikus közösség számára ezekből az anyagokból elsősorban a földtani és a geofizikai zárójelentések lehetnek érdekesek [3, 10].

Közvetlenül a rendszerváltást követően, a Paksi Atomerőmű földrengésbiztonságának vizsgálata során ismertté vált, hogy az ország egyik legnagyobb, valószínűleg a teljes földkérget átszelő törésvonala, a Kapos-vonal szerkezeti kapcsolatban van a Paksi Atomerőmű telephelye alatt húzódó, vele egyenrangú, neotektonikus Dunaszentgyörgy-Harta (DH) vetőzónával [10]. Azt, hogy a DH vetőzóna aktív szerkezet, már 1997-ben, az első paksi földrengésbiztonsági kutatások során megállapították [14]. A vetőzóna alapvetően balos oldalelmozdulás, amelyhez helyenként transzzenziós és transzpressziós elemek kapcsolódnak.¹⁾ Az MVM Telephely Biztonsági Jelentése ismét megállapítja, hogy a DH vetőzónát aktív szerkezetnek kell tekinteni [13].²⁾

A kérdés tehát ebben az esetben az, hogy milyen feltételek mellett lehet egy aktív vetőzónára nukleáris létesítményt telepíteni. Erre a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA – International Atomic Energy Agency) és az egyes országok saját szabályzásai, Magyarországon a 118/2011. (VII. 11.) Kormányrendelet azt a választ adják, hogy akkor, ha az egyébként aktív vetőnek nincsen meg az a képessége – a nemzetközi szóhasználat szerint nem „capable” –, hogy a felszínen olyan mértékű elmozdulást hozzon létre, amelyet megfelelően méretezett mérnöki eszközökkel már nem lehet ellensúlyozni.³⁾

A következő kérdés, hogy hogyan állapítjuk meg egy vető ilyen jellegű képességét, illetve képességének hiányát? Erre is a fent említett szabályzások adnak iránymutatást. A hazai szabályozás lényege az, hogy ha bizonyos időn belül történt a kutatásba bevont területen a felszínre, illetve annak közvetlen közelébe kifutó elmozdulás, akkor a vetőnek ez a képessége megvan.⁴⁾ A telephelyre magára ugyanez a szabályzás szigorúbb kritériumot ad meg, nevezetesen, ha a felszínre kifutó vető lehetőségét nem lehet megbízhatóan cáfolni, akkor a telephelyet alkalmatlannak kell nyilvánítani.⁵⁾

Ennél konkrétabb az orosz szabályozás [19], amely egy millió évben (ez a negyedkört jelenti) és 0,5 m-ben határozza meg az időintervallum és a megengedett maximális elmozdulás mértékét.⁶⁾

A fentiek értelmében tehát a földrengésbiztonsági kutatásoknak azt kellett bizonyítaniuk, hogy a DH zóna elmozdulásai a negyedkori rétegeket nem érik el, azokba nem hatolnak be, illetve, ha mégis, akkor a hatásuk ott elhanyagolhatóan csekély (az orosz szabályzás szerint az elmozdulások fél méter alatt maradnak). A zárójelentések szerint a geológiai, geofizikai, paleoszeizmológiai kutatások során ugyan találtak a negyedkori rétegeket is érintő elmozdulásokat, de sehol sem volt bizonyítható, hogy ezek elérik a veszélyesnek tekintett mértéket. Erre a megállapításra épül az MVM Telephely Biztonsági Jelentése, és erre hivatkozik az Országos Atomenergia Hivatal által kiadott telephelyengedély is.

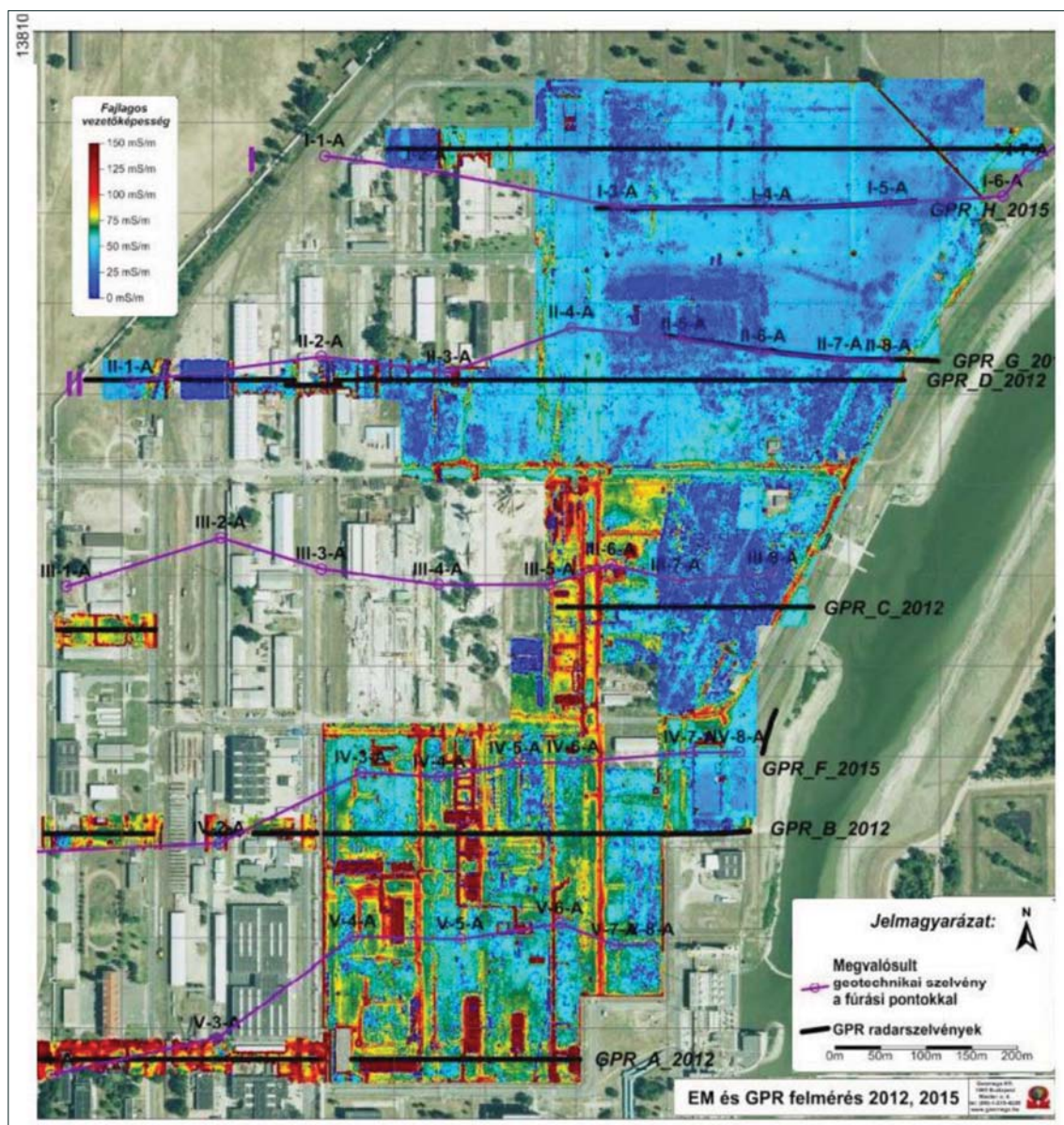
Tekintettel az egész kutatás rendkívül nagy volumenére a következőkben csak egy szűk, de igen fontos területre szeretnék összpontosítani, vagyis az engedélyezett telephelyen belüli felszíni geofizikai kutatásokat szeretném áttekinteni a megfogalmazott alapkérdés, azaz a neotektonikai mozgások szemszögéből. Vajon az ott elvégzett kutatások alapján el lehet-e megbízhatóan vetni a felszínre kifutó elmozdulások lehetőségét?

A telephelyen belüli felszíni geofizikai kutatások

A telephelyen belüli kutatásra a hazai szabályzás a következőt írja elő: „A telephelyen a felszínre kifutó elvetődés lehetőségét elemezni, értékelni kell. A vizsgálatnak elegendően részletesnek kell lennie ahhoz, hogy a felszínre kifutó elvetődés lehetőségének kérdését érdemben el lehessen dönteni” ([15], 7.3.1.0800. pont).

Az alapkérdés tehát a felszínre kifutó elmozdulás lehetősége. Ennek a szemszögéből nézve a telephely földtani felépítése elég egyszerű, egy vastagabb, tömörebb, pannóniai összletre települ diszkordánsan a lazább, szemcsésebb, negyedkori üledéksor. Geofizikai szempontból ez egy kétréteges modell, amit némileg bonyolultabbá tesz a felszínen található emberi tevékenység által megbolygatott, feltöltött vékony réteg. Fúrásos és karotázsinformációk alapján a lazább szemcsés negyedkori rétegek alsó határa a felszíntől számítva mintegy 25–30 m mélyen található. A karotázsmérések természetesgamma-görbéje elég egyértelműen kijelöli ezt a határt. A felszíni bolygatott rész vastagsága a terület legnagyobb részén 0 m és 4 m között változik, de a változások lassúak, általában nem lépik túl az 1-2 m/100 m értéket. Ezt az értéket a feltöltések előtt készült szintvonalas térképek és a jelenlegi térszint összehasonlításával határozták meg.

Az alapkérdést megválaszolandó tervezték meg és végezték el a telephelyen belüli felszíni geofizikai kutatásokat. A kutatások első fázisában elektromágneses (EM) és georadar- (GPR-) mérésekre került sor [3, 10]. Ezek feladata a felszíni és közvetlenül a felszín alatti talajrétegekben található, főként emberi tevékenységhez köthető tárgyak, inhomogenitások kimutatása, különös tekintettel a területen lévő épületalpozásokra, közművekre vagy azok maradványaira. Az EM mérések behatolási mélysége körülbelül 1 m, a nagyon ritka vonalhálózat mentén inkább csak ellenőrzési céllal végzett radarméréseké körülbelül 2 m volt. Ezek a mérések valóban csak az emberi tevékenység által megbolygatott legfelső vékony réteg megismerésére voltak alkalmasak, viszont ezeknek az ismerete a további kutatások szemszögéből igen fontos. A mérések eredményeképpen elkészült térképet Tóth et al. (2016) nyomán az 1. ábránk mutatja be. Az ábrán látható, hogy a



1. ábra. Az EM mérések eredménytérképe (Tóth et al. (2016) nyomán)

jelenleg is működő erőműhöz közelebb eső D-i területre szívesen „szennyezett”. Az É-i, ÉK-i részek azonban ezektől a felszíni vagy közvetlen felszínközeli zavaró objektumoktól vagy legalábbis az EM mérésekkel kimutatható részüktől többnyire mentesek.

A mérések következő fázisában geoelektromos multi-elektrodás szelvényezést végeztek Wenner–Schlumberger-elrendezésben, 4 m-es elektrodátávolsággal, 8,1 km hosszban [3, 10]. A jelentésekből nem derült ki számomra, hogy pontosan, mi is volt ezeknek a méréseknek a célja. Az alapfeladat megoldására, vagyis a neotektonikus elmozdulások észlelésére ezek a mérések ugyanis alkalmatlanok. A negyedkori rétegeken belül egy elmozdulás mindkét oldalán ugyanazok az anyagok (ugyanazok a fajlagosellenállás-értékek) találhatók, vagyis egy ellenállás-szelvényezés számára ezek az elmozdulások láthatatlanok. Elképzelhető lett volna, hogy a negyedkori rétegek talpánál egy hirtelen ellenállás-változás lép fel, és akkor egy viszonylag nagy vertikális elmozdulást ki lehet mutatni, de ezt az ellenállás-változást a szelvények egyikén sem lehet látni (Ács et al. 2016, 09. melléklet), vagy nem érték el a mérések ezt a szintet, vagy – ami inkább valószínű – nincsen ilyen ugrás a negyedkori rétegek talpán. Még egy további tényezőt is említhetünk, nevezetesen, ha van olyan mérés, amelyet az eltemetett fémcsövek és betonvasak igazán zavarnak, akkor ez éppen a geoelektromos ellenállás-szelvényezés.

Ezután egy szeizmikus refrakciós mérésre került sor ugyanezen a vonalhálózaton. A kiinduló feltételezés feltehetőleg itt is az volt, hogy a negyedkori rétegek talpán elegendően nagy, ugrásszerű paraméterváltozás jelentkezik, azaz növekedés a szeizmikus longitudinális hullámok terjedési sebességében. Ennek teljesülése esetén ugyanazt lehetett volna remélni, mint az ellenállás-szelvényezésnél. Azonban ez a feltételezés sem teljesült, és így a méréssel a Duna vízállásváltozásait is korrekcióba véve sikerült a telephely alatti talajvíztükört kimutatni. Ez mindenestre érdekes eredmény még akkor is, ha semmi köze sincs az alapfeladathoz.

Végül történt még egy harmadik mérés is a már említett méréseknél használt vonalháló mentén, egy szeizmikus transzverzális hullámokkal végzett reflexiós mérés. A mérésnél hullámforrásként egy transzverzális hullámok kelésére alkalmas vibrátort alkalmaztak 20-tól 80 Hz-ig futó, 10 s hosszú vibrojelekkel, a szeizmométer és a forrásponthoz távolság 2 m, a felvételek csatornaszáma 96, és ennek megfelelően a fedésszám a mélység függvényében 48-szorosig terjedt.⁷⁾

Ács et al. (2016) kimerítő leírást adnak a reflexiós mérések eszközeiről, a mérési metodikáról, a mérések feldolgozásáról és a mérések minőségét befolyásoló okokkal kapcsolatos tapasztalatokról, majd a jelentés ezt a következő mondattal zárja: „Az eredményül kapott migrált mélységszelvények – értelmezés nélkül – a jelentéshez csatolt mellékletként kerülnek közlésre (4. és 6. melléklet).”

Tóth et al. (2016) bővebben tárgyalják ugyan a reflexiós S-hullám-méréseket, ám az alapfeladatot tekintve ők is következő következtetésre jutnak: „A telephely területe

alatt a rendelkezésre álló adatok alapján teljes bizonyossággal kijelenthetjük, hogy a vetőzóna a teljes megőrzött pannon rétegsort harántolja. Nincs azonban semmi olyan adat, mely biztos választ tud adni a negyedidőszakú üledékek tektonikai érintettsége kérdésében. Sajnos nem kivétel e tekintetben az S-hullám sekélyreflexiós szeizmikus mérése sem. Ennek a fennmaradó bizonytalanságnak fő oka a szelvények gyenge jel/zaj aránya, a felszíni zavaró hatások torzítása, valamint magának a területet jellemző negyedidőszakú folyóvízi összletnek a bonyolult, laterálisan gyorsan változó belső szerkezete.”

Összefoglalva, a telephelyen belüli felszíni geofizikai mérésekről megállapíthatjuk, hogy az alapfeladat szempontjából eredménytelenek voltak. A geoelektromos szelvényezés és a szeizmikus refrakciós mérés esetében ez már eredetileg is nyilvánvaló volt, mert ha még teljesülnék is a paraméterugrásra vonatkozó remények, a pannon rétegek felszínének töréséből még nem következik az üledékhézaggal rátelepülő negyedkori rétegek érintettsége. Maradnak a szeizmikus reflexiós mérések, ezek – mint azt a nagyobb mélység tartományt átfogó szelvényekből jól ismerjük – nemcsak egy vető létének, de lefutásának kimutatására is alkalmasak. Ám ahogy azt a fenti idézet állítja, a különböző zavaró tényezők miatt a reflexiós szelvényeket nem lehetett biztonságosan értelmezni.

Itt megjegyezném, hogy sajnos egy bizonytalan vagy nagyon bizonytalan értelmezésre tett kísérletet sem tartalmaznak a jelentések.

Kísérlet a telephelyen belüli szeizmikus S-hullám-reflexiós szelvények értelmezésére

A telephelyen belül lement szeizmikus S-hullám-reflexiós szelvények teljes sorozatát közlik Ács et al. (2016) a Földtani Zárójelentés mellékleteiben [12]. A 4. és 5. mellékletben a TWT (Two Way Time) időszelvények, míg a 6. és 7. mellékletben a migrált mélységszelvények sorozata található helyszínrajzokkal együtt. A szelvényekről csak annyit kell megemlíteni, hogy erősen túlmagasítottak. A szelvények helyszínrajza a terület légi fényképére vetítve a 2. ábrán látható.

A szelvényeket végignézve arra a meggyőződésre jutottam, hogy indokolatlan a teljes mérési anyag kategorikus elutasítása. Jól ismert tény, hogy a közvetlen felszín alatti 50 m-es régió szeizmikus reflexiós kutatása sokkal nehezebb feladat, mint egy néhány ezer m-ig terjedő (általában olajipari) kutatás. Nagyon nehéz a szeizmikus hullámok hullámhosszát annyira összehúzni, hogy ilyen kis mélységekről is elfogadható felbontást nyújtsanak. Ennél a kutatásnál pedig – véleményem szerint – éppen ez sikerült egy innovatív, új technika alkalmazásával. Ez indított arra az elhatározásra, hogy közelebbről is megvizsgáljam ezt a mérési anyagot.

A szelvények igen jó felbontású PDF formátumú képként jelennek meg a mellékletekben, teljes képernyőméretre történő nagyításuk nem okoz problémát, és így



2. ábra. Az SRef jelű sekély szeizmikus S-hullám-mérések helyszínrajza (Tóth et al. (2016) adatainak felhasználásával)

számítástechnikai eszközökkel elmenthetők a képernyőről. Ennek eredményképpen képként rendelkezésre állnak,⁸⁾ ami azt jelenti, hogy a szokásos szeizmikusadatfeldolgozás eszközeivel – amelyek egy otthoni gépen amúgy sem állnak rendelkezésre – nem férünk hozzájuk, de az ismert képfeldolgozó programokat használhatjuk.

Első lépésként felhasználva az EM mérések nyújtotta információkat megvizsgáltam, hogy milyen mértékben tehetők felelőssé az emberi tevékenységhez köthető objektumok a szelvényekben megjelenő jelenségekért, és milyen mértékben tételezhetjük fel, hogy ezeknek a jelenségeknek valós földtani okai vannak.

Milyen módon kell megjelennie a zavaró felszíni objektumok képének a szelvényeken?

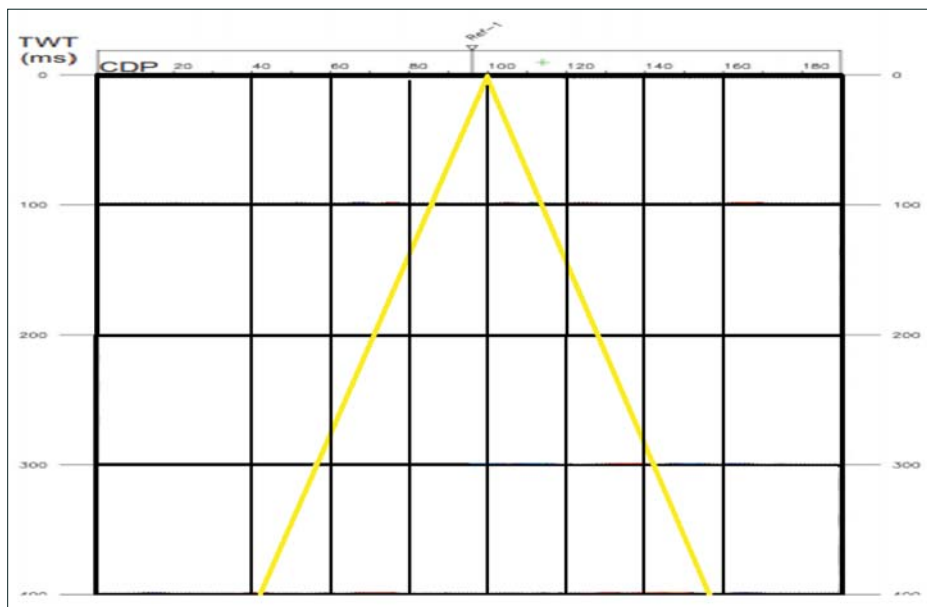
A vizsgálathoz a TWT (kétszeres futásidő) időszelvényeket választottam, mert nem ismerem a mélységzel-

vények feldolgozásánál megadott „implicit FD időtartománybeli migrációt” [10].

S-hullám-terjedési sebességadatokat nem ad meg egyik jelentés sem, de ezeket a TWT időszelvények és a migrált mélységzelvények összehasonlításával meg lehetett becsülni. Nekem ez a felső negyedkori összletben közelítőleg 280 m/s-nak, az alatta lévő pannóniai rétegekben közelítőleg 400 m/s-nak adódott, így ezeket az értékeket használom a következőkben.

Mi történik, ha egy szeizmikus vonalra merőlegesen, közvetlenül a felszín alatt egy reflektáló felület (pl. egy beton alapozás) helyezkedik el?

Ha mind a szenzor, mind a forrás az akadály ugyanazon oldalán van, akkor a közös mélységpontos csatornagyűjteményekben minden csatornán azonos időben érkezik be az akadályról reflektált jel, vagyis egy dőlésmentes, egyenes beérkezést kapunk, amelyet az összegzés hasonlóan



3. ábra. A felszínen, vonal mentén terjedő S-hullámok sebességképe

csillapít mint a többszörös reflexiókat. Ha feltesszük, hogy az összegcsatorna elején az összegzésben részt vevő csatornák kis száma vagy egyéb ok miatt a zavar nem tűnik el, akkor a szelvények itt használt léptékében a 3. ábrán bemutatott sárga vonalaknak megfelelő irányban (ez a kétszeres terjedési idő – forrásponti távolság koordináta-rendszerben 140 m/s meredekséget jelent) zavarja meg a többi jelet, ugyanis ez egy vízszintesen, a vonal mentén terjedő transzverzális hullám képe.

Könnyű belátni, hogy ha a közvetlen felszíni vonalas akadály nem derékszöget zár be a vonallal, vagy teljesen kívül, a vonaltól oldalra esik, az összegzés akkor is a már előbb említett módon csillapítja ezeket az álszinteket, amelyeknek a meredeksége (vagy az interferáló zavarai látszólagos sebessége⁹⁾) nem lehet alacsonyabb az összegszelvényeken, mint 140 m/s. Pontszerű akadályok esetén olyan hiperbola alakú beérkezéseket kapunk, amelyeknek az aszimptotái megfelelnek a 140 m/s látszólagos sebességnek. Ezekre a hiperbolákra is igaz, hogy az összegzés csillapítani fogja ezeket.

Végül, ha az akadály a szenzor és a forrás közé esik, akkor legfeljebb némi energiacsökkenést okoz a legfelső szinteknél.

A fentiekből az következik, hogy a 140 m/s látszólagos sebességgel vagy annál gyorsabban terjedő zavarokat (interferenciákat, fázisugrásokat) valóban a közvetlen felszíni akadályok számlájára írhatjuk, ezzel szemben a nagyobb dőlésű, ebben a léptékben közel függőleges jelenségek így nem magyarázhatók, ezért nem zárható ki, hogy valós földtani okokra vezethetők vissza. Az okok meghatározásánál segítségül szolgálhat még, az EM térkép és a légi felvétel vizsgálata is.

A szelvények vizsgálata

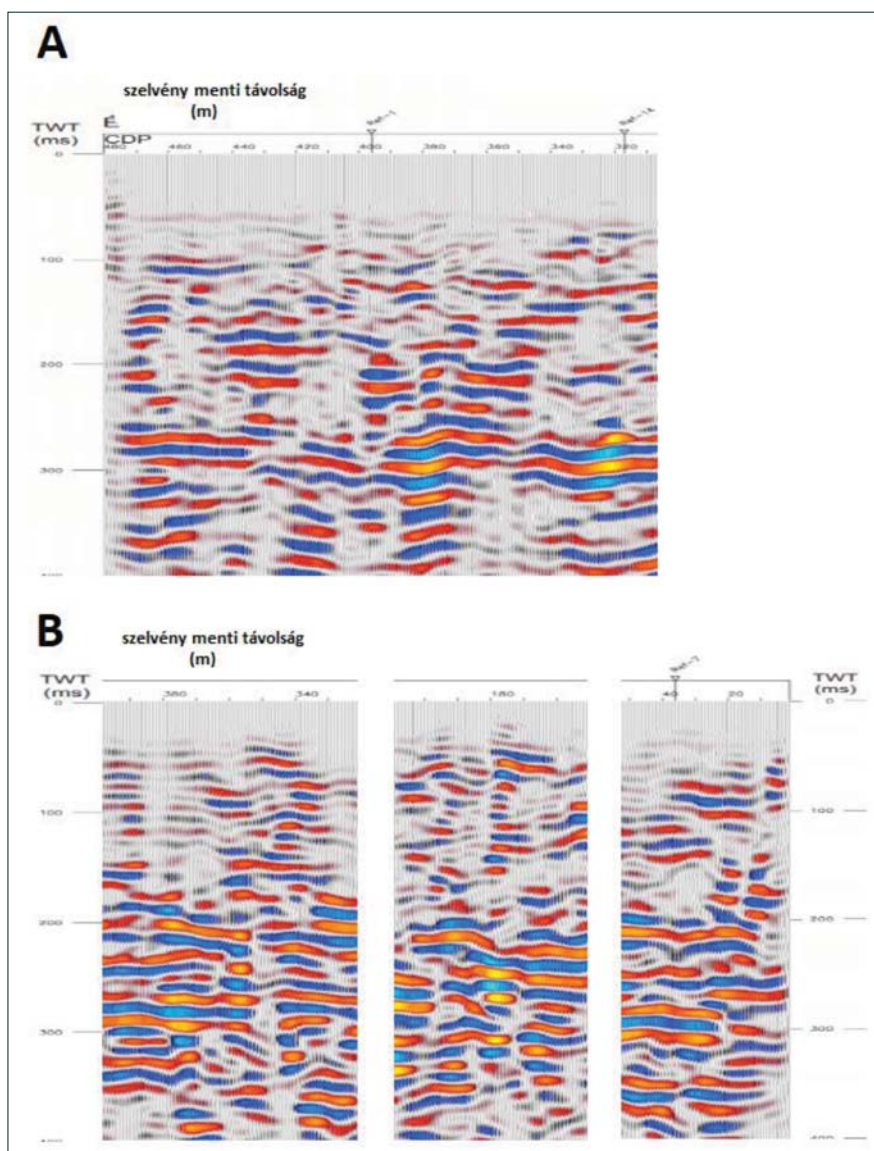
Figyelembe véve az EM mérések fontos információit a terület zavartságára vonatkozóan (1. ábra) érdemes a

szelvények vizsgálatát a szelvényhálózat É-i oldalán kezdeni.

A szelvényeken a legfelső összefüggő, legalábbis szakaszokként követhető szintek általában 40 és 80 ms között kezdődnek, ami 6–12 m-es mélységnek felel meg. Ez a mélység már bőven a bolygatott réteg alja alá esik, így jelenségei az eredeti talajhoz köthetők.

„Jelenség” alatt azt értem, amikor egy követhető szeizmikus szint mentén hirtelen megváltozik a fázis, a fázisugrásokat rendszerint a szint teljes kimaradása kíséri két-három csatornán keresztül. Az ilyen fázisugrásokat okozhatja a reflektáló szintek elmozdulása, azaz egy vető vagy a felszíni zavarok interferenciája. A két jelenséget a fent leírt módon a kétszeres terjedési idő – forrásponti távolság koordináta-rendszerben mutatott látszólagos sebességük alapján próbáltam elkülöníteni. A 4. ábra egy tipikus felszíni zajjelenséget (A) és felszíni zajként nem értelmezhető jelenségeket (B) mutat be. A B jelenségek közül balra az első valószínűleg egy csak a pannon-kvarter határig futó elmozdulás, a következő két példa viszont a mért adatok tetejéig, tehát a kvarteren is végigfutó jelenség.

Még egy kérdést kellett körüljárni, nevezetesen a mérések felbontóképességét. Mekkora az az elmozdulás, amelyet az SRef szelvények még jelezni képesek? A mérések felbontóképességét, a hullámhossz negyedével vagy felével szokás definiálni. Ezt egy frekvenciaanalízis és a hullámterjedési sebességek ismeretében könnyen eldönthetnénk, ám ezek a lehetőségek a bemutatott „képernyő-szeizmikának” nem állnak rendelkezésére, ezért ezt a szelvényképekből kellett leolvasni. Az 5. ábra egy migrált szelvény felső (negyedkori) részéből (A) és két mélyebb (pannon) részéből (B és C) vett mintát mutat be. A mintákból leolvasható, hogy a fiatalabb rétegekben a hullámhossz 3 m körül, az idősebb részben pedig 5 m körül van, ennek megfelelően a felső összletben a mérések felbontása 0,75–1,5 m, míg az alsóban 1,25–2,5 m. Így ha egy fázisugrás az



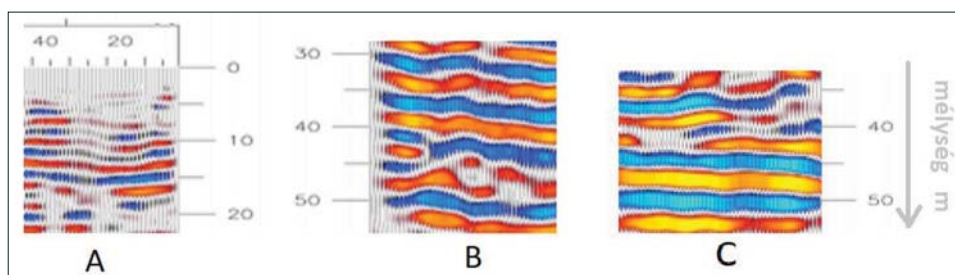
4. ábra. A felszínen terjedő hullámok képe (A), illetve a zajnak nem minősíthető jelenségek képe a szelvényeken

alsó összeteben eltűnik, akkor csak egy 1 m körüli elmozdulásról beszélhetünk, ha nem tűnik el, akkor az elmozdulás mértéke meghaladja a 2 m-t. Mindez azt jelenti, hogy az 1 m-nél kisebb elmozdulások – tehát a jogi szabályzás értelmében érdektelenül kis elmozdulások – ezekkel a mérésekkel nem mutathatók ki, tehát a szelvényeken megjelenő és a fent tárgyalt sebességekritériumoknak eleget tevő jelenségeket, ha a felszínt megközelítik, úgy kell te-

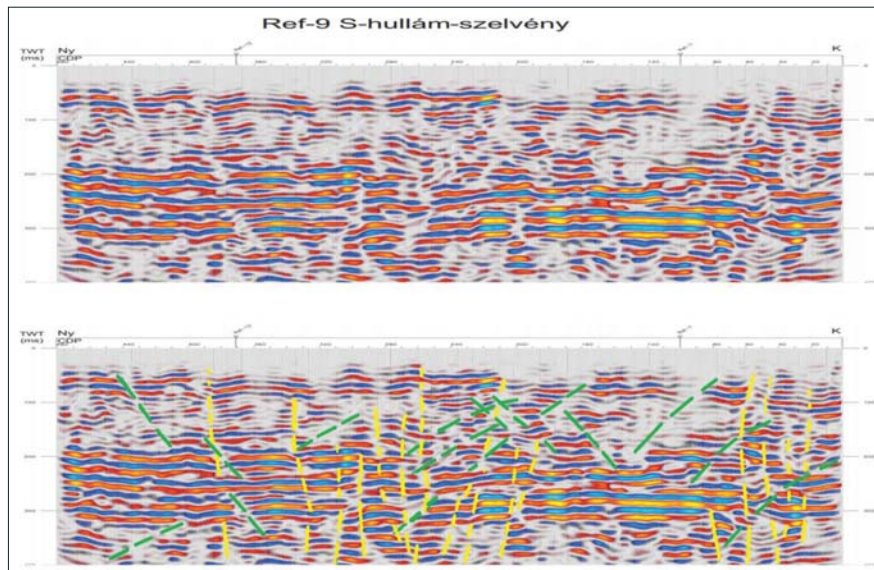
kinteni, mint jelzést arra, hogy a DH vetőzóna aktivitása valószínűleg „capable”.

Az É-i vonalak vizsgálata

Ács et al. (2016) zárójelentésének 101. oldalán bemutatott 30. ábrája a helyszínrajzzal, illetve különböző paraméter-térképekkel összerajzolva mutatja be a SRef-9-es szel-



5. ábra. A hullámhosszak meghatározása a migrált szelvények szakaszaiból



6. ábra. az SRef-9 TWT időszelvény nyers és értelmezett változata

vényt. Erre az ábrára egyetlen pillantást vetve is látszik, hogy itt nem valami zajokba és zavarokba fulladt szelvényről van szó, másrészt a helyszínrajz üres, a paramétertérképek pedig nyugodt területet mutatnak. Így ezzel a szelvényvel kezdtem az SRef szelvények értelmezésére tett kísérletemet.

Ha a kutatás alapkérdéséből indulunk ki, akkor az értelmezés során elsősorban elmozdulásokat jelző jelenségeket keresünk. Mint már említettük, az elmozdulást egy reflexiós szelvényen a szeizmikus reflexiós szintek vagy felületek mentén megjelenő fázisugrás jelzi. Ám tudatában kell lennünk, hogy egy reflexiós szelvényen egy vető elmozdulásvektorának csak a vertikális komponense jelenik meg, ez pedig oldaleltolódás esetén minden valószínűség szerint a legkisebb komponens. Tehát egy, a szelvényben megjelenő egész kis fázisugráshoz is tartozhat jelentős méretű elmozdulás. (Igaz ez persze az árkolásban kimutatott törésekre is, mert mindkét módszer csak vertikális metszetet eredményez [6]).

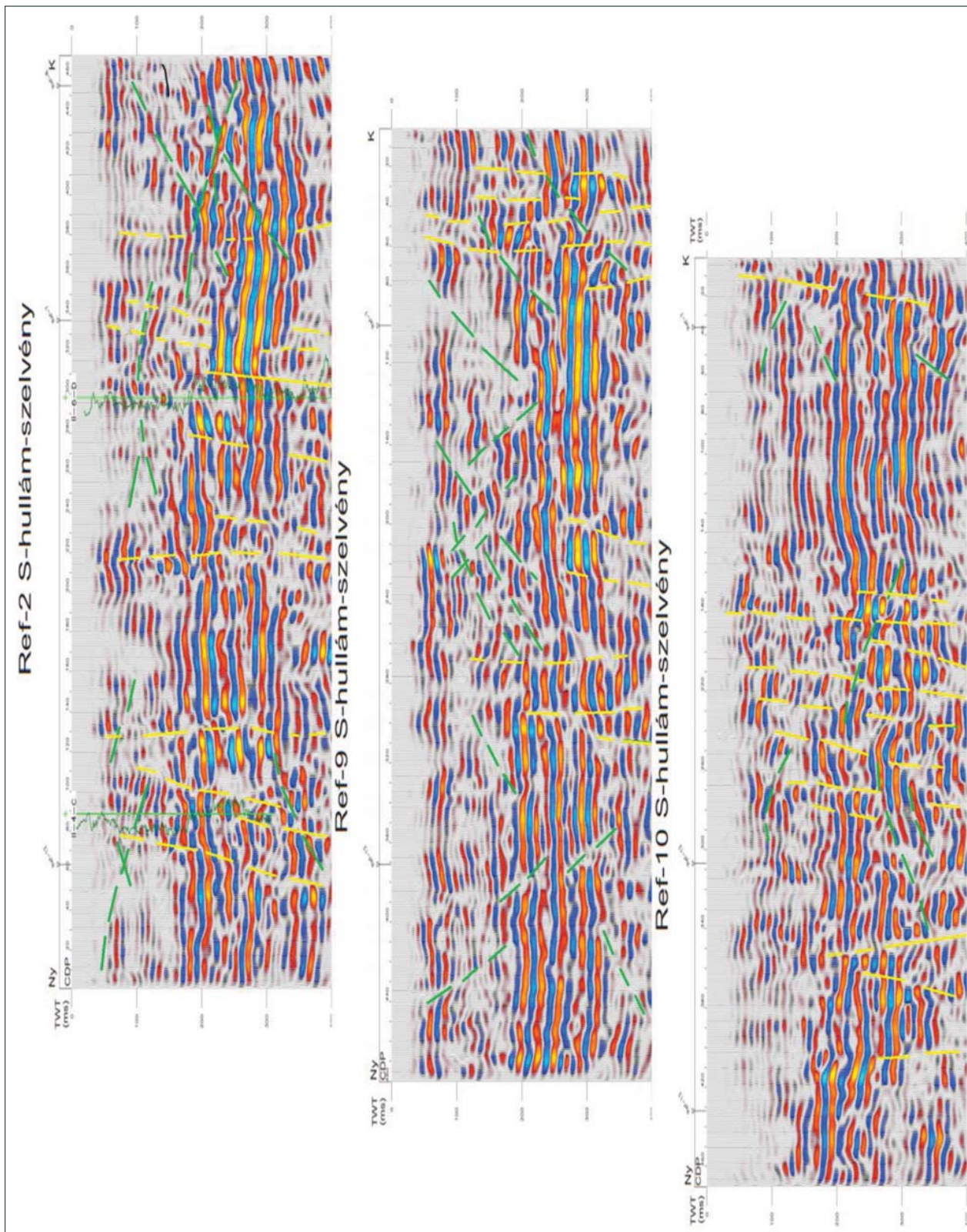
400 ms alatt levágtam a szelvény alját, mert a mérések behatolási mélysége ennél biztosan nem több. Az 6. ábrán a szelvény eredeti, Ács et al. (2016) által közölt alakja alá egy vetőkre (sárga vonalak) és felszíni zavarokra (zöld vonalak) értelmezett változatot tettem. A szelvényen két zavart, összetördelt zóna figyelhető meg a 20 és a 100 szelvényméter (a továbbiakban csak m), illetve 200 és 340 m között. Az elmozdulásra utaló jelenségek egy része csak a pannon tetejéig terjed, ám másik részük követhető tovább felfelé a negyedkori rétegekben is. Estenként az elmozdulásra utaló jelenségek egészen a mérési adatok tetejéig terjednek, ami gyakorlatilag azonos értékűnek vehető a felszínre való kifutásukkal (6. ábra). A különböző magasságokig futó vetők a vetőzónák ismétlődő felújulásaival magyarázhatók.¹⁰⁾

A szelvény Ny-i vége és a két tört zóna közti rész nyugodtabb szinteket mutat, az utóbbiban enyhe domborulat látható. A szelvényben legnagyobb amplitúdóval és a leg-

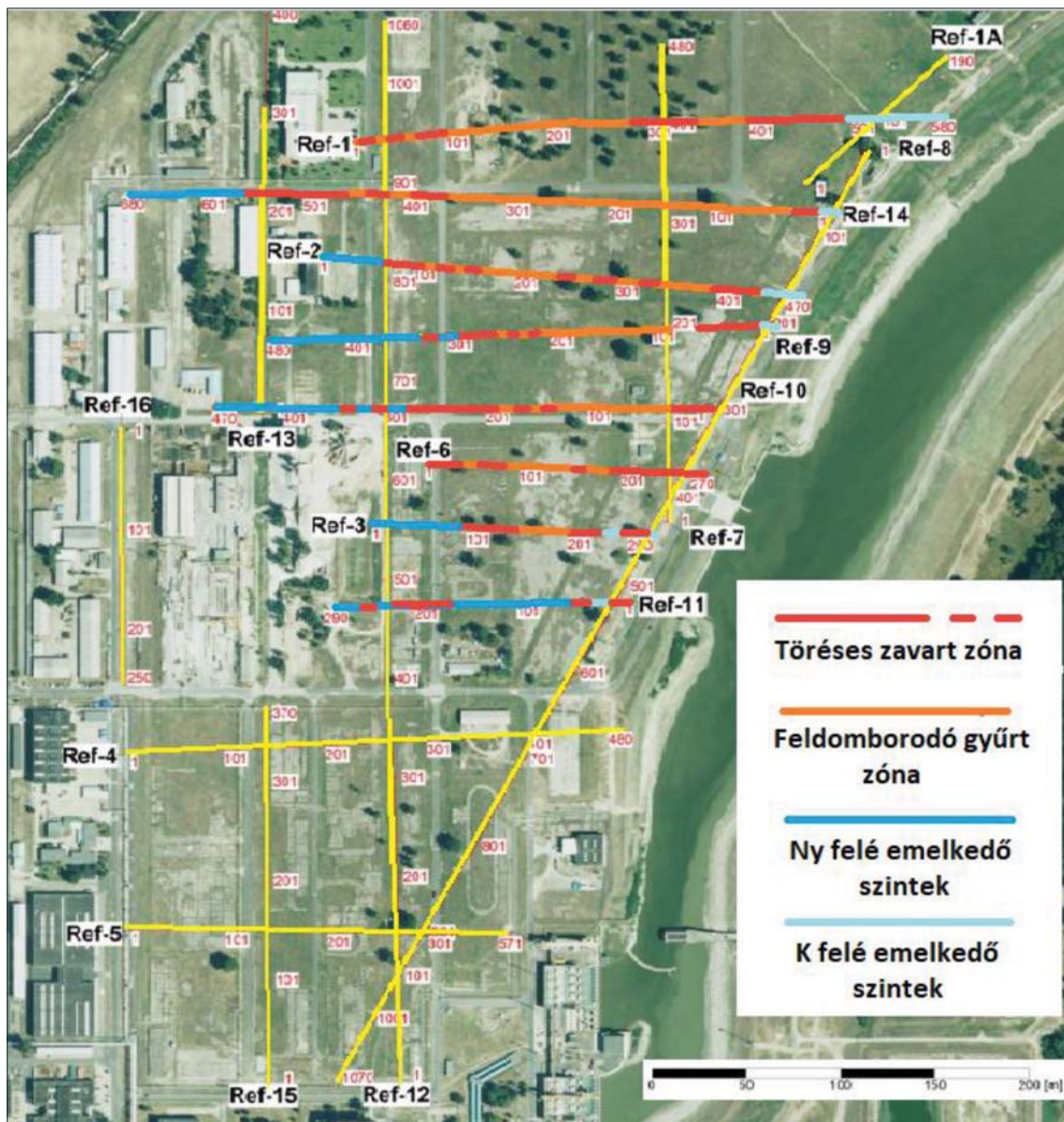
jobb követhetően a pannon összlet felső szintjei jelentkeznek – gondolom – részben azért, mert a konszolidáltabb rétegsort alkotó pannon rétegek jobban reflektálnak, részben pedig azért, mert az összegzés ebben a mélységben már eléri a teljes fedésszámot. A negyedkori rétegeknél az összegzett csatornák száma felfelé gyorsan csökken, így a reflexiós szinteknél sem várható el ugyanaz a minőség, mint a pannon rétegeknél, de ennek ellenére és az esetenkénti energiahiányos szakaszok (képernyő módban nincs lehetőség erősítésre) ellenére is jól megkülönböztethetők a nyugodt és a zavart részek.

Hogy ez a szelvény, illetve értelmezése mennyire fogadható el hitelesnek, azt elsősorban a szomszédos szelvényekkel történő összehasonlításból láthatjuk. Ezért a bemutatott szelvény mellé másoltam a tőle É-ra eső SRef-2 és a tőle D-re eső SRef-10 szelvényeket olyan módon, hogy az É-D-i irányú SRef-12-es és SRef-7-es szelvényvel való kereszteződéseik pontosan egymás alá kerüljenek (7. ábra). Látható, hogy a szelvények jellege nagyon hasonló. Persze meg kell jegyezni, hogy szoros korrelációt a szelvények egymástól mért távolsága miatt – amely jóval nagyobb, mint a kutatási mélység – nem várhatunk.

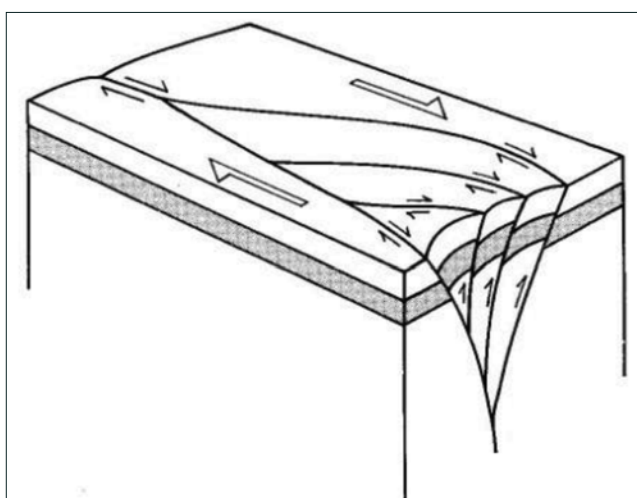
Hasonló módon egymás mellé illeszthetők a SRef-1 szelvénytől D-re futó K-Ny-i, illetve Ny-K-i irányú szelvények egészen az SRef-11-es szelvényvel bezárólag. Megpróbáltam értékelni ezeket egymástól függetlenül, és utána feltenni a helyszínrajzra a töréses zavart zónáknak ítélt részeket piros színnel, a feldomborodó köztes részt narancssárgával. Ezt mutatja be a 8. ábra. Első pillanatra elég meglepő eredményt kaptam, ugyanis a két (szerintem) tektonikailag zavart zóna körülbelül 30°-os szöget zár be egymással, közbezárván az ilyen módon szintén V alakot mutató feldomborodó, esetenként gyűrt zónát. Majd az egész szerkezet mintha a 11-es vonal környékén, ahol a V csúcsa van, megszűnne. (A karotázsadatokból látható, hogy innen a pannon teteje D felé gyorsan mélyülni kezd, mert a természetesgamma-mérések görbéi



7. ábra. Az SRef-2, -9, -10 szelvények eltoláshelyes egymás mellé illesztése



8. ábra. Az É-i vonalak értelmezése a helyszínrajzon



9. ábra. Egy „virágszerkezet” vázlatos rajza

vékony zöld vonallal rá vannak rajzolva a mélységszelve-nyekre.)

Egy ennyire sekély behatolású mérés nem mutat többet, mint amit egy 3D-s szeizmikus adattömb legfelső idő-metszete, vagyis gyakorlatilag csak egy síkban látjuk a telephely alatti földtani szerkezetet, és ráadásul azt is csak egy viszonylag ritka hálózat mentén. (Ezért az eddigi a mérést zavaró tényezők okozta bizonytalansághoz hozzáadódik még a ritka adatrendszerből adódó bizonytalanság is.) Ám mégis érdemes megpróbálni magyarázatot találni a kapott eredményre.

A szakirodalomból jól ismert a DH típusú oldal-eltolódásos vetőzónák „lélektana” [16–18]. Tudjuk, hogy az ilyen zónákhoz velük szöget bezáró oldalirányú törések kapcsolódhatnak, és hogy ez ebben az esetben is tényleg így van, azt maga az MVM-TBJ is említi [13]. Úgy gondolom, hogy a kapott eredmény egy ilyen oldalirányú törés

D-i végének a felszín közelében megjelenő képét idézi. A 9. ábra egy „virágszerkezet” vázlatos képét mutatja be (sajnos éppen az ellenkező – jelen esetben É-i – irányból), ennek a szerkezetnek a közelfelszíni vízszintes metszete ráillik az eredményekre. A szerkezet iránya is megfelel a Földtani Zárójelentésben ([10] 418. és 426. ábra) szereplő mellékvetők irányának.

Tanulságok

- A Földtani Zárójelentésnek nem volt véleménye a fent tárgyalt mérésekkel kapcsolatban, így tulajdonképpen egyszerűen csak köszönettel tartozunk nekik, hogy mégis betették a mérési anyagot a Zárójelentésbe.
- A cikk elején már idézett Tóth et al. (2016) „Felszíni geofizikai kutatások értékelő jelentés”-ében megfogalmazottakkal egyet lehet érteni annak ismeretében, hogy egy ilyen nehéz kutatási feladatban általában soha sincs 100%-osan biztos válasz. Ám úgy gondolom, hogy az SRef sekélyreflexiós hálózat sokkal több figyelmet érdemelt volna, mert bár teljesen biztos választ valóban nem ad a negyedidőszakú üledékek tektonikai érintettségére vonatkozóan, de elég határozottan valószínűsíti azt!¹¹⁾
- Az eredmények biztonságát jelentősen lehetett volna javítani a reflexiós hálózat sűrítésével. Gondolom, hogy ez a kutatási feladat nemzetgazdasági súlyához és a teljes kutatás összköltségéhez képest igen jelentéktelen ráfordítást kívánt volna.¹²⁾

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti a Magyar Villamos Műveket a Paks-II program kutatási és engedélyezési anyagainak nyilvánossá tételéért.

A cikk szerzője

Bodoky Tamás János

Jegyzetek

- ¹⁾ „A felszíni és a mélyfúrású geofizika, valamint a fúrások földtani eredményei alapján megbízhatóan definiálni lehetett az 50 km-es körzetben található vetős szerkezeteket, különös pontossággal a tervezett telephely alatt húzódó, és a Kapos-vonaltól kiágazó Dunaszentgyörgy-Harta (DH) vetőt. A szerkezeti jegyek (másodlagos törések) analízise alapján megállapítható, hogy a neotektonikus stílus alapvetően balos oldalelmozdulás, amelyhez helyenként transztenziós és transzpressziós elemek kapcsolódnak.” (MVM Paks-II Zrt., TBJ, 2016, 186. old.) [13]
- ²⁾ „A neotektonikus aktivitás mintegy 7-8 millió éve megkezdődött, és az utóbbi 5 millió év (pliocén-kvarter) során kulminálódott. A nagy felbontású sekély-geofizikai vizsgálatok, a speciális fúrások (Pa 21 A-G4) és az árkolások alapján egyértelmű, hogy a DH vetőt aktív szerkezetnek kell tekinteni.” (MVM Paks-II Zrt., TBJ, 2016, 186. old.) [13]
- ³⁾ Ehhez csak annyit fűznék hozzá, hogy valószínűleg mindnyájan elismerjük a japán mérnökök és munkások kiválóságát. Ezen az alapon japán tudással, japán alapossággal és japán pénzzel ter-

veztek meg és építették fel a fukusimai erőmű védelmét, amely valóban nagyszerűen működött (egyetlen eset kivételével).

- ⁴⁾ „7.3.1.0900. A törésvonalat a felszínre kifutó elvetődés szempontjából veszélyesnek kell tekinteni, ha a geológiai, geofizikai, geodéziai és szeizmológiai adatok az alábbiak közül egy vagy több ismérvnek megfelelnek:
 - a) az adatok ismétlődő jelleggel mozgásra, szignifikáns deformációkra vagy diszlokációkra vagy mind a háromra utalnak, olyan időintervallumban, amely alapján nem kizárható, hogy a következő mozgás a felszínre vagy a felszín közelébe kifut;
 - b) szerkezeti kapcsolat létezik egy ismert felszínre kifutó elvetődés szempontjából veszélyes törésvonallal, amelynek mozgása kiválthatja a telephely környezetében lévő törésvonal mozgását;
 - c) a szeizmogén szerkezetről feltehető, hogy a maximális lehetséges földrengés elegendően nagy és olyan félszékélyességű, hogy feltételezhető – a telephely geodinamikai sajátosságai alapján – a felszínre kifutó elvetődés.” [15]
- ⁵⁾ „7.3.1.1100. Ha a telephelyen a felszínre kifutó elvetődés lehetőségét tudományos evidenciák alapján megbízhatóan nem lehet elvetni, és az elmozdulás érintheti a nukleáris létesítményt, a telephelyet alkalmatlannak kell nyilvánítani.” [15]
- ⁶⁾ „Active fault – tectonic fault along which relative displacement of the earth crust’s adjacent blocks by 0.5 m and more took place during the last 1 bln. [million] years (quaternary period).” [19]
- ⁷⁾ A 2 m-es szeizmométer-távolság egy járulékos előnye, hogy a feldolgozott szelvények csatornaszáma egyben a vonal menti távolság m-ben mért értékét is jelenti.
- ⁸⁾ Jelen esetben én a PNG formátumot választottam.
- ⁹⁾ Itt nem a szeizmikában szokásos értelemben használok a „látzólagos sebesség” fogalmát, amiért is elnézést kérek, de a szelvények koordináta-rendszerében a jelenségek „meredeksége” sebesség dimenziójú mennyiség.
- ¹⁰⁾ A kutatás tapasztalatai szerint a neotektonikus vető(zóná)k uralkodóan korábban keletkezett vető(zóná)k felújulásával jöttek létre ([10] 3.1.1.5.1 fejezet, illetve 14., 15., 18. és 21. mellékletek)
- ¹¹⁾ Az idézett Kormányrendelet 7.3.1.1100. pontja szerint a felszínre kifutó vetők létét nem kell megcáfolni, elég, ha nem tudjuk meglétüket megbízhatóan kizárni. Egy eredménytelen kutatás pedig sajnos nem zár ki semmit, következésképpen a Kormányrendelet 7.3.1.0800. pontjában előírt alapkérdés válasz nélkül maradt.
- ¹²⁾ De ez megtehető lett volna az első vonalak után láthatóan feleslegesnek bizonyuló ellenállás-szelvényezés, illetve refrakciós mérések rovására a kutatási költségek növelése nélkül is! Egyébként a vonalak sűrítése vagy legalább annak ajánlása az MVM számára az építkezés jelenlegi helyzetében még ma sem késett el.

Hivatkozások

- [1] Országos Atomenergia Hivatal (2017): Tárgy: Az MVM Paks II. Atomerőmű Fejlesztő Zrt. kérelmére telephelyengedély. Ügyszám OAH-2016-01001/2016 – Határozatszám P2-HA0008 – Iktatószám OAH-2016-01001-0072/2017.
- [2] Bodoky Tamás (2017): Nem földrengésmentes a paksi atomerőmű telephelye: megszereztük a földtani kutatás eltitkolt eredményeit. <https://atlatsz.hu/2017/07/10/nem>

- foldrengesmentes-a-paksi-atomeromu-telephelye-
megszereztuk-a-foldtani-kutatas-elitkolt-eredmenyeit/
- [3] Tóth Tamás et al. (2016): Felszíni geofizikai kutatások értékelő jelentése. <https://drive.google.com/file/d/0B1ObjabIdVkmQXpJWWFadVFEQ28/view>
- [4] Mónus Péter et al, 2016: Szeizmotektonikai modell – paleo / speleo-szeizmológiai vizsgálatok a paksi atomerőmű telephely tágabb környezetében. <https://drive.google.com/file/d/0B1ObjabIdVkmSUt4aDkyLTIwbWM/view>
- [5] Földtani fúrások laboratóriumi vizsgálati jegyzőkönyvei. <https://drive.google.com/drive/folders/0B1ObjabIdVkmMHJzWFp0S3EydXc>
- [6] Magyar Árpád (2016): Késő-pleisztocén üledékföldtani, neotektonikai és paleoszeizmológiai megfigyelések Paks tágabb környezetében. <https://drive.google.com/file/d/0B1ObjabIdVkmEXNyc3lnb1Y0a1k/view>
- [7] Halász Amadé et al. (2016): Kutatóárkok dokumentáló és értelmező jelentése. <https://drive.google.com/file/d/0B1ObjabIdVkmDJJaE9Cd2xkQjQ/view>
- [8] Pa-21-I Kutatóárkok-szelvény. <https://drive.google.com/file/d/0B1ObjabIdVkmDJJaE9Cd2xkQjQ/view>
- [9] Pa-21-II Kutatóárkok-szelvény. <https://drive.google.com/file/d/0B1ObjabIdVkmSmlSMi13RzRpTDg/view>
- [10] Ács Tamás et al. (2016): Földtani kutatási program zárójelentése. <https://drive.google.com/file/d/0B1ObjabIdVkmU2ZmeVJOckdsZzQ/view>
- [11] A Földtani Kutatási Program zárójelentésének függelékei. <https://drive.google.com/drive/folders/0B1ObjabIdVkmYmd1OEVXdFYwNHc>
- [12] A Földtani Kutatási Program zárójelentésének mellékletei. <https://drive.google.com/drive/folders/0B1ObjabIdVkmR2lmR1hjbHJoM3M>
- [13] MVM Paks-II. Zrt. (2016): Telephely biztonsági jelentés II. kötet 5. fejezet geológia, geofizika, szeizmológia, geotechnika és hidrogeológia 2016. <https://adoc.pub/queue/telephely-biztonsagi-jelentesdc834933e536d424dba024b0f1ed013c61093.html>
- [14] Tóth Tamás, Horváth Ferenc (1977): Neotectonic investigations by high resolution seismic profiling. In: Seismic Safety of the Paks Nuclear Power Plant, eds Sándor Marosi and Attila Meskó, Akadémiai Kiadó, Budapest, ISBN-963-05-7452-7
- [15] 118/2011. (VII. 11.) Korm.rendelet: a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről. Magyar Közlöny, 2011/78. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1100118.kor>
- [16] Philip Kearey, Frederic J. Vine (1990): Global Tectonics. Blackwell Scientific Publications, Oxford, ISBN 0-632-02425-9
- [17] Philip A. Allen, John R. Allen (1990): Basin Analysis – Principles & Applications. Blackwell Scientific Publications, Oxford, ISBN 0-632-02423-2
- [18] Cathy J. Bushby, Raymond V. Ingersoll (1995): Tectonics of Sedimentary Basins. In: Tectonics of Sedimentary Basins, ed. by Cathy J. Bushby, Raymond V. Ingersoll, Blackwell Science, Oxford, ISBN 0-86542-245-1
- [19] Gosatomnadzor of Russia (Federal Nuclear and Radiation Safety Authority of Russia) (2002): NP-032-01, Federal Codes and Standards in the Area of Atomic Energy Applications, Nuclear Power Plant Siting, Main Criteria and Safety Requirements. Bulletin of Russian Gosatomnadzor, No. 1(20).