

# Van bizonyíték a negyedidőszaki tektonizmusra Paks környékén!

## Evidence of Quaternary Tectonism in the area around Paks

TÓTH Tamás<sup>1</sup> – HORVÁTH Ferenc<sup>1</sup>

(4 ábra)

*Key words:* Quaternary tectonics, high resolution seismic, structural analysis

*Tárgyszavak:* Kvarter tektonika, nagyfelbontású szeizmika, szerkezeti elemzés

### Summary

The existence of a fault zone in the area around Paks has been suggested by several studies (RÓNAI 1973; NÉMEDI VARGA 1977; KÓRÖSSY 1982; POGÁCSÁS et al. 1989a) since the first indication was noted on a structural map of LÓCZY Jr. (1939). These studies, based on different geological concepts and data, arrived at the same conclusion: namely, an approximately SW–NE trending regional fault zone crossing the Danube in the vicinity of Paks. RÓNAI (1973) described this zone as a primary lineament of Quaternary tectonism, while POGÁCSÁS et al. (1989a) characterized it as a Pliocene–Quaternary strike-slip fault.

More than ten years of intensive research, supported by the Paks NPP, verified this fault zone and mapped it in detail. However, no consensus has been reached with regard to the Quaternary fault activity. BALLA et al. (1997) claim that there is no evidence of Quaternary fault activity, yet our studies contradict this opinion.

Seismic profiling carried out on the river Danube imaged faulted Pliocene strata (Torony Formation), but no tectonic deformation could be observed in the irregularly overlying late Quaternary beds. A significant time gap between the Pliocene Torony Formation and the late Quaternary beds in the Paks study area make it impossible to arrive at a more precise dating of fault activity. A more favourable situation can be found around and below the Tisza river on the middle and southern parts of the Great Hungarian Plain. Here the Pliocene–Pleistocene strata are apparently complete and their contact is conformable. A long seismic profile, measured in 1996 on the river Tisza, illustrates late Pleistocene fault activity at the Martfű bend of the river. A structural connection between the two fault segments imaged below the rivers Tisza and Danube, at Martfű and Paks respectively, has been mapped by POGÁCSÁS et al. (1989a) using oil industry seismic sections and borehole data.

Manuscript received: 09 11 1998

### Összefoglalás

A paksi törésvonal első térképi ábrázolása (LÓCZY Jr., 1939) óta számos további szerző munkája utalt e tektonikai zóna meglétére (RÓNAI 1973; NÉMEDI VARGA 1977; KÓRÖSSY 1982; POGÁCSÁS et al. 1989a). Ezen tanulmányok különböző földtani kutatások eredményeként jutottak arra az egybehangzó véleményre, hogy Paks környékén egy közel DNy-ÉK irányú regionális törésvonalat keresztezi

<sup>1</sup> ELTE Geofizikai Tanszék, 1083 Budapest, Ludovika tér 2.

a Dunát. RÓNAI (1973) a negyedkori tektonizmus rendező vonalaként, POGÁCSÁS et al. (1989a) pedig pannon-kvarter oldaleltolódási zónaként jellemezte ezt a törésvonalat.

A Paksi Atomerőmű Rt. által támogatott, több mint tíz éven át folyó intenzív földtani kutatás a törésvonalat verifikálta és részletesen térképezte, de nem alakult ki egységes álláspont a vető negyedidőszaki aktivitásának kérdésében. BALLA et al. (1997) szerint nincs ilyen fiatal tektonizmusra utaló jel, vizsgálataink azonban ellentmondanak ennek a véleménynek.

A Dunán végzett szeizmikus vizsgálatok egyértelműen kimutatták, hogy a törésvonalak elvetik a pliocén korú Toronyi Formációt. A diszkordánsan rátelepülő késő-negyedidőszaki üledékeken már nem észlelhető tektonikus deformáció. A paksi kutatási területen a pliocén korú Toronyi Formáció és a késő-negyedidőszaki üledékek közti jelentős üledékhézag nem teszi lehetővé a vető korának ennél pontosabb meghatározását. Kedvezőbb a helyzet a Nagyalföldön. A Tisza hazai középső-alsó szakasza körzetében a pliocén-pleisztocén rétegsor sokkal teljesebb kifejlődésű. A Tisza martfői kanyarjában mért szeizmikus szelvény a keresztezett vetőzóna késő-pleisztocén aktivitását dokumentálja. A tiszai és a dunai mérések során Martfűnél illetve Paksnál keresztezett tektonikai zónák szerkezeti kapcsolatát POGÁCSÁS et al. (1989a) igazolta olajipari szeizmikus szelvények és fúrások együttes értelmezésével.

## Bevezetés

Örömmel olvastuk, hogy „A paksi atomerőmű földrendésbiztonsága” című kötetben (MAROSI & MESKÓ 1997) megjelent „Neotektonikus vizsgálatok nagyfelbontású szeizmikus szelvényezéssel” című cikkünk (TÓTH & HORVÁTH 1997) nem maradt visszhang nélkül. Külön öröm, hogy az atomerőmű környezetének földtani és tektonikai viszonyait tisztázni kívánó kutatók egy jelentős csoportját vezető BALLA Zoltán érdeklődése odáig ment, hogy tanulmányunkat részletekbe menő alapossgal átvizsgálta, és véleményét egy szakcikkből összegezte. A Földtani Közlöny szerkesztőbizottsága a korrekt tájékoztatás szellemében lehetőséget biztosított számunkra, hogy fontosabb megállapításaira válasz cikkben reagáljunk.

## A tektonizmus elvi lehetőségének kérdése

Kezdjük a válaszadást a cikk összefoglalójának első mondatával, melyben BALLA Zoltán azt állítja, hogy „A paksi atomerőmű körzetének negyedidőszaki tektonizmusára vonatkozó adatok a földrendés-kockázati becslésekbe nem épültek be, de a szakmai és civil társadalom hangulatának fontos elemei.”. Ha a mondat első fele igaz lenne, jónéhány kollégánk munkája lett volna feleslegesnek ítélve, de szerencsére nem ez a helyzet. A zárószintézis elvégzésével megbízott nagy tekintélyű angol cég (Ove Arup and Partners International, London) jelentésében szerepelnek az említett kockázati tényezők, azaz az erőmű földrendés-veszélyeztetettségének számításánál figyelembe vették a negyedidőszaki tektonizmust is (Ove Arup 1997). Tették ezt úgy, hogy a nemzetközi gyakorlatban elterjedt „probabilisztikus módszert” használva, 10%-os valószínűséget adtak annak a lehetőségnek, hogy a paksi területen szeizmikusan térképezett vetők ma is működnek. Az általuk adott valószínűségi érték alul- vagy felülbecsült voltán lehet vitatkozni, de hogy beépültek a számításba, az tény.

Ez azt mutatja, hogy a napjainkig tartó negyedidőszaki tektonizmus lehetősége az ő véleményük szerint sem elhanyagolható.

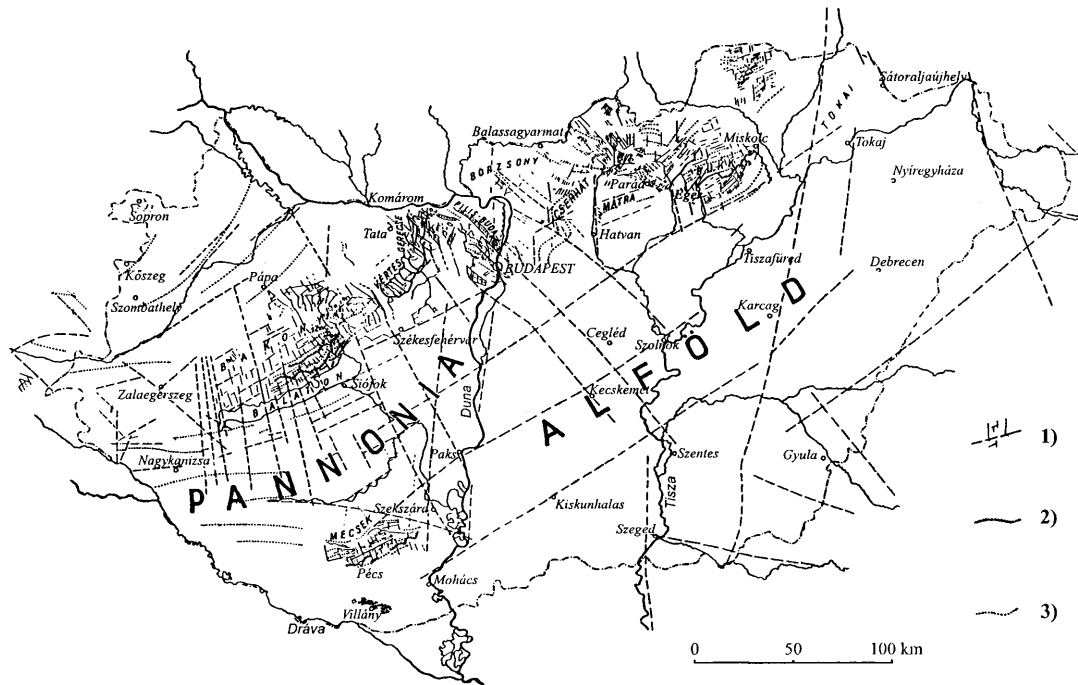
A kétségbenvonhatatlan tényeknél maradva kell helyesbítenünk BALLA Zoltán egy másik tárgyi tévedését is. A következőt írja: „Ezt tükrözi a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség ajánlása, hogy atomerőművet ne telepítsenek törés fölé. **A paksi atomerőmű telepítésekor ez a követelmény még nem létezett, s az atomerőmű alatti törések ismerete sem.**” (Kiemelés tőlünk.) Ezúttal az idézett második mondat második fele tartalmazza a téves megállapítást. A Paks körzetében húzódó törésvonal ugyanis közismert volt már a harmincas években, azaz évtizedekkel a paksi atomerőmű telepítését megelőzően. A korszak legjobb szakemberei (LÓCZY & SZENTES) által készített térkép egyértelműen feltüntet egy DNy-ÉK-i és egy ÉNy-DK-i irányú vetőzónát, melyek Paks térségében metszik egymást. A DNy-ÉK-i irányú vetőzóna léte mára már nem kétséges, de az ÉNy-DK-i irányú vetőzóna létét máig nem sikerült meggyőzően bizonyítani, igaz egyértelműen kizárni sem.

Az említett tektonikai térképet egy évvel később ismét publikálta LÓCZY jr. (1939) „A magyar medencerendszer geomorfológiája, különös tekintettel a petróleumkutatásra.” című cikkében. Ezt mutatja az 1. ábra.

Különös figyelmet érdemel az a tény, hogy a magyar medence első komoly földrengési (mai szóhasználattal élve szeizmotektonikai) térképe (SIMON 1939) is ezt a tektonikai alaptérképet fogadja el, és világossá teszi, hogy a kecskeméti földrengések a paksi törésvonalhoz kapcsolódnak. Vagyis nemcsak törésvonalra, hanem ennek recens szeizmikus aktivitására is egyértelmű állásfoglalás létezik a korabeli magyar földtani irodalomban. Szó szerint érdemes idézni SIMON Béla látnokai üzenetét, mely a földrengési térképhez írt magyarázó utolsó bekezdése:

„Ha a jövőben életbevágóan fontos közmű vagy új település elhelyezéséről van szó, Magyarország bemutatott földrengési térképe útmutatást fog adni arra vonatkozólag, hogy fenyegeti-e károkozó földrengés az új létesítményt; továbbá, hogy milyen összefüggésben van a magyar föld felépítése földrengési tevékenységével. Ebben a vonatkozásban különösen a laza altalajok erősségnövelő hatása, valamint a magyar medencerendszert felszabdáló törésvonalak befolyása szembeötlő.”

Azt, hogy ez az üzenet megértésre talált a következő generáció szakemberei között is, jól példázza RÓNAI András munkássága. Évtizedekig foglalkozott a magyarországi negyedkori kéregmozgásokkal és azok földrengésekkel való kapcsolatával. Hegy- és dombvidéki területeken a felső-pannóniai képződmények tetőmagasságát és a folyóvízi teraszok helyzetét, míg medenceterületeken a legfelső-pliocén tetővonalát és az üledékciklusokat részletesen elemezve megalkototta a negyedkori kéregmozgások térképét (RÓNAI 1973). Ezen a térképen a paksi Duna-kanyar alatt húzódó DNy-ÉK irányú határvonalat mint a negyedkori tektonizmus egyik fő rendező vonalát tünteti fel. E törésvonal létrehozására további szakemberek más adatrendszerek felhasználásával is következtettek (NÉMEDI VARGA 1977; KÖRÖSSY 1982).



1. ábra. Magyarország szerkezeti térképe (Lóczy jr. 1939). Külön figyelmet érdemel az egymást Paks közelében keresztező két vetőzóna. Jelmagyarázat: 1. Vetődések és törések; 2. Pikkelyes áttolódások; 3. Gyűrődések

Fig. 1. Structural map of Hungary (Lóczy Jr. 1939). Note the two fault zones intersecting in the vicinity of Paks. Legend: 1 Faults and fractures; 2 overthrusts; 3 Folds

Mindezek alapján megállapíthatjuk, hogy a paksi törésvonal léte (de legalábbis lehetősége) tájékozott szakmai körökben jól ismert volt már az atomerőmű telepítése előtt is, sőt negyedidőszaki aktivitásának és szeizmicitásának lehetősége is felvetődött.

### A felszínközeli laza rétegek szeizmikus szelvényeket torzító hatásának kérdése

Ezek után térjünk át BALLA Zoltán néhány, munkánkkal kapcsolatos konkrét észrevételének tárgyalására. Mint az a sekélyszeizmikus szelvények részletes elemzéséből kitűnik, vizsgálatát a felszínközeli rétegek leképezést torzító hatására összpontosította. Egyet kell értenünk azzal, hogy a felszínközeli, ún. „laza réteg” hatása jelentősen befolyásolhatja a mélyebb rétegek leképezését, hiszen a probléma közhelyszerűen ismert feldolgozó-értelmező geofizikusok és geológusok körében. A probléma oka az, hogy a laza réteg hatásának maradéktalan eltávolításához szükséges a felszínközeli rétegekben fellépő sebességváltozások pontos ismerete. Fontos azonban felhívni a figyelmet arra, hogy a szeizmikus szelvények leképezését befolyásoló **laza rétegbeli sebességváltozások a talajvízszint felett jelentősek**. Értelemszerűen a Dunán végzett szeizmikus szelvényezés során mind a gerjesztés, mind pedig az észlelés a „talajvízszint” alatt történik. Éppen ez eredményezi a felbontásbeli javulást és a szelvények jobb értelmezhetőségét, koherensebb képét.

A felszínközeli inhomogenitások hatásának eltávolítása részletes analízist és gondos munkát igénylő feladat, de a legtöbb esetben biztonsággal eldönthető, hogy a szeizmikus szelvényen látott szerkezetnek valós geológiai oka van, vagy pedig egy felszínközeli inhomogenitás torzító hatása jelenik meg a szelvényen.

A kérdés eldöntése azonban minden esetben fontos, hiszen merőben más geológiai következtetést vonhatunk le akkor, ha bizonyítani tudjuk, hogy a látott szerkezet valóban egy felhatoló vető, vagy ha kiderül, hogy a szeizmikus szelvényen látott „benyomódás” csak egy felszínközeli betelepülés által, mint „akusztikus lencse” által létrehozott torzító hatás. Tekintsünk egy konkrét példát, méghozzá a felszínközeli inhomogenitások szempontjából kedvezőtlenebb helyzetű, azaz szárazföldi sekélyszeizmikus szelvény esetén.

BALLA et al. (1997) szerint a A Pa-12, Pa-15 és Pa-13 (RÁNER et al. 1997 és TÓTH & HORVÁTH 1997) jelű sekélyszeizmikus szelvényeken látható „benyomódás” a szelvények felett észlelhető, feltöltődött Duna-holtág hatásával magyarázható. Szerinte két geoelektromosan kiterképezett lencse (STICKEL & ZALAI 1994) közül csak a sekélyebb helyzetű (tszf. 84 és 90 m közötti) került korrigálásra, a mélyebb helyzetű (tszf. 63 és 75 m közötti) viszont nem. Ez utóbbi hatása okozza BALLA Zoltán szerint az észlelt „benyomódást”.

Ha kiszámoljuk, hogy milyen sebesség kell jellemezze ezt a mélyebb helyzetű lencsét ahhoz, hogy a szeizmikus szelvényeken tapasztalt „benyomódás” hatásukra létrejöjjön, akkor 290–300 m/s sebességű betelepülést kapunk. (Mindez a Pa-15-ös szelvényről leolvasható kb. 70 ms-os „benyomódás”, és a refrakciós

kiértékelésekből számított, a kutatási területre jellemző 1600 m/s-os laza réteg alatti sebességeket figyelembe véve számítható.) Ez az érték kisebb, mint a hanghullámok levegőbeli terjedési sebessége. Figyelembe véve, hogy a BALLA Zoltán által hivatkozott eltemetett Duna-holtág tszf. 63 és 75 m között található, mely mélység a talajvízszint alatti, ilyen mértékű sebességcsökkenés **teljes biztonsággal kizárható**. Ez az egyszerű számítás mutatja, hogy az észlelt "benyomódás" nem magyarázható felszínközeli zavaró test hatásával, hanem más oka van: oldalelmozdulásos törészónához kapcsolódó negatív virágszerkezet.

Ezt illusztrálja, hogy a vitatott vetőzónát egymástól függetlenül, de eredményeket tekintve teljesen egybecsengő módon számos, különböző felvételezési eljárást és műszert használó szeizmikus mérés leképezte (Du-1: olajipari szeizmikus szelvény robbantásos forrással; Pak-3: ELGI által mért szeizmikus szelvény, robbantásos forrással; Pa-13: ELGI által mért sekélyszeizmikus szelvény vibroszeiz forrással; Pa-15: ELGI által mért sekélyszeizmikus szelvény robbantásos forrással; Duna-203 és -208: ELTE Geofizikai Tanszéke által mért nagyfelbontású vízi szeizmikus szelvény). Valószínű, hogy az sem véletlen, hogy a Duna valamikor éppen ezen vetőzóna által létrehozott, a negatív virágszerkezet felszíni megnyilvánulásának tekinthető mélyedésben folyt. **Kijelenthetjük tehát, hogy a szeizmikus szelvényeken észlelt szerkezetek nem álszerkezetek, hanem létező töréses szerkezetek szeizmikus képei.**

### A vetők negyedidőszaki aktivitásának lehetősége

A részletekben jelentkező vitás kérdések ellenére a hazai szakemberek zöme és több külföldi specialista is elfogadja azt, hogy Paks szélesebb körzetében szeizmikus, gravitációs és mágneses adatokból valamint fúrási szelvényekből levezett törésrendszer létezik és tudományosan jól megalapozott. A vita igazi alapkérdése – a BALLA cikk címének megfelelően – az, hogy mennyiben igazolható a megismert törésrendszer aktivitása a negyedidőszak során.

A tradicionális és biztosnak látszó szerkezetföldtani „szabály” azt mondja, hogy a legfiatalabb, vetőkkel átjárt rétegek képződési időszakában **még**, a felette általában diszkordánsan települő, de vetőkkel nem felszabdalt rétegek képződési időszakában már működött egy vetőrendszer. Ez a kormeghatározási „szabály” azonban nem tökéletes. Legalább egy logikai és egy módszertani hibája biztosan van!

A logikai hiba abban jelentkezik, hogy az ismert földrengések jelentős hányada, amely a fészekmechanizmusok tanúsága szerint aktív vetődéshez kötődik, a Föld számtalan részén nem hoz létre felszínig hatoló, azaz a legfiatalabb rétegeket is elvető törésrendszert. A szabály tehát nem alkalmazható, mert ugyan létezik a kéreg mélyebb tartományaiban egy aktív törésrendszer, de ez a felszínen és annak közelében lévő fiatal rétegekben nem okoz deformációt, azaz „láthatatlan” marad (blind fault).

A módszertani tökéletlenség abból adódik, hogy a szabály alkalmazásával általában nem tudjuk pontosan meghatározni a vetőrendszer működésének be-

fejeződési idejét. Csak egy időintervallumot tudunk megállapítani, amely olyan nagy, mint a tektonizált és a nem-tektonizált rétegsorok földtani kora közötti különbség (idődiszkordancia). Ha például a diszkordanciafelület alatti legfiatalabb réteg 10 millió éves, míg a felette lévő legidősebb réteg 1 millió éves, akkor csak annyit állíthatunk, hogy a tektonikai aktivitás **valamikor** 10 Ma és 1 Ma között fejeződött be. Fontos esetekben ez az inherens korbizonytalanság tág teret enged a szubjektív értelmezéseknek és a prekonceptiók érvényesítésének. Ezt elkerülendő további földtani megfontolások és adatok figyelembevétele szükséges.

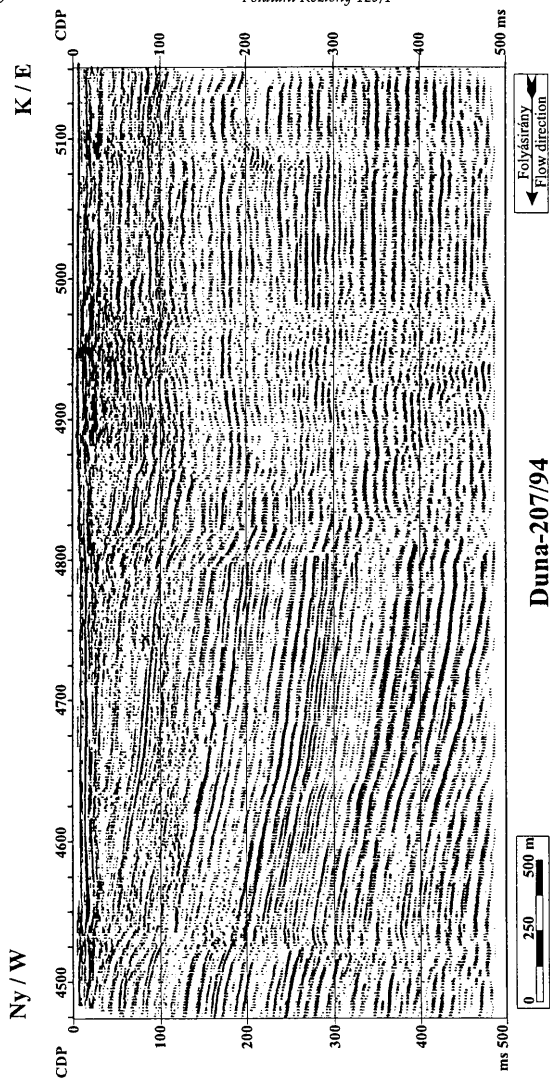
A fenti elvi megfontolások nélkülözhetetlenek a Paks szélesebb környezetében térképezett törérendszer negyedidőszaki aktivitásának eldöntése szempontjából. Válasszuk ki analízisünk céljára a Duna-207 jelű szelvényt (2a, b. ábra), amelyiket az atomeróműtől kb. 7–9 km-re mértek a Paks feletti Duna szakaszon. A szelvényen világosan kirajzolódik a markánsan tektonizált pannon (s. l.) réteggösszet, valamint az arra diszkordánsan települő és láthatólag nem tektonizált dunai alluvium. A diszkordancia alatti és feletti rétegek kora jól meghatározható.

A Paks-881. sz. mérnökgeológiai fúrás a felszín alatt 27 méterben érte el a dunai hordalékos összlet fekvését, s eközben 20,5 m-ben uszadékfát tárt fel. Radiokarbonos kormeghatározással 40 000 év BP kor adódott az uszadékfára (HERTELENDI et al. 1989), amelyből extrapolációval valamivel több mint 50 000 éves kor becsülhető a paksi folyószakaszon települt legidősebb dunai üledékekre. A pannóniai rétegsor legfelső horizontjainak kora is jól meghatározható a paksi erőmű közelében végzett célfúrások alapján (Paks-2, -2a, -3, -4a és -4b). Mind az öt fúrásban a pleisztocén diszkordanciafelület alatt 70–110 m vastagságban a Toronyi Formáció képződményeit (dűnehomok, 1–2 m vastag agyag és kőzetliszt rétegek közbetelepülésével) tárták fel. A hazai neogén rétegtani szakemberek egyöntetű véleménye szerint a Toronyi Formáció a Nagyalföldi Formáció heteropikus fáciése, és pliocén korú (JÁMBOR et al. 1988; ELSTON et al. 1990).

Aligha lehet kétségünk afelől, hogy a paksi fúrásoktól mintegy 5 km-re elhelyezkedő Duna-207 jelű szelvényen az 50–60 ezer évnél nem idősebb dunai alluvium diszkordánsan a pliocén korú Toronyi Formációra települ. A szelvény ugyanakkor világossá teszi, hogy a törésvonalak felhatolnak a diszkordancia felületig, azaz elvetik a Toronyi Formáció képződményeit is! Az elemzett szerkezetföldtani „szabályt” alkalmazva a jelenlegi szituációra megállapíthatjuk, hogy a paksi törérendszer működése posztdataálja a Toronyi Formációt, de láthatólag nem aktív a legutolsó 50–60 ezer év során. Ez a következtetés annyira kézenfekvő, hogy jóval a dunai szeizmikus szelvények megszületése előtt a Paks-2. sz. fúrást részletesen feldolgozó és értelmező szakembergárda már az alábbi következtetésre jutott (BRUKNERNÉ WEIN et al. 1982):

„... a Toronyi Tagozat képződésének idején már gyakorlatilag tisztán édesvízi fluviolokusztris viszonyok alakultak ki.

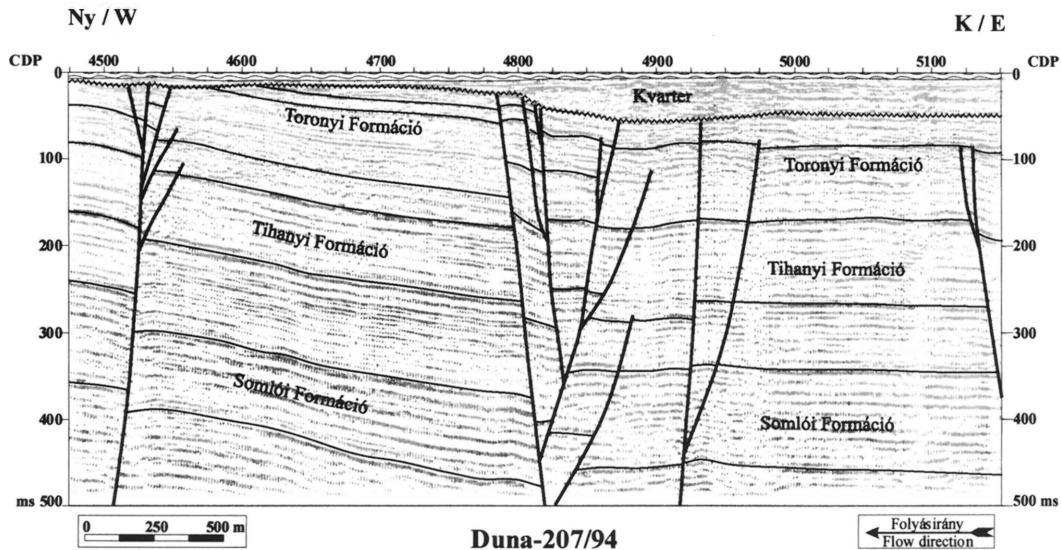
Ezt a **pleisztocén elején újabb jelentős szerkezetalakulás** és ennek eredményeként hatalmas lepusztulás követte, de ez a szerkezetalakulás már a pannón-



2a. ábra. A paksi Duna-kanyarban mért Duna-207/94 jelű nagyfelbontású, többsátoros szeizmikus szelvény

Fig. 2a. Duna-207/94 high-resolution multichannel seismic profile measured at the Paks bend of the Danube





2b. ábra. A Duna-207/94 jelű szeizmikus szelvény értelmezése. A pliocén korú Toronyi Formáció elvetése egyértelmű, a diszkordánsan rátelepülő késő-negyvedidőszaki üledékeken azonban nem észlelhető tektonikus deformáció

Fig. 2 Interpretation of Duna-207/94 seismic profile. The Pliocene Toronyi Formation is clearly faulted, however tectonic deformation can not be observed in the unconformably overlying late Quaternary strata

niai összletet is érte...” (Kiemelés tőlünk.) A helyzetet némileg egyszerűsítve akár úgy is fogalmazhatunk, hogy az új szárazföldi és dunai szeizmikus szelvények nem tettek mást, mint ezt az értelmezést verifikálták. Összefoglalva a fentieket leszögezhetjük, hogy a Paks környéki fúrások és szeizmikus szelvények ismeretében a terület negyedidőszaki (kora- és középső-pleisztocén) tektonikai aktivitásának lehetősége nem kérdőjelezhető meg.

### A vetők negyedidőszaki aktivitásának ténye

Az előző fejezet tudatosan a negyedidőszaki tektonizmus lehetőségét kívánta bizonyítani. Mivel ez a lehetőség földtani-geofizikai ismereteink birtokában bizonyított, ezért a konzervatív biztonságfilozófia szellemében elkerülhetetlenül **figyelembe kell venni** a rizikóanalízisek során. Mint már arra hivatkoztunk, ezt az OVE ARUP (1997) zárótanulmány megettette.

Azóta azonban új eredmények születtek, és abban a szerencsés helyzetben vagyunk, hogy ezek legfontosabbikát bemutathatjuk. Reméljük, hogy ez kielégíti BALLA Zoltánnak azt a szakmailag érthető, de módszertanilag mindenképpen hibás igényét miszerint „... nem lehetőségeket, hanem bizonyítékokat elemzünk.”

A negyedidőszaki tektonizmus bizonyítására egy olyan terület vizsgálata nyújt lehetőséget, ahol a pannon és a kvarter rétegek közti üledékhézag jelentősen kisebb, ideális esetben nem is létezik. A Pannon medencében ilyen kedvező helyzetet találunk a Nagyalföldön. A terület ma is a Pannon medence süllyedő része (RÓNAI 1986) és központi részén a pannon/kvarter rétegsorban semmiképpen nincs jelentős időrétegtani hiány. Ezt a ma már „klasszikusnak” minősíthető dévaványai és vésztői magnetosztatigráfiai szelvények bizonyítják, amelyek az átfúrt mintegy 1200 m vastag legfelső üledékes rétegsorban az összes pleisztocén és pliocén korú mágneses térfordulás meglétét mutatták (RÓNAI 1981). Újabb magnetosztatigráfiai kútszelvényeket is figyelembe véve POGÁCSÁS et al. (1989b) szeizmikus korrelációt végeztek, s ezúton verifikálták a két fúrás kronosztatigráfiai eredményeit, de az alsó szakaszát újraértelmezték. Eszerint a fúrások talpánál lévő képződmények kora 4,25 millió év körüli, és nem 5 millió év fölötti, mint azt eredetileg javasolták. Ez a revízió megerősíti azt a megállapítást, hogy a pleisztocén/pliocén határon nincs dokumentálható rétegtani hiány a közepalföldi mélymedencék területén.

A Tiszán 1996-ban végzett nagyfelbontású szeizmikus szelvényezésünk során egy folytonos szelvényt regisztráltunk Szeged és Kisköre között, melynek egy részlete látható a *3a ábrán*. A bemutatott többszörös, nagyfelbontású szeizmikus szelvény felvételezési és feldolgozási paraméterei nagyban hasonlítanak a TÓTH & HORVÁTH (1997) által ismertetett dunai szeizmikus szelvényekéhez. Egy jelentős eltérés az, hogy az itt bemutatott szelvény már egy mélységmigrált szeizmikus szelvény, azaz kizárja annak a lehetőségét, hogy azon „benyomódások” okozzanak nem tektonikus okokra visszavezethető „álszerkezeteket”. A szelvény 1100 m hosszán, a Tisza martrfüi kanyarjától közvetlenül északra mé-

rődött, helyszínrajza a *3b ábrán* látható (a szeizmikus szelvény pontos helyét a térképvázlaton nyíllal jelöltük). A szeizmikus szelvény közvetlenül a mederfenéktől 500 méteres mélységig képezi le az üledéksort. A szelvényrészleten élesen kirajzolódik egy vetőzóna felső része, mely transztnziós oldalelmozdulásra utaló negatív virágszerkezetet mutat. A szelvény felbontása a legfelső rétegekben 2 méter alatti, ami azt jelenti, hogy két méternél nagyobb függőleges elmozdulást még biztosan leképez. A szétseprűződő vetők közül a 2185-ös CDP környékére eső vetőág egészen 45 méteres mélységig követhető. Ez azt jelzi, hogy ennek a vetőzónának még ebben a kis mélységben is egyértelműen 1–2 méteres vertikális elmozdulás-komponense van.

Mit jelent a 45 méteres mélység geológiai időre lefordítva? Könnyen tehetünk egy közelítő becslést. A vizsgált területre DETZKYNÉ LŐRINCZ (1996) közöl egy FRANYÓ által szerkesztett kvarter mélységtérképet. Erről egyértelműen leolvasható, hogy a *3b ábrán* bemutatott *Tisza-40/96-os* értelmezett szelvényrészlet mentén a kvarter bázisa 350 méter körüli mélységben található. Feltételezve, hogy ez a 2,4 millió éves kvarter/pliocén határnak felel meg és az üledékképződés a kvarter során folyamatos volt, a 45 méteres mélység kevesebb, mint 310 ezer éves kornak felel meg. Tehát a **vetőzóna 310 ezer évvel ezelőtt (késő-pleisztocén) még biztosan működött.** Fontos felhívni a figyelmet arra, hogy az egyes vetőágak mentén észlelhető vertikális elvetés mértéke a mélységgel növekszik. Ez arra utal, hogy az oldalirányú mozgás nem egy lépésben, hanem a negyedidőszak során ismétlődő jelleggel történt (szinszedimentációs vetődés).

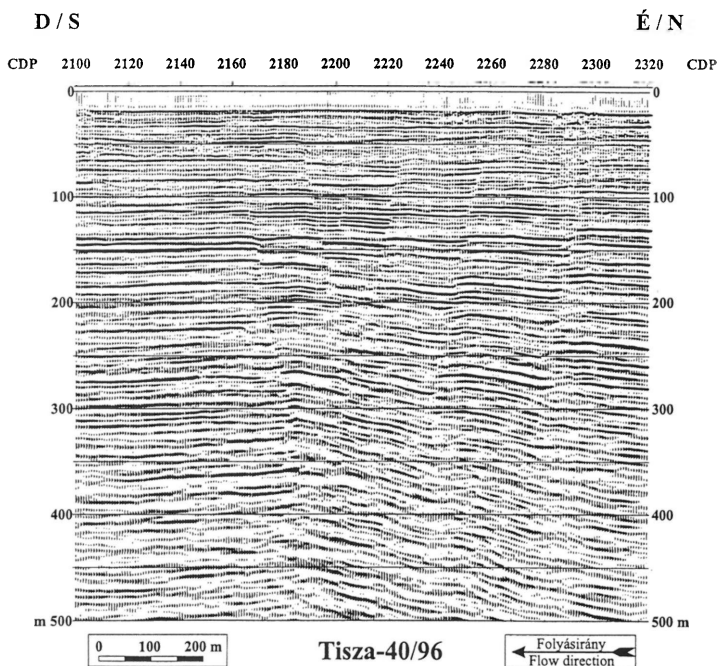
A *3b ábra* térképvázlatán feltüntetettük DETZKYNÉ LŐRINCZ (1996) által a Közép-Alföldön kitérképezett fiatal vetőzónát. Egyértelműen megállapítható, hogy a *Tisza-40/96-os* szeizmikus szelvényrészleten észlelt vető ezen vetőzóna egyik negyedidőszaki rétegekbe hatoló ága. Ugyanezt a vetőzónát feltüntetjük a *4. ábra* térképvázlatán is POGACSÁS et al. (1989a) által a Nagyalföldön kijelölt Paks-Kiskőrös-Kisújszállás törésvonallal és TÓTH & HORVÁTH (1997) által kijelölt paksi törésvonallal együtt. Jól látható, hogy a három kutatás egymástól függetlenül, más és más adatrendszerek vizsgálatával elemezte **annak a tektonikus zónának** három szegmensét amelyen Paks elhelyezkedik.

Figyelembe véve a NAÚ 1979-ben kiadott biztonsági normáit (IAEA, 1979), aktív az a vető, mely:

a.) a felszínen vagy annak közelében az ismétlődő mozgásokra utaló bizonyítékokat szolgáltat kb. félmillió évre visszamenőleg úgy, hogy további mozgások eshetőségére lehet számítani.

b.) bizonyíthatóan szerkezeti kapcsolatban áll egy ismert aktív vetődéssel úgy, hogy a felületen vagy annak közelében egyik mozgása a másik mozgását előidézheti.

A *Tisza-40/96* sekélyszeizmikus szelvényen leképezett transzkurens vetőzóna az a.) pont, míg az ezzel szerkezeti kapcsolatban álló paksi vetőzóna a b.) pont alapján tekinthető aktív vetőnek.

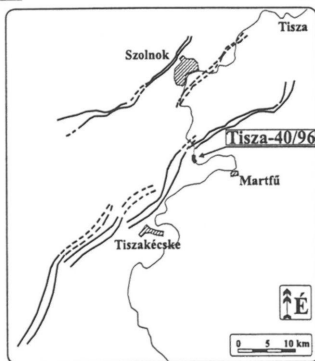
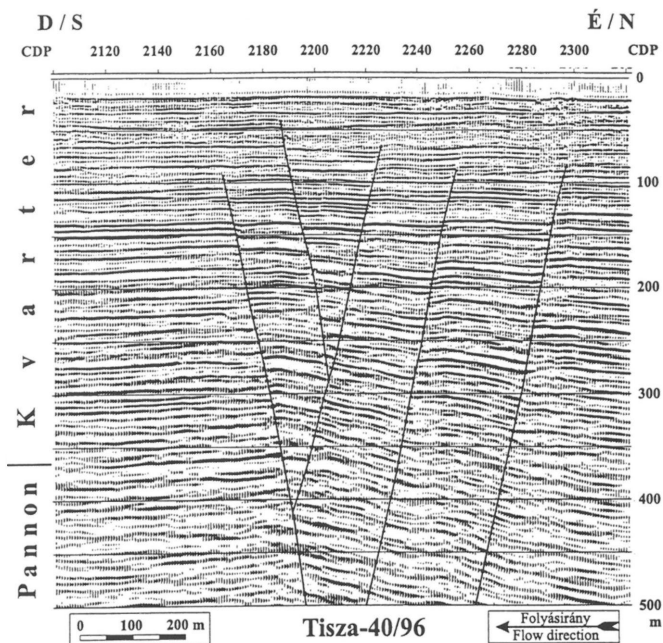


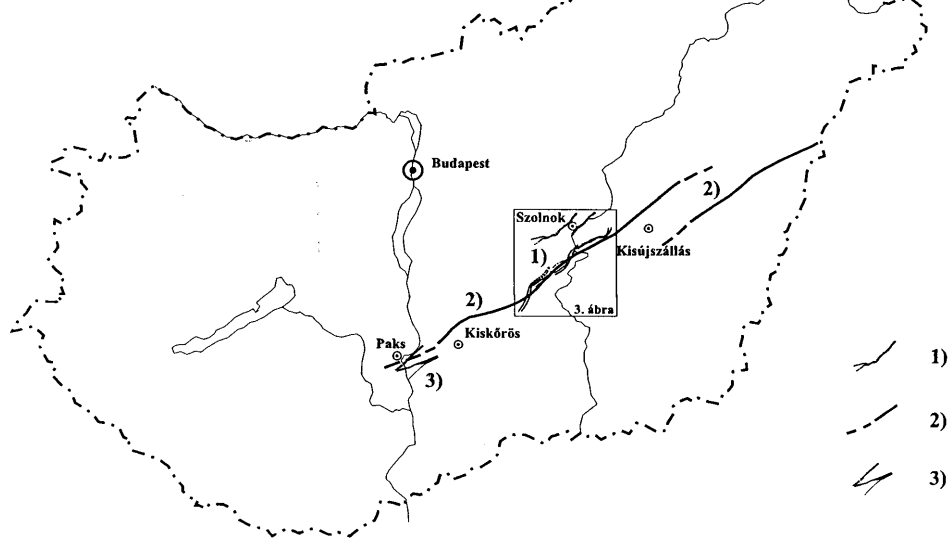
3a. ábra. A Tisza martfői kanyarjában keresztezett tektonikus zóna képe a Tisza-40/96 nagyfelbontású, többcsatornás szeizmikus szelvényen

Fig. 3a Tisza-40/96 high-resolution multichannel seismic profile imaging a fault zone below the Tisza at the river bend nearby Martfű

3b. ábra. → A Tisza-40/96 szeizmikus szelvény értelmezése. Az alsó ábra a szelvény helyét mutatja, valamint feltünteti a DETZKYNÉ LŐRINCZ (1996) által szárazföldi szeizmikus szelvények alapján kijelölt negyedidőszaki vetőzónákat is. A kvarter bázisa a környező mélyfúrások rétegsoraiból szerkesztett térkép (DETKYNÉ LŐRINCZ 1996) alapján került kijelölésre. A kvarter üledékek elvetése 45 méteres mélységig egyértelműen követhető, ami arra mutat, hogy a vető aktív volt a késő-pleisztocén során is

Fig. 3b Interpretation of Tisza-40/96 seismic profile. The sketch map below indicates the location of the profile, and shows Quaternary fault zones mapped by DETZKY-LŐRINCZ (1996) using land seismic sections. The base of Quaternary strata has been identified with the help of Quaternary thickness map published by DETZKY-LŐRINCZ (1996). Faulting of the Quaternary strata up to a depth of 45 (below the surface) is obvious, which clearly suggests that the fault was still active during the late Pleistocene





4. ábra. A paksi vetőzóna kapcsolata a korábbi tanulmányokból ismert Paks–Kiskőrös–Kisújszállás vetőzónával. Ezt a vetőzónát az 1996-os tiszai szeizmikus szelvényezés részletesen leképezte és kimutatta a vető késő-pleisztocén aktivitását (v.ö. 3b. ábra). Jelmagyarázat: 1. DETZKY-NÉ LŐRINCZ (1996) által kijelölt vetőzóna; 2. POGÁCSÁS et al. (1989a) által kijelölt vetőzóna; 3. TÓTH & HORVÁTH (1997) által kijelölt vetőzóna

Fig. 4 Structural relationship of the Paks fault zone with the Paks–Kiskőrös–Kisújszállás fault zone mapped by earlier studies. This fault zone has been crossed and imaged by the 1996 Tisza river seismic survey and late Pleistocene activity of the fault below the Tisza has been documented (see Fig. 3b). Legend: 1 Fault zone mapped by DETZKY-LŐRINCZ (1996); 2 Fault zone mapped by POGÁCSÁS et al. (1989a); 3 Fault zone in the vicinity of Paks mapped by TÓTH & HORVÁTH (1997)

## Zárszó

A fentiek fényében joggal merül fel a kérdés, hogyan is állunk mindezek után a paksi atomerőmű szeizmikus biztonságával? A válasz szerencsére megnyugtató! A mértékadó OVE ARUP (1997) jelentés minden tényt és lehetőséget igyekezett figyelembe venni, s ezúton határozta meg a műszaki szempontból kardinális jelentőségű várható maximális talajgyorsulási spektrumot. Ennek alapján történt meg, és részben még folyamatban van, az erőmű szükséges megerősítése.

A negyedidőszaki tektonizmus és szeizmicitás nem elégséges ismerete, esetenként indokolatlan alábecsülése azonban aggodalmat kelthet más, Kelet-Közép-Európában lévő atomerőművek biztonságával kapcsolatban és megnehezíti a radioaktív hulladéktárolók optimális helyének kijelölését. Fontos tudománypolitikai döntésnek tartjuk ezért azt a formálódó hazai elhatározást, hogy a negyedidőszaki földtudományi és környezettudományi kutatásokra nagyobb figyelmet és remélhetőleg nagyobb összeget indokolt fordítani. A sikeresség érdekében célszerű a hazai kutatásokat nemzetközi kooperációkkal kiegészíteni és gazdagítani.

## Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki BOKOR Csabának, a MOL Rt. Hazai Kutatási Üzletága igazgatójának, hogy hozzájárult a Tiszán 1996-ban mért nagyfelbontású szeizmikus szelvény egy részletének bemutatásához. Ezúton mondunk köszönetet a Paksi Atomerőmű Rt. illetékeseinek, hogy szerződéses megbízásokkal kutatásainkat nagyvonalúan támogatták az elmúlt 10 év során. Külön elismerés illeti őket az akadémiai kötet megjelentetéséért, amely lehetővé tette azt, hogy korábban bizalmasnak minősített anyagok publikussá váljanak. Jelen cikk megírása során számos kérdésben konzultáltunk dr. KATONA Tamás tudományos tanácsadóval, segítségéért meszeemenően hálásak vagyunk. Köszönjük SÍKHEGYI Ferenc lektori javaslatait, amelyek figyelembevétele adta meg a válszcikk végső formáját. Az elvégzett kutatások egy részéhez az OTKA T-019393 témaszámú kerete biztosította a pénzügyi feltételeket. Támogatásukat ezennel is köszönjük. Végül, de nem utolsósorban köszönet illeti mindazokat a kollégákat, akik részt vettek a mérések megvalósításában. Áldozatos munkájuk nélkül a kutatás nem valósulhatott volna meg.

## Irodalom – References

- BALLA Z., DUDKO A., MAROS Gy. 1997: Paks környékének mélyszerkezete és neotektonikája. – In: MAROSI S., MESKÓ A. (eds.): *A paksi atomerőmű földrengrés-biztonsága* Akadémiai Kiadó, Budapest, 33–60.
- BRUKNERNÉ WEIN A., BALOGH K., HALMAI J., IHAROSNÉ LACZÓ I., JÁMBOR Á., KÓSA L., RAVASZNÉ BARANYAI L., VETŐ I., VICZIÁN I. 1982: A Paks-2. sz. fúrás földtani eredményei. I. kötet. MÁFI Adattári szám: 733/5. 1–219.

- DETKYNE LÓRINCZ K. 1996: Részletes tektonikai vizsgálatok a Középföldön. – OTKA témapályázat zárójelentése. Budapest, 41 p.
- ELSTON D. P., LANTOS M., HÁMOR T. 1990: Az Alföld pannóniai (s.l.) képződményeinek magnetosztatigráfiája. *MÁFI Évi jelentés az 1988. évről*, 109–134.
- HERTELENDI E., PETR R., SCHEUER Gy., SCHWEITZER F. 1989: Radiokarbon koradatok a Paks-Szekszárd sülyledék kialakulásához. – *Földrajzi Ertesítő* 38/3–4, 319–324.
- IAEA Safety Guide 1979: Earthquakes and associated topics in relation to nuclear power plant siting – Safety Series No. 50-SG-S1, Vienna, 60 p.
- JÁMBOR Á. et al. 1988: A magyarországi pannóniai (s.l.) képződmények rövid földtani jellemzése – *MÁFI Évi jelentés az 1986. évről*, 311–326.
- JUHÁSZ, E., MÜLLER, P., PHILLIPS, R. L., TÓTH-MAKK, Á., HÁMOR, T., FARKAS-BULLA, J., SÜTŐ-SZENTAI, M., RICKETTS, B. 1996: High-resolution sedimentological and subsidence analysis of the Late Neogene, Pannonian Basin, Hungary. – *Acta Geologica Hungarica* 39/2, 129–152.
- Ifj. LÓCZY L. 1939: A magyar medencerendszer geomorfológiája, különös tekintettel a petróleumkutatásra. – *Földrajzi Közlemények* 67/4, p. 384.
- MAROSI S., MESKÓ A. (szerk.) 1997: A paksi atomerőmű földrengésbiztonsága. Akadémiai Kiadó, Budapest, 178 p.
- Ove Arup and Partners International 1997: VVER 440-213 Seismic Hazard Re-evaluation, Final Report, Volume 3. Paksi Atomerőmű, Földrengésvédelmi Projekt jelentéstára, Paks.
- POGÁCSÁS Gy., LAKATOS L., BARVITZ A., VAKARCS G., FARKAS Cs. 1989a: Pliocén-quarter oldaleltolódások a Nagyalföldön. – *Általános Földtani Szemle* 24, 149–169.
- POGÁCSÁS Gy., JÁMBOR Á., MATTICK R. E., ELSTON D. P., HÁMOR T., LAKATOS L., LANTOS M., SIMON E., VAKARCS G., VÁRKONYI L., VÁRNAI P. 1989b: A nagyalföldi neogén képződmények kronosztratigráfiai viszonyai szeizmikus és paleomágneses adatok összevetése alapján. – *Magyar Geofizika* 30/2–3, 41–62.
- RÁNER G., SZABÓ Z., BUCSI SZABÓ L., D. LÓRINCZ K., FEJES I., GULYÁS Á., GÜTHY T., KOVÁCSVÖLGYI S., MADARASI L., EMESI L., PÁNCIS Z., PATTANYÚS-Á. M., REDLERNÉ TÁTRAI M., STICKEL J., TÓTH T., TÖRÖS E., VARGA G. 1997: Geofizikai kutatások Paks térségében. – In MAROSI S., MESKÓ A. (szerk.): *A paksi atomerőmű földrengésbiztonsága*, Akadémiai kiadó, Budapest, 61–94.
- RÓNAI A. 1973: A negyedkori kéregmozgások térképe Magyarországon. – *MTA X. Osztályának Közleményei* 6/1, 24–243.
- RÓNAI, A. 1981: Magnetostratigraphy of Pliocene-Quaternary Sediments in the Great Hungarian Plain. – *Earth Evolution Sciences* 1/3–4, 265–267.
- RÓNAI A. 1986: A magyarországi kvarter képződmények kifejlődése és szerkezeti helyzete. – *Földtani Közlöny* 116/1, 31–43.
- SIMON B. 1939: A magyar medence földrengési térképe. – *Földtani Közlöny* 69/10–12, 199–201.
- STICKEL J., ZALAI P. 1994: Paksi geoelektromos mérések, 1993–1994. Kézirat, Paksi Atomerőmű Rt. Földrengés Project jelentéstára, Paks.
- TÓTH T., HORVÁTH F. 1997: Neotektonikus vizsgálatok nagyfelbontású szeizmikus szelvényezéssel. – In: MAROSI S., MESKÓ A. (szerk.): *A paksi atomerőmű földrengésbiztonsága* – Akadémiai Kiadó, Budapest, 123–152.
- A kézirat beérkezett: 1998 11. 02.*