

Szerkezetkutató 3D szeizmikus mérések a Paksi Atomerőmű környezetében

GOMBÁR L.^{1,@}, DEÁK F.^{2,&}

¹ GEOSEIS Consulting Bt., 1162 Budapest, Ákos u. 47.

² MVM PAKS II Zrt., 7030 Paks, Gagarin u. 1.

@E-mail: laszlo.gombar@geoseis.hu; &E-mail: deakf@mvmpaks2.hu

A paksi telephelyen építendő két új atomerőművi blokk építését egy részletes geológiai, geofizikai, közetfizikai, talajmechanikai kutatási program végrehajtása előzi meg. Az új blokkok földrengés-veszélyeztetettségének megbecsléséhez a környezet minél pontosabb geológiai-szerkezeti ismerete szükséges. A kutatási program első lépését egy közel 300 km²-es 3D szeizmikus mérés jelentette. A korszerű műszaki elvárásoknak is megfelelő terepi szeizmikus adatgyűjtés 2014. augusztus–szeptember folyamán történt meg. A terepi körülmények változatossága miatt háromféle szeizmikus forrást kellett alkalmazni: vibrátoros, air-gun és robbantásos jelgerjesztést. A mérés kivitelezése során számos kihívással kellett szembenézni, úgymint a mérési területet kettévágó Duna, a természetvédelem alatt álló ártéri erdők, lakott települések, illetve művelt mezőgazdasági területek, valamint a szeizmikus gerjesztés és adatgyűjtés az igen szigorú biztonsági szabályok szerint működő Paksi Atomerőmű és a mellette lévő Kiegészített Kazeták Átmeneti Tárolója területén. A cikk bemutatja a terepi mérések tervezésének és kivitelezésének folyamatát, valamint felvillant néhány szeizmikus leképezést a mérés során készített minőség-ellenőrző QC adatfeldolgozás adatrendszeréből.

Gombár, L., Deák, F.: Structural 3D seismic survey around the Paks Nuclear Power Plant

Detailed geological, geophysical, rock- and soil mechanical surveys will be carried out before starting the construction of the planned new units at Paks Nuclear Power Plant. The estimation of earthquake hazard at the Power Plant site requires very accurate geological-structural knowledge of the surrounding area. As the first step of the exploration program a 300 km² 3D seismic survey has been completed around the Power Plant site. A seismic data acquisition meeting the highest technical standards was carried out during August–September 2014. Due to the varying field conditions three types of seismic sources have to be applied during the survey: vibroseis, air-gun and dynamite. During the data acquisition several challenges have to be faced, such as the river Danube cutting into two parts the survey area, environmentally protected dense forests in the flood area of the Danube, as well as data collection and operation in the areas of Paks Nuclear Power Plant and the nearby Interim Spent Fuel Storage Facility having very strict safety and security systems. The paper presents the field data acquisition planning and recording processes, as well as shows some preliminary images from 3D data system processed as part of the quality control system during the data acquisition.

Beérkezett: 2015. szeptember 7.; *elfogadva:* 2015. november 6.

1. Bevezetés

Az új paksi atomerőművi blokkok építését egy igen intenzív, mindenre kiterjedő geológiai, geofizikai, közet- és talajmechanikai kutatási program végrehajtása előzi meg, mely megfelel a Nukleáris Biztonsági Szabályzat előírásainak és a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség ajánlásainak (Nagy et al. 2013). A paksi telephelyen építendő két új atomerőművi blokk földrengés veszélyeztetettségének, kitettségének, a lehetséges kéregmozdulások megbecsléséhez a tágabb és

szűkebb környezet minél pontosabb, korszerű eszközökkel történő geológiai-szerkezeti megismerése szükséges.

A kutatási program első lépése a paksi telephelyen építendő két új atomerőművi blokk 10 km-es sugarú környezetének korszerű 3D szeizmikus mérésekkel történő leképezése volt. A közel 300 km²-es 3D mérési program kivitelezésének kiválasztása egy nemzetközi közbeszerzési pályázat keretében történt 2014 első negyedévében. A mérést elnyerő GeofizikaTorun lengyel geofizikai szervizcég 2014. augusztus–szeptember folyamán elvégezte a 3D szeizmikus

adatgyűjtést. Jelenleg az adatok számítógépes feldolgozása van folyamatban.

A következőkben az adatgyűjtés főbb fázisait, a mérés során leküzdendő kihívásokat és az előzetes eredményeket mutatjuk be.

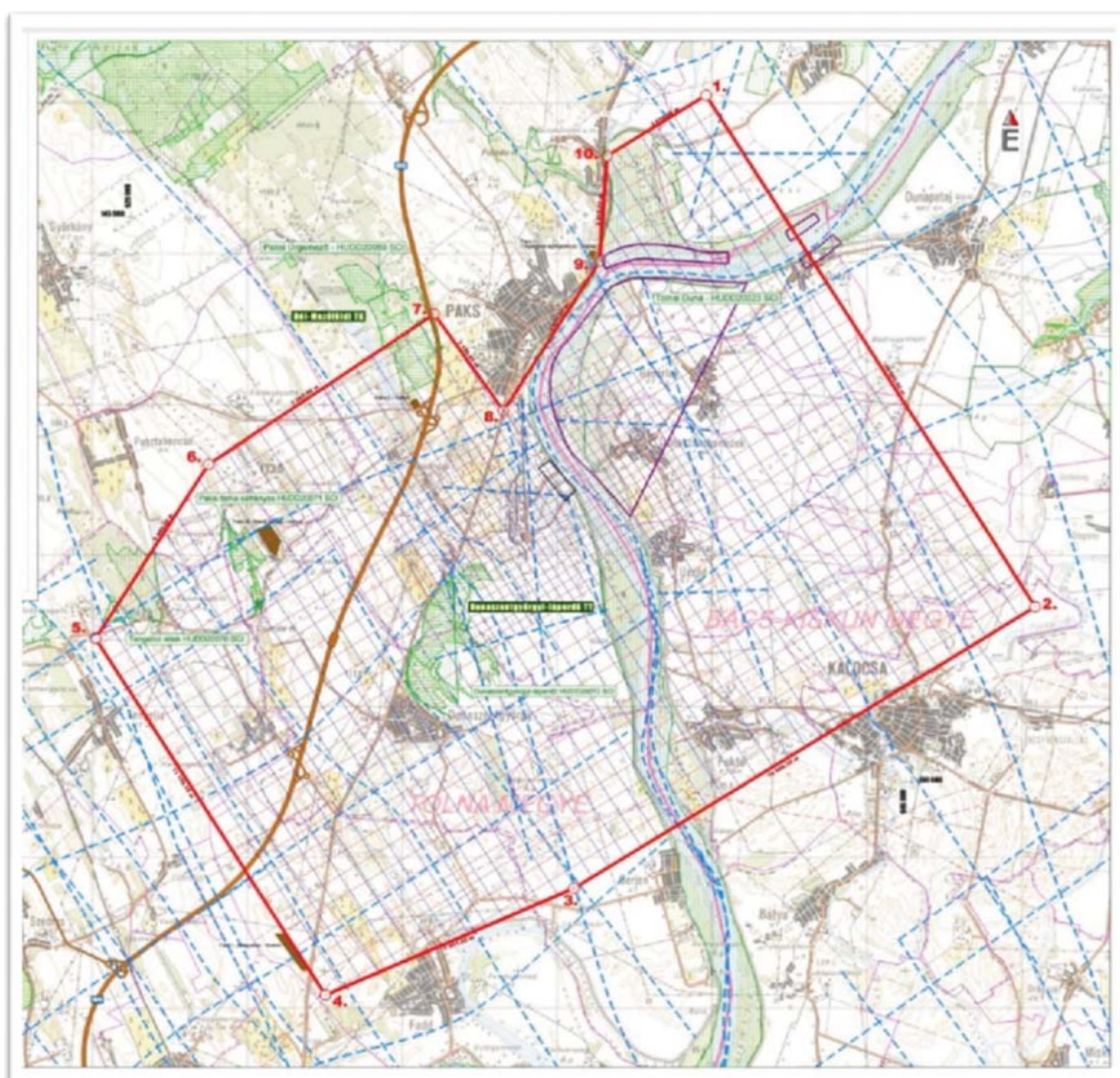
2. Kutatástörténet

A paksi telephelyen építendő két új atomerőművi blokk telephelyének kiválasztása során a 60-as évek végén elsősorban a Duna a működéshez elengedhetetlenül szükséges hűtővíz biztosításaként, valamint a Budapesttől és a határoktól megfelelő biztonsági távolság megtartása játszott a fő szerepet. A lehetséges telephely környezetének tektonikai-földtani vizsgálata és annak alapján a terület földrengés-veszélyeztetettségi kockázatának megítélése abban az időben kisebb prioritású szempont volt. Történelmi feljegyzések egyáltalán nem említettek Paks közvetlen környezetében

olyan földrengéseket, mint például a korábbi kecskeméti, komáromi vagy dunaharaszti földrengéseket. Ezért az atomerőmű új blokkjainak építésénél elsősorban csak a felső néhány száz méteres talaj és holocén kőzetrétegek talaj- és kőzetmechanikai vizsgálataiban merült ki a földtani kutatás. A 80-as évek közepén felmerült a Paksi Atomerőmű földrengésveszélyességének, biztonságának kérdése is.

A szisztematikus földtani-geofizikai információszerzés kezdetét a soproni Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet által 1985–86 során az erőmű környezetében az Erőterv megbízásából elvégzett áttekintő jellegű tellurikus és magnetotellurikus mérések jelentették. A mérések eredményei felhívták a figyelmet a nem egyszerű földtani felépítésre, azaz a nagy ellenállású aljzat mélységének gyors változásaira, valamint az ÉK–DNY irányú szerkezeti vonalak erőteljes jelenlétére a vizsgált területen.

A valószínűsített tektonikai zónák jobb megismerése céljából a Geofizikai Kutató Vállalat négy korszerű technikával kivitelezett 2D reflexiós szeizmikus szelvényt (Du-1, -2,



1. ábra | A 3D mérési terület körvonala (piros vonal) a korábbi 2D szeizmikus szelvények nyomvonalával (kék szaggatott vonalak) (Kudó et al. 2013)
Figure 1 | 3D seismic survey area (red line) with the previous 2D seismic profiles (blue broken lines) (Kudó et al. 2013)

-3, -4/86) mért az érdekes zónában robbantásos forrással, szintén az Erőterv megbízásából. A jó felbontású szeizmikus szelvények alapján láthatóvá vált szerkezeti zónáról egyértelműen belátható volt, hogy az egy jelentős oldalirányú elmozdulás, és az elmozdulás nyomai az alaphegységtől egészen a sekély felső-pannon rétegekig követhetőek a szeizmikus leképezésen.

A geofizikai mérések alapján jelölték ki és fűrták le 1986–87-ben a mélyebb geológiai felépítés megismerését célzó Paks-3, Paks-4A, Paks-4B, Paks-4C fúrásokat, melyek 300–600 m közötti talpmélységgel csak a miocén tetjét érték el. (A még 1979-ben lemélyült Paks-2 fúrás 628 m-ig pannon, majd az 1593 m-es talpmélységig miocén képződményeket harántolt, és nem érte el a pre-neogén alaphegységet.)

A Du-... jelű szeizmikus szelvények eredményei alapján 1987-ben egy nyolc 2D reflexiós szeizmikus szelvényből álló mérési hálózatot mért be a MÁELGI az Erőterv megbízásából, majd további szeizmikus szelvényeket 1992-ben. 1995-ben kimondottan a vetőzónák aktivitásának korát, a felszín közeli felhatolásának mértékét kimutatni hivatott sekély, nagy felbontású méréseket is végzett a MÁELGI.

Ezek a mérések, valamint a MOL által a 2000-es évek elején a szénhidrogén-kutatási céllal a Sió program keretében bemért Si- és XSi-jelű 2D reflexiós szelvények jelentősen hozzájárultak a jelenleg is üzemelő erőmű környezetének földtani-szerkezeti megismeréséhez. Azonban a különböző korú, eltérő műszaki színvonalú mérőműszerekkel

regisztrált 2D szelvények még mindig egy viszonylag ritka hálózatot alkottak a területen, nem téve mindenütt lehetővé a szomszédos szelvények közötti szintkorrelálást, a bonyolult vetőrendszer leképezését a kétdimenziós, egyáltalán nem tekinthető földtani felépítés és szerkezeti viszonyok mellett.

3. 3D szeizmikus mérések előkészítése

Az új blokkok előkészítésében felelős döntéshozók az MVM Paks II. részéről elfogadták, hogy a korábbi 2D mérések alapján feltáruló bonyolult földtani szerkezetek leképezésére csak a korszerű 3D szeizmikus mérések alkalmazásával nyílhat lehetőség. A földtani szakértői csapat által javasolt 294 km² 3D mérési terület elhelyezkedését az 1. ábra mutatja. Látható, hogy a geofonvonalak az ÉNY–DK regionálisnak tekintett dőlésiránnyal párhuzamosak, a DNY–ÉK irányú forrásvonalak pedig azokra merőlegesen csapásirányúak.

A 3D mérés alapvető célkitűzése a pre-pannon képződmények leképezése volt, nem pedig az alaphegység töréseiből kiinduló, a felszín közelébe felhatoló vetőrendszerek térképezése. A költségkeret limitált volta miatt két mérési geometriai elrendezésre kért ajánlatot az MVM Paks II. a közbeszerzési tenderen részt vevő geofizikai cégektől: egy olcsóbban megvalósítható 500×500 m-es mérési hálózattal 42-szeres fedésű rendszerrel és egy, a sekélyebb képződmé-

1. táblázat | A tervezett 3D mérési geometria opciók
Table 1 | The proposed 3D survey geometry options

Mérési geometria	1. Opció	2. Opció
Geofonvonalak iránya	ÉNY–DK	ÉNY–DK
Geofonvonal távolság	500 m	300 m
Geofonvonal távolsága az erőmű közelében	250 m	300 m
Geofonköz	50 m	50 m
Geofon per csatorna	12	12
Geofoncsoport hossza	25 m	25 m
Forrásvonalak iránya	DNY–ÉK	DNY–ÉK
Forrásvonal távolság	500 m	400 m
Forrásvonal távolsága az erőmű közelében	250 m	200 m
Forráspontköz	50 m	50 m
Regisztrált geofonvonalak száma	14	18
Vonalanként regisztrált csatornák száma	120	128
Regisztrált csatornaszám	1680	2304
Fedésszám	42	72
Fedésszám az erőmű környezetében	168	144
Forráspont per salvo	10	6
Forráspont per km ²	40	50
Max. offset	4594 m	4168 m
Aspect ratio	0,92	0,80

nyeket pontosabban leképező, jobb jel/zaj viszonyt biztosító 300×400 m vonalhálózattal 72-szeres fedést megvalósító mérési elrendezéssel (1. táblázat).

A technikai és pénzügyi ajánlatok kiértékelése és az ártárgyalások során kiderült, hogy a részletesebb felmérést biztosító 2. Opció szerinti mérési elrendezés kivitelezése is befér az előzetes költségvetésbe (2. és 3. ábra).

Amint az 1. ábrán látható, a mérési területet a Duna vágja ketté, amelynek bal parti része Bács-Kiskun megyéhez, a jobb parti területe Tolna megyéhez tartozik közigazgatásilag.

A Bács-Kiskun megyére eső mérési terület számos kisebb-nagyobb település kül- és/vagy belterületét érintette, úgymint Dunapataj, Dunaszentbenedek, Foktő, Géderlak, Kalocsa, Ordas, Uszód. A Tolna megyei részen érintett települések a következők voltak: Dunaszentgyörgy, Gerjen, Madocsa, Paks, Pusztahencse, Tengelic, Tengelic szőlőhegy, Fadd.

A kutatási területen számos védett természeti érték található, melyek egy része „Natura 2000” státusszal, országos védettséggel rendelkezik (Dél-Mezőföld Tájvédelmi Körzet; Dunaszentgyörgyi-láperdő Természetvédelmi Terület, Tolnai Duna Part Természetvédelmi Terület), de vannak helyi védettségű természetvédelmi értékek is (Benyovszky park-Arborétum – Tengelic, Bogárczó-tó – Tengelic, Dunaparti gesztenyefasor – Paks, Imsósi-erdő – Paks, Faddi Duna-part, Faddi Harisi terület).

A Duna, a természetvédelmi területek és a lakott területek mellett komoly akadályt jelentett még a mérés kivitelezése szempontjából a forgalmas 6. sz. főút és az M6 autópálya. Külön egyeztetésekre és engedélyekre volt szükség a nagy kiterjedésű foktői növényolajgyár és maga a Paksi Atomerőmű területén folytatandó mérési tevékenységekhez.

A mérések elkezdéséhez szükséges bányakapitánysági engedélyt és a kezelői állásfoglalásokat az MVM Paks II. Zrt. (Paks II.) szerezte be 2013 decemberére. Az érintett hatóságokkal, önkormányzatokkal, a kezelők helyi megbízottjaival GeofizikaTorun hazai alvállalkozója a TDE Kft. vette fel és tartotta a kapcsolatot a mérés előtt és annak folyamán.

Az illetékes földhivataloknál kigyűjtött helyrajzi számok alapján a mérés által érintett földtulajdonosokat/bérlőket – csaknem 13 ezret – a TDE Kft. levélben kiértékelte a Bányatörvény előírásának megfelelően a kezdődő terepi munkákról. A kiértékelések minden esetben több mint 8 nappal előzték meg a terepi tevékenység megkezdését az adott területeken. Az engedélyezés (*permitting*) része volt a folyamatosan élő telefonszám és zöldsám fenntartása, ahol a gazdák megtehették bejelentéseiket, és információt kaphattak a mérési program őket érintő aktuális előrehaladásáról. Az érintett hatóságokkal, önkormányzatokkal, a kezelők helyi megbízottjaival szintén a TDE Kft. vette fel és tartotta a kapcsolatot a mérés előtt és annak folyamán. A robbantási munkákhoz szükséges robbantási engedélyt a robbantási munkák kivitelezésére szerződött Detonet Kft. szerezte be.

A terepi tevékenység kezdetét közvetlenül megelőzte egy intenzív kommunikációs kampány a Paks II. részéről, melynek része volt a helyi hírlapokban, helyi tévékben, rádiók-

ban közzétett tájékoztató, megismertette a lakossággal a mérések célját, helyét és tervezett időzítését. A megrendelő képviselői minden érintett településen tartottak egy-egy lakossági fórumot, amelyeken szintén részletesen ismertették a várható szeizmikus mérések részleteit, és megnyugtató válaszokat adtak a lakosság részéről felmerülő kérdésekre. Sehol nem tapasztaltak ellenséges fellépést a gazdák részéről, akik tudomásul vették, hogy a mérések szükségesek, és most kell elvégezni azokat. Az önkormányzati vezetők részéről szintén mindenütt pozitív támogatás volt tapasztalható, ugyanakkor a lakosság előzetes tájékoztatása hasznosnak bizonyult, így a mérések kivitelezése során nem merült fel semmilyen probléma a méréssel érintett területek tulajdonosai részéről.

4. Szeizmikus mérések

A terepi adottságok és a számos lakott település érintése miatt a szeizmikus méréseket alapvetően vibrátoros forrással terveztük kivitelezni. Azonban már az előzetes tervezési fázisban nyilvánvaló volt, hogy a mérési terület bizonyos részein a vibrátoros forrás nem alkalmazható.

A erdőkkel fedett Duna menti mocsaras ártéri erdőkben és a Paks melletti hétvégi telkes körzetben robbantásos jelgerjesztést, a Duna folyón pedig megfelelő erősségű airgun forrás alkalmazását követeltük meg a kivitelezőtől. A Duna közelségének és az öntözés lehetőségének köszönhetően a Duna mindkét oldalán intenzív mezőgazdasági tevékenység folytatása jellemző. Mivel a kalászos gabonafélék betakarítása megtörtént, mire a geodéziai mérések augusztus közepén megkezdődhettek, így főleg csak a kukorica- és napraforgóátlákkal kellett a csoportnak megküzdenie. Ezek a magas kultúrák a művelt területeknek mintegy 40%-át adták.

A terepi vibrátoros forrástesztet – a csoport teljes mérőeszköz-állományára kiterjedő technikai auditja után – kezdődtek el a terület DK-i sarkában augusztus 23-án. A vibrátoros forrás alkalmazásánál a vibrátorok száma, a vibrátor kimenő teljesítménye, az egy forrásponton történő vibrálások száma és a sweepek hossza, frekvenciatartománya a változtatható forrásparaméter – melyeket az adott helyen elvégzett paramétertesztet során kell az adott szeizmo-geológiai viszonyoknak megfelelően megválasztani – optimalizálva a jel/zaj viszony adatminőségi elvárásokat szemben a ráfordítandó költségekkel.

A vibrátoros felvételek jel/zaj viszonya, S/N az alábbiak szerint függ a forrásparamétereiktől:

$$S/N \approx Pf \cdot Dr \cdot Nv \cdot \sqrt{Ns \cdot SL},$$

ahol

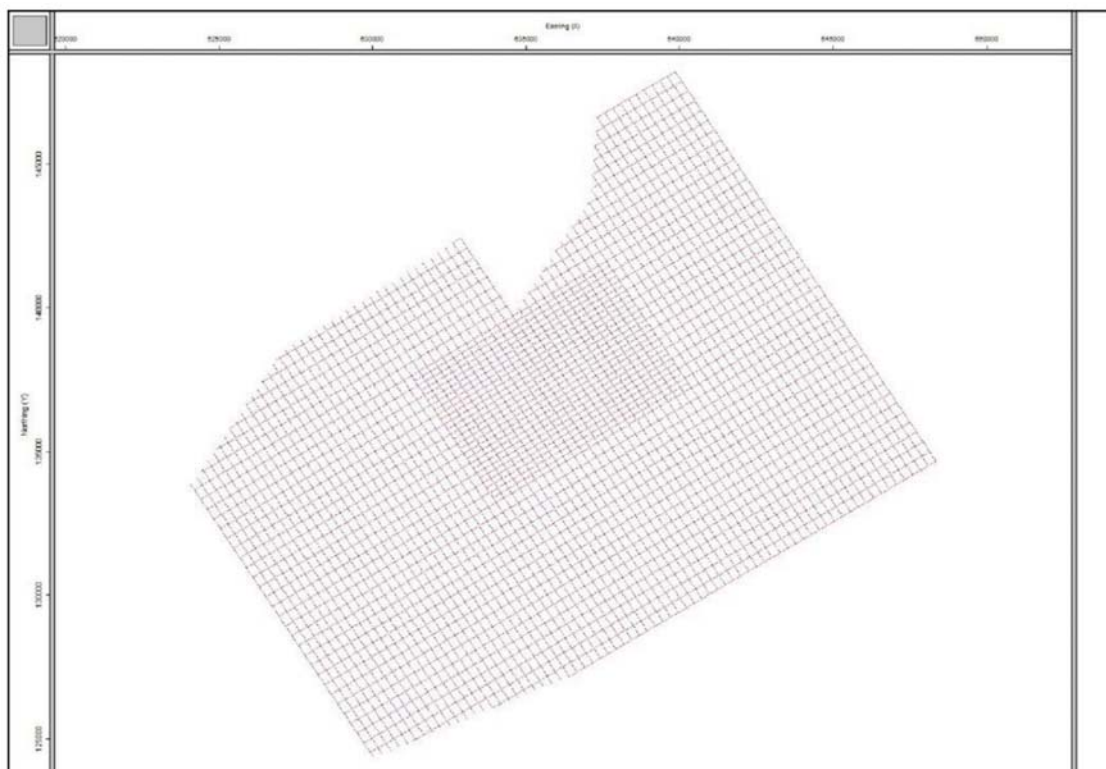
Pf – egy vibrátor csúcserője,

Dr – meghajtási szint (20–80%),

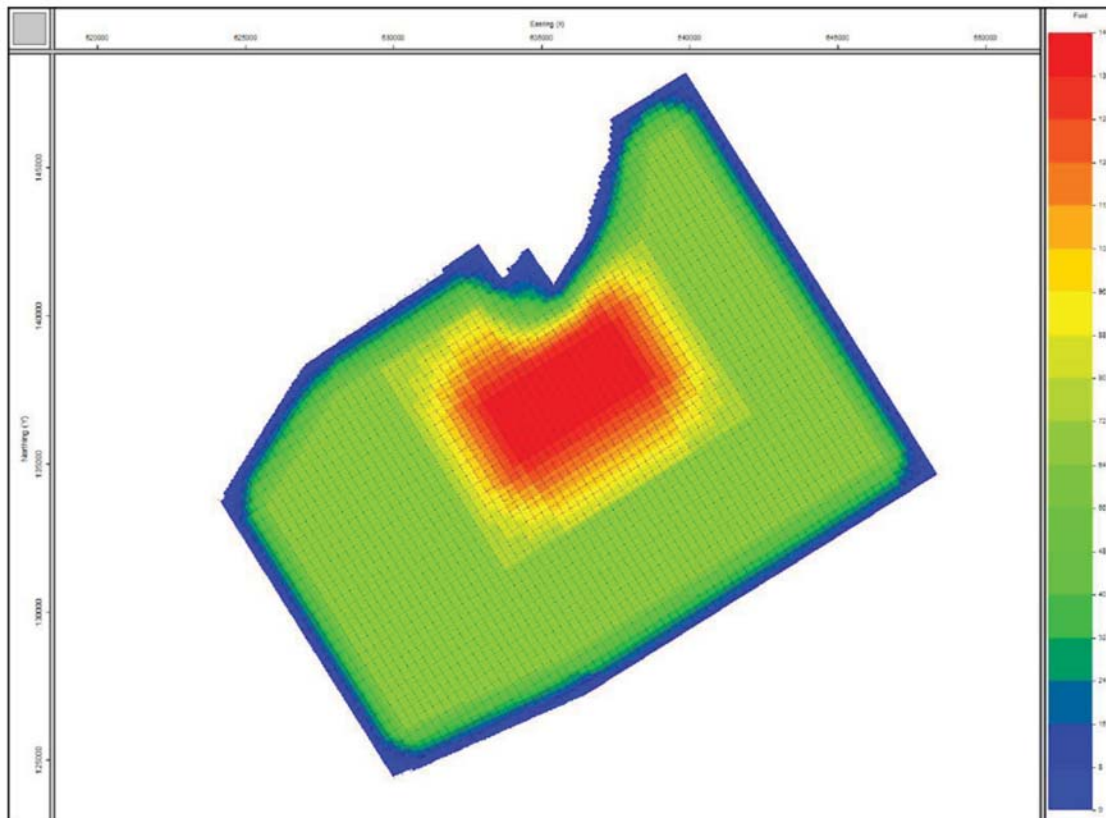
Nv – vibrátorok száma,

Ns – az egy forrásponton összegzett sweepek száma,

SL – sweephossz.



2. ábra | A tervezett elvi mérési elrendezés (2. Opció paraméterei)
Figure 2 | The planned survey geometry (Option 2 parameters)



3. ábra | A tervezett elvi mérési elrendezés fedésszámeloszlása (2. Opció paraméterei)
Figure 3 | The fold distribution for all offsets at the proposed survey design (Option 2 parameters)

2. táblázat | A kiválasztott felvételezési és forrásparaméterek
Table 2 | The selected recording and source parameters

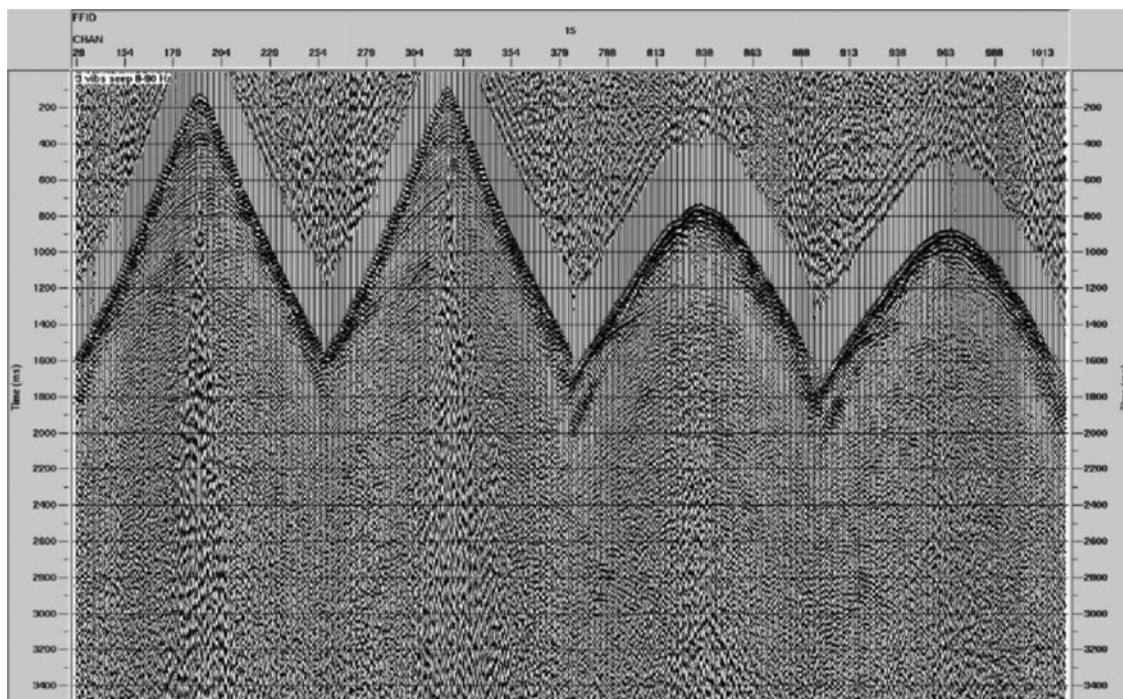
<i>Fellevő műszer</i>	
Típus (kábeles rendszer, wireless opcióval)	SERCEL 428
Felvételhossz	5 s
Mintavétel	2 ms
Zajelnyomás (vibroszeiz esetén)	diversity stack
Anti-alias szűrő és fázisa	208 Hz, Lin. phase
Korreláció	Afterstack
<i>Vibrátoros forrás</i>	
Vibrátorok típusa	HEMI 50
Vibrátorok száma	$2 \times 3 + 2$ tartalék
Vibrátorok csúcserője	50 000 lbs/vib.
Sweephossz	16 s
Sweepszám per VP	3×2 ; 3×3
Védett objektumok közelében per VP	2×4 ; 1×10
Sweepfrekvencia	8–96 Hz
Vibrátorcsoporthossz	25 m egy vonalban

A fenti forrásparaméterek tesztelése során három vibrátorral, 80%-os kimenő erővel készítettünk tesztfelvételeket 8 Hz-es sweep kezdő frekvenciától a 80–110 Hz-es határfrekvenciáig, 12, 16 és 20 s hosszúságú sweepeket alkalmazva. Az egy helyben történő vibrálások száma 2, 3 és 4 volt.

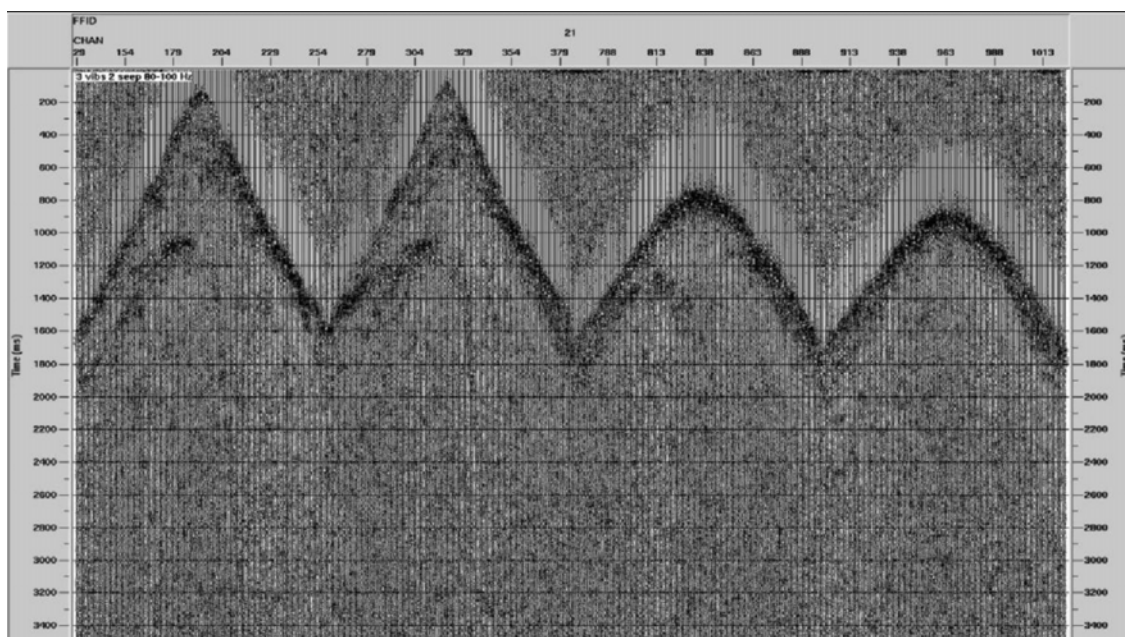
A tesztfelvételek ProMax munkaállomáson történt feldolgozása és vizsgálata alapján kiválasztott forrásparamétereket és a felvételi paramétereket a 2. táblázat tartalmazza. A

3D-s terepi felvétel részlete (két forrás közeli és két távoli geofonvonal-csatornái) a 4. ábrán látható.

A sweep felső határfrekvenciájának megválasztásánál a különböző felső frekvenciával készített felvételeket keskeny sáváteresztő frekvencia tartománybeli szűrésnek vettük alá kiderítendő, hogy milyen magas frekvenciás sávban kapunk még koherensnek tekinthető energiát sekélyebb



4. ábra | A kiválasztott 8–96 Hz, $3 \times 2 \times 18$ s sweeppel készített felvétel részlete
Figure 4 | A sequence of the field record with the selected 8–96 Hz, $3 \times 2 \times 18$ s sweep



5. ábra | A kiválasztott sweeppel készített felvétel magas frekvenciás tartalma 80–100 Hz tartományban
Figure 5 | A sequence of the record with selected sweep in the high frequency band of 80–100 Hz

reflexiók szintjeiről. Az 5. ábra mutatja a 80–100 Hz-es át-eresztett frekvenciasávban a kiválasztott paraméterekkel készített felvételt. Látható, hogy elsősorban a forrás közeli geofonvonalak csatornáit még határozott nagyfrekvenciás jeltartalommal bírnak. Ezért a sweep felső határfrekvenciáját 96 Hz-re választottuk, így nyerve egy 3,5 oktávus (8–96 Hz) sávszélességű, megfelelően nagy felbontást biztosító vibrátorjelet.

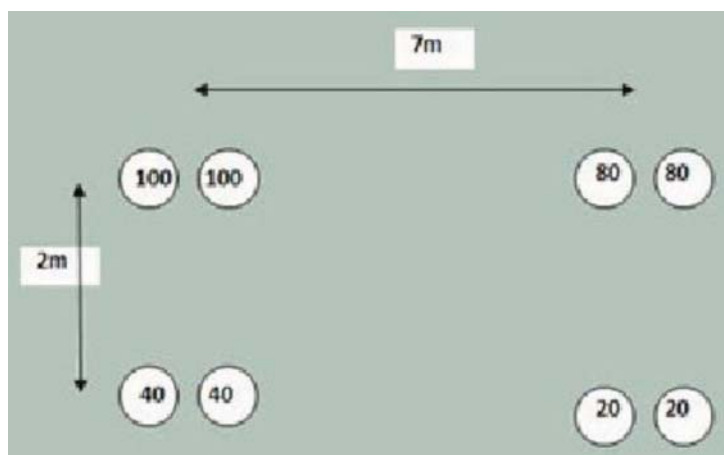
A vibrátoros méréssel szemben a legnagyobb akadályt a Duna jelentette. A Duna medrében alternatív forrásként csak a sűrített levegő energiáját kihasználó, hajóra szerelt air-gun forrás alkalmazására volt lehetőség. Az air-gun forrás legfontosabb az adatminőséget befolyásoló paraméterei a kamraméret, kamra feltöltési levegőnyomása és a puskák vízfel-

szín alatti elsütési mélysége. A vízi tesztmérés során a kamra levegőnyomását 1300–2000 psi tartományban, a vízfelszín alatti elsütési mélységet 3–6 m-es tartományban vizsgáltuk. Az alkalmazott air-gun csoport 8 puskából állt, amelynek az eredő kamratérfogata 480 inch³ volt. A csoportosítás térbeli elrendezését a 7. ábra, a forrást szállító hajót a két oldalára erősített pontonokkal (amelyekhez a puskák voltak rögzítve) a 8. ábra mutatja be.

A tesztfelvételek alapján belátható volt, hogy a kamra légnyomásának növelésével a forrásjel nagyobb energiájú és élesebb, impulzuszerűbb lesz, tehát a rendszer mechanikai paraméterei alapján még biztonságosan alkalmazható legnagyobb kamranyomást, a 2000 psi szintet volt célszerű kiválasztani a méréshez. Az elsütési mélység növelésével a



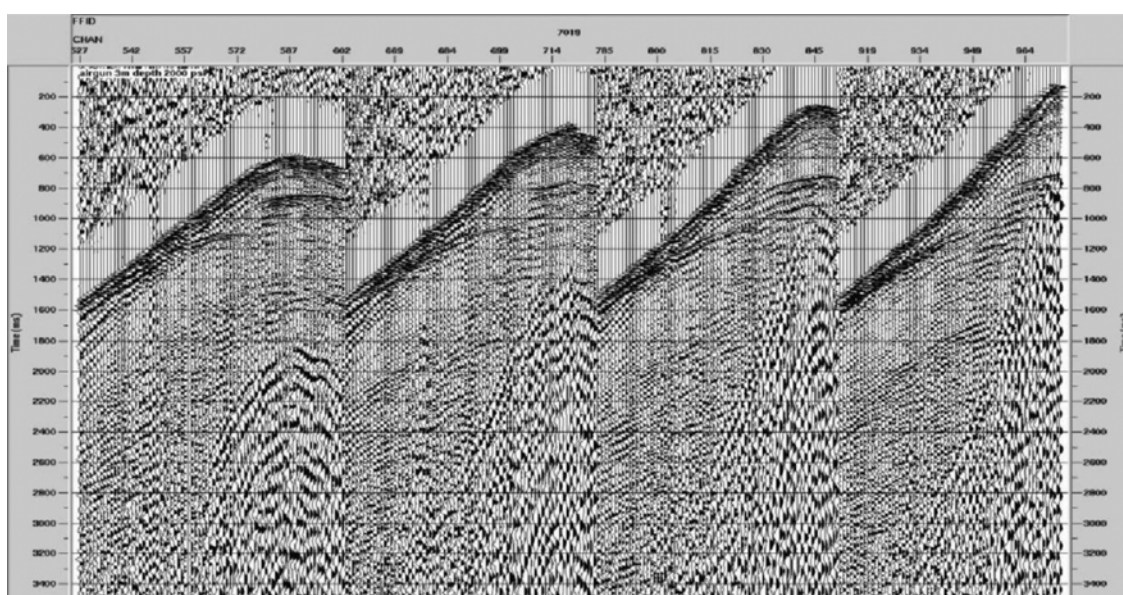
6. ábra | 25 tonnás HEMI 50 típusú vibrátorok működés közben
Figure 6 | HEMI 50 type vibrators of weight 25 tons on the site



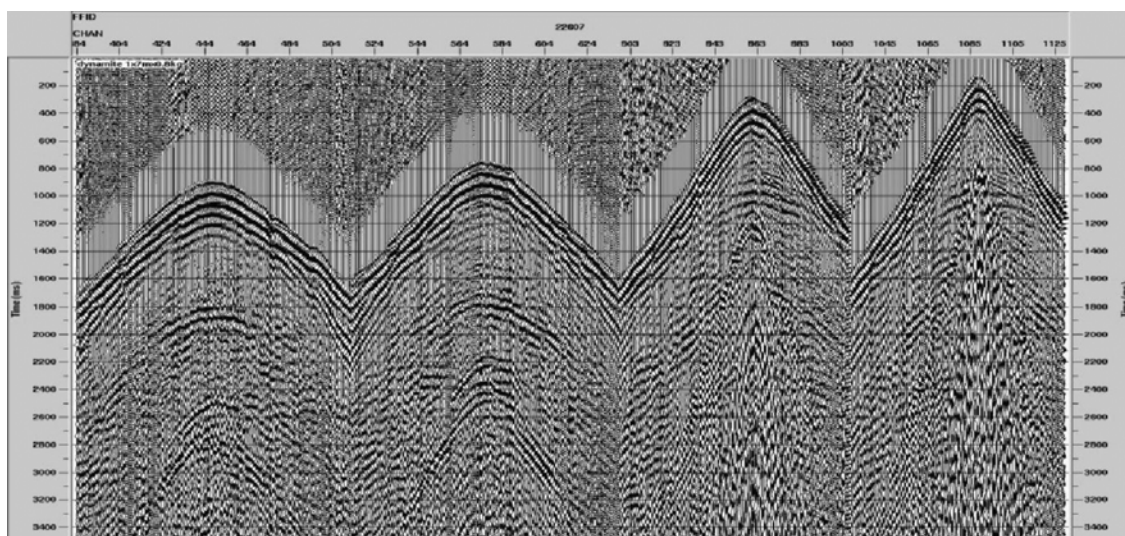
7. ábra | Air-gun forráscsoport felülnézetben az egyes tagok térfogatának (inch³) jelölésével
Figure 7 | Air-gun configuration. The volumes of the guns are indicated in inch³



8. ábra | Air-gun forrást mozgató hajó a Dunán a két oldalán a 4-4 puskát hordozó pontonnal
Figure 8 | The air-gun source carrier boat on the Danube river. 4-4 air-guns are installed at both sides of the boat



9. ábra | A mérésre kiválasztott paraméterekkel készült air-gun felvétel (2000 psi, 3 m mélység)
Figure 9 | Air-gun record with the selected parameters (2000 psi, 3 m depth under the water)



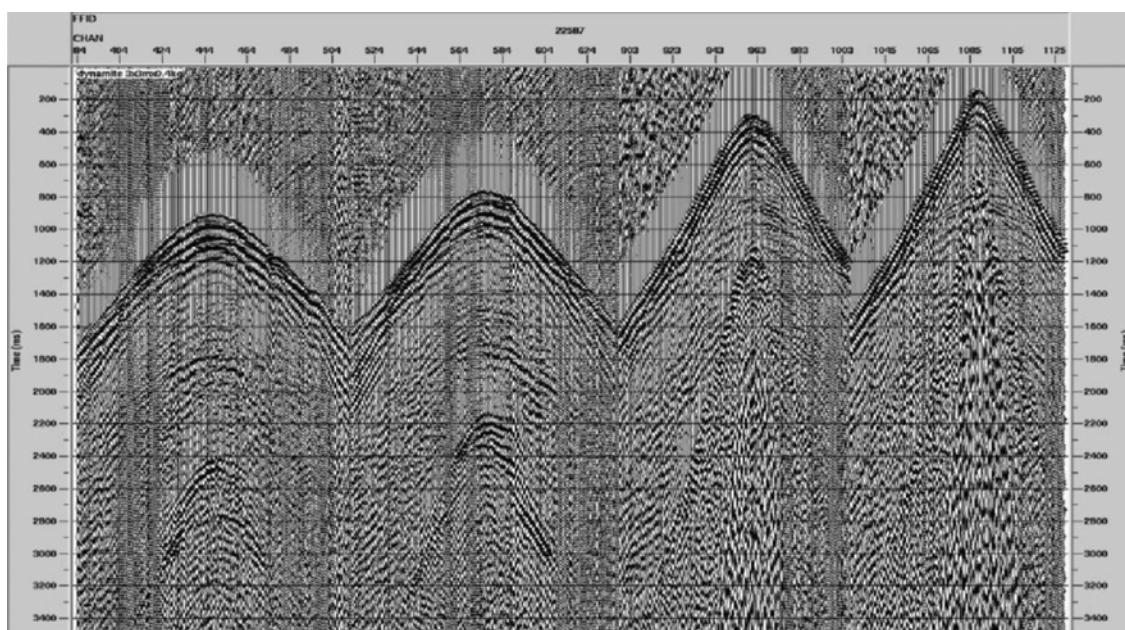
10. ábra Robbantásos terepi felvétel, 7 m töltetmélységen, 0,8 kg töltettel
Figure 10 Explosive field record with source effort, at 7 m depth, with 0.8 kg explosive

forrásjel nagy frekvenciákban gazdagabbá vált, azonban ahhoz, hogy ne csak a meder közepén, hanem a partok közelében is lehessen a forrást alkalmazni, kompromisszumként a 3 m-es elsütési mélységet választottuk (9. ábra). A 3 m-nél kisebb mélység esetén a keletkezett nagy buborékok és lökéshullámok már biztonságtechnikai kockázatot jelentettek volna a hordozó hajó és a kezelőszemélyzet számára.

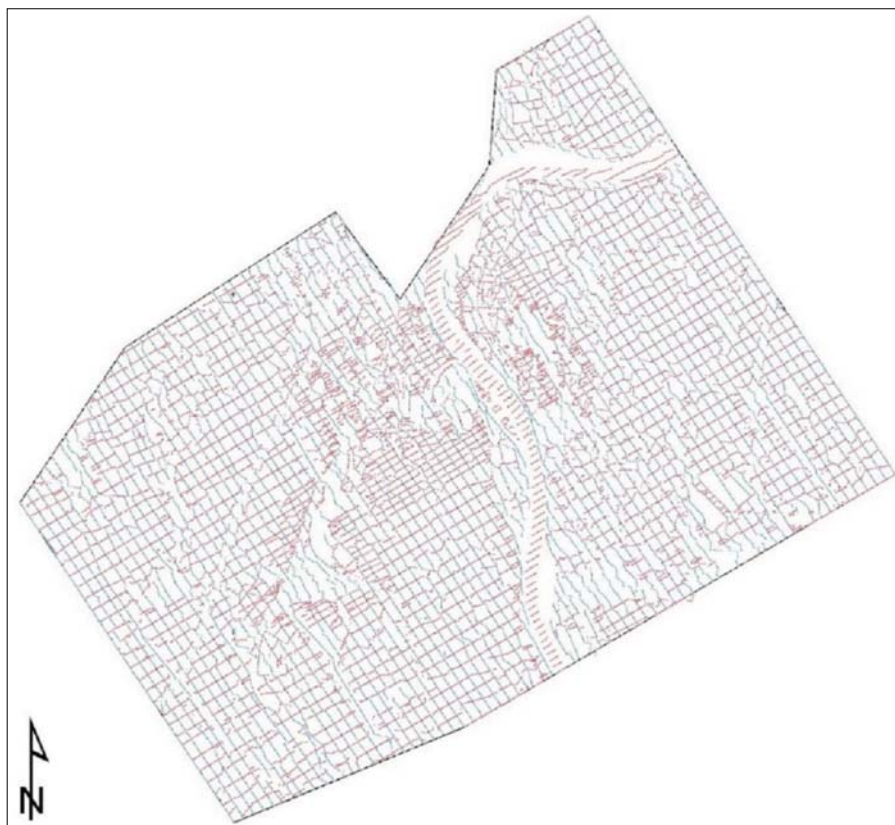
Mivel a Pécsi Bányakapitányság az illetékes Természetvédelmi Hatóságok állásfoglalására hivatkozva nem engedélyezte robbantásos mérés alkalmazását a Duna bal partján lévő természetvédelem alatt álló ártéri erdőkben és a Madocsa melletti védett, Duna parti erdőkben (hanem csak a meglévő utakon, vibrátorokkal és száraz időben), így a kísérleti robbantásos mérésre csak a Duna jobb partján, a terve-

zett új blokkoktól délre kerülhetett sor. A robbantásos teszt-mérésnél az optimális töltetmélységek és töltetsúlyok kiválasztása volt a feladat. Kísérleti felvételek készültek 3-5-7-10 m-es töltetmélységekkel és 0,4-0,8 kg-os robbanótöltetekkel szülő lyukakból és a 3 m-es mélységű 3-as lyukcsoportból (10. és 11. ábra).

A felvételek összehasonlítása során az 1×7 m lyukból, 0,8 kg töltettel készült felvételt minősítettük a legjobbnak, azonban az már a kísérleti pontok megfúrásánál is látszott, hogy a Duna menti laza sóderes talajban nagyon bizonytalan az 5 m-nél mélyebb lyukak elkészítése. A fúrás nem okozott gondot, azonban a fúrószár kihúzása után 5 m alatt szinte azonnal összeomlottak a lyukak, és a robbanóanyagot nem lehetett 5 m-nél mélyebbre letölteni. Ebből a tapasztá-



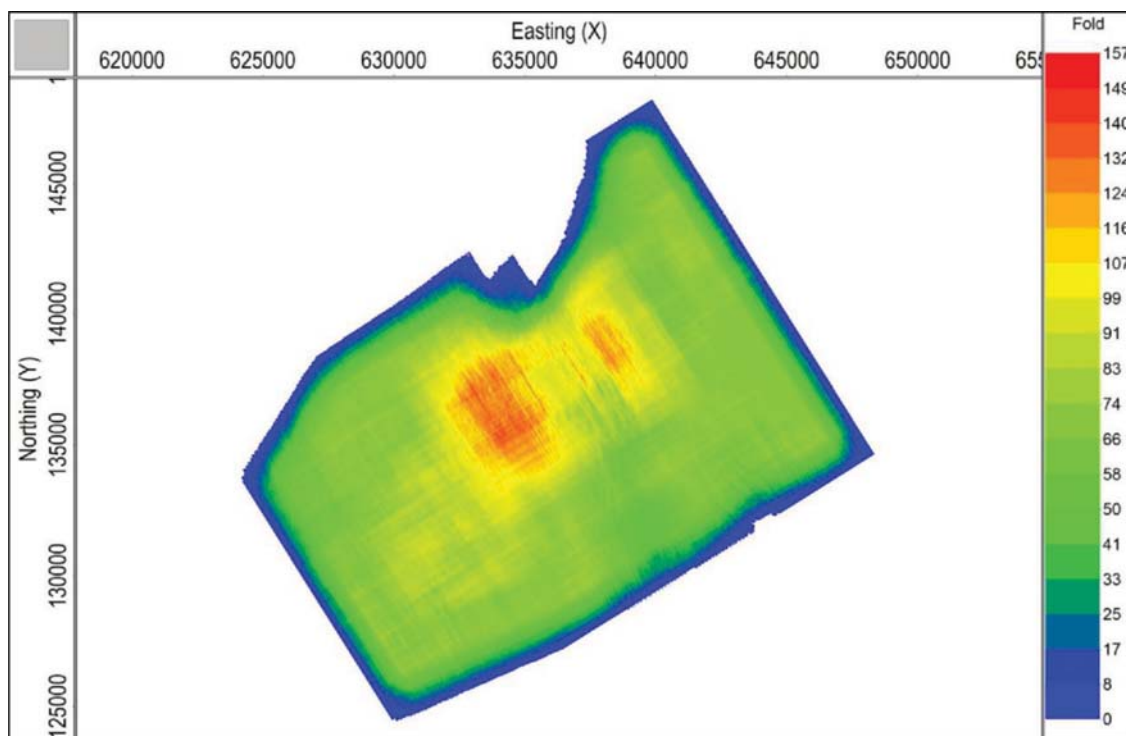
11. ábra Robbantásos terepi felvétel, 5 m töltetmélységen, 0,4 kg töltettel
Figure 11 Explosive field record with source effort (5 m depth, 0.4 kg explosive)



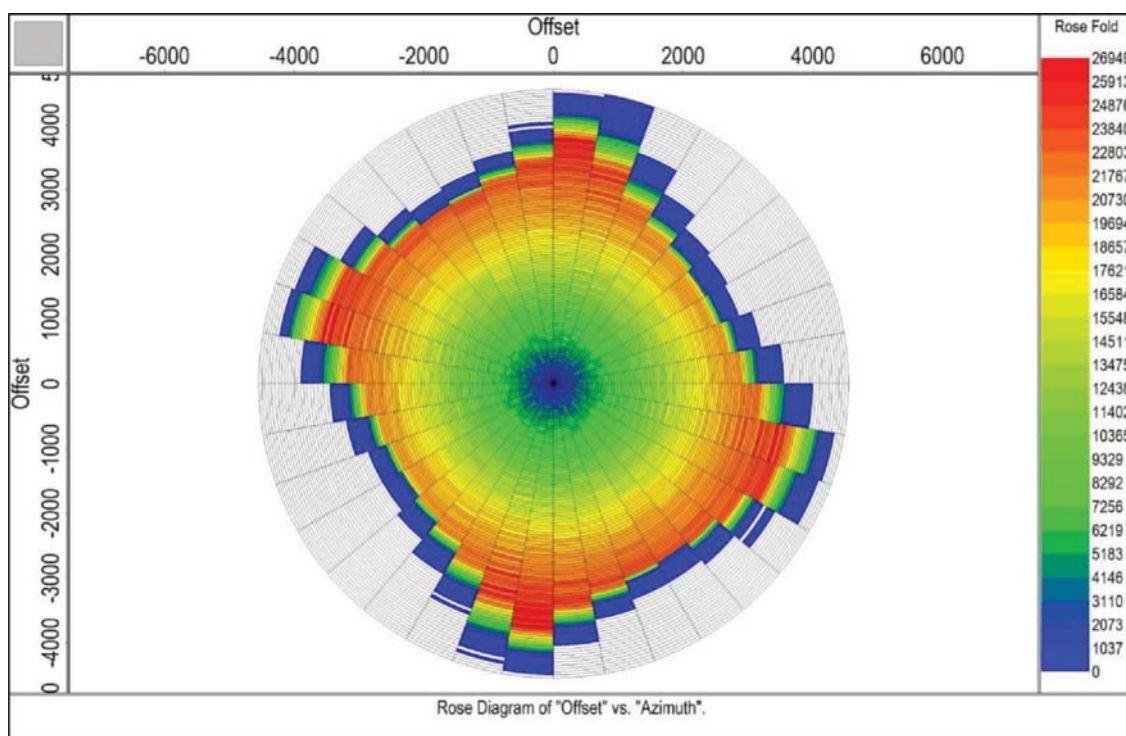
12. ábra A ténylegesen megvalósult forráspont- és geofonpont-eloszlás
Figure 12 Project postplot map with the executed source and receiver points

latból kiindulva az 5 m-es lyukmélységet választottuk ki
 elérhető célmélységnek 0,4–0,8 kg-os robbanótöltettel.

Ahol a közelben (100 m-en belül) nem volt védendő mű-
 tárgy vagy építmény, ott 0,8 kg-os töltetsúlyt alkalmaztunk.

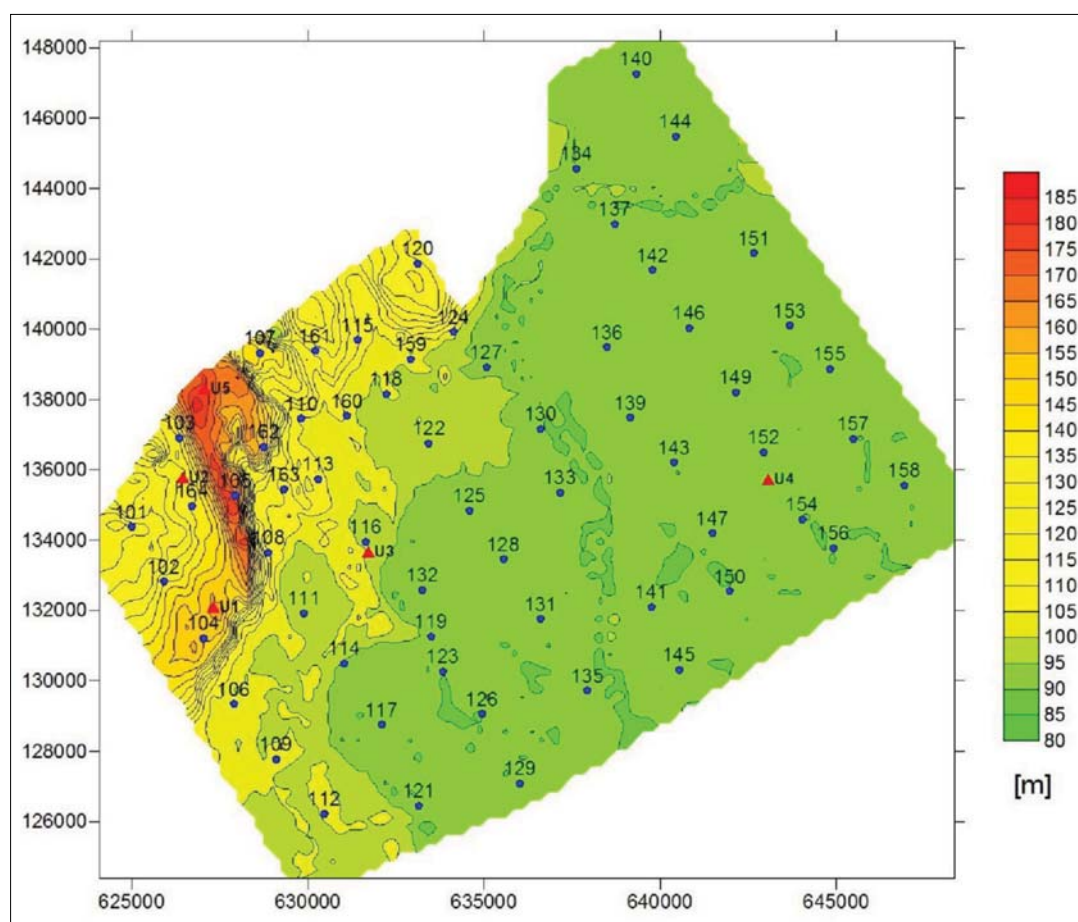


13. ábra A megvalósult fedésszámoszlás a mérési területen
Figure 13 Resulting fold distribution for all offsets on the surveyed area



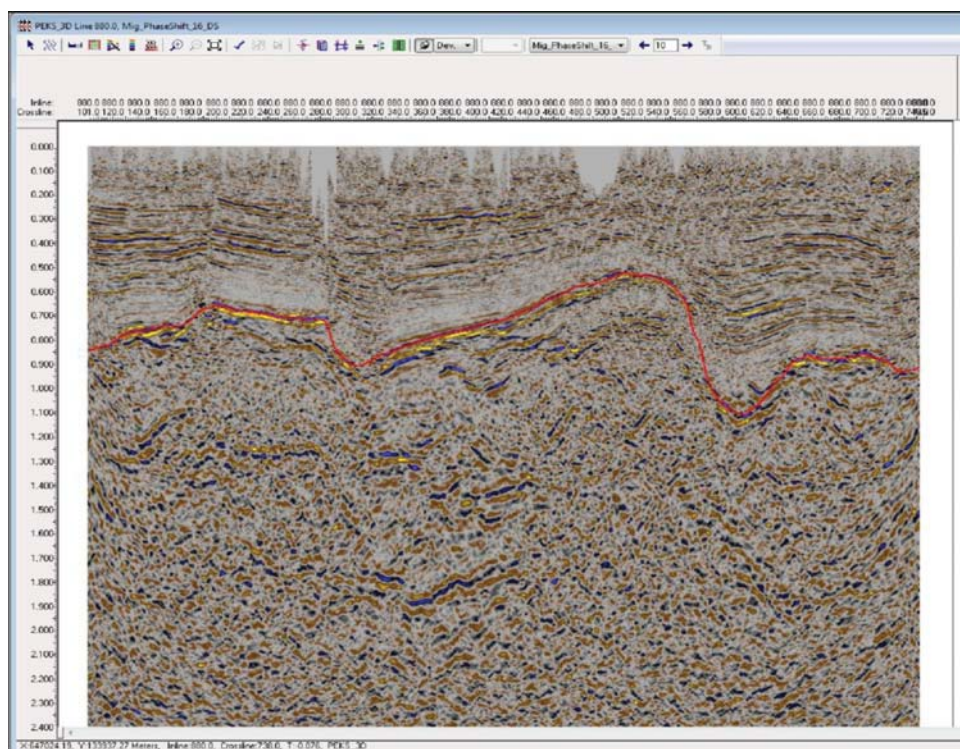
14. ábra A megvalósult fedésszám-offset-azimut eloszlást bemutató rózsza diagram

Figure 14 Resulting rose diagram demonstrating the fold offsets and azimuths statistics



15. ábra A mérési terület tengerszint feletti magassága a megvalósult sekély refrakciós és uphole mérések helyeivel

Figure 15 Elevation map of the survey area with shallow refraction and uphole locations

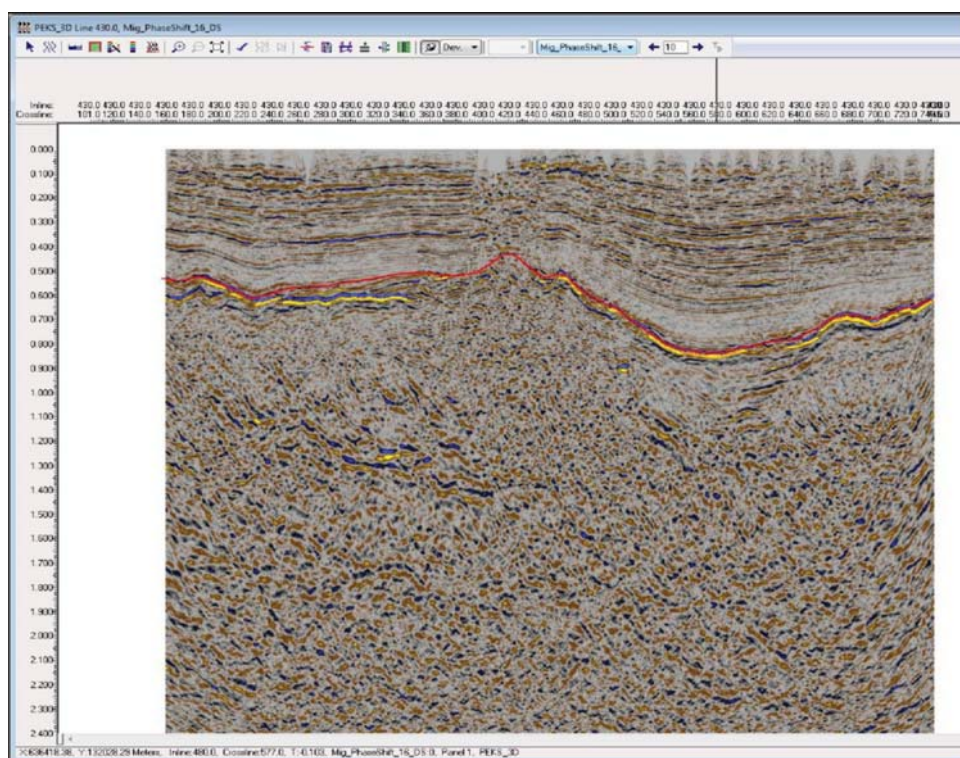


16. ábra Geofonvonal irányú (in-line) 2D időszelvény a migrált adathasáb K-i részéről (Makarewicz, Gombár 2014)

Figure 16 Receiver line direction (in-line) 2D time section from the eastern part of the data cube (Makarewicz, Gombár 2014)

Ahol a laza homokos, iszapos talaj az 5 m-es mélység megfúrását sem tette lehetővé, ott 3×3 m-es lyukcsoportot kellett alkalmazni, lyukanként 0,4 kg-os töltettel.

Az ártéri védett erdőkre vonatkozó fenti természetvédelmi hatósági korlátozások és a Dunán szeptember folyamán hetente levonuló árhullámok miatt az erdők víz alatt álltak,



17. ábra Geofonvonal irányú (in-line) 2D időszelvény a migrált adathasáb középső részéről (Makarewicz, Gombár 2014)

Figure 17 Receiver line direction (in-line) 2D time section from the central part of the migrated data cube (Makarewicz, Gombár 2014)

és semmi esély nem volt a mélyebben fekvő erdőkben a vibrátorok alkalmazására. A Dunaszentgyörgy melletti védett mocsaras erdő szintén vízben állt a sok csapadék miatt, így az összefüggő falu és védett mocsár miatt szintén számos robbantópont kimaradását kellett elfogadni. E terepi feltételek miatt több száz tervezett forráspontot el kellett hagyni, és a robbantásos felvételek száma a tervezetthez képest a felére csökkent (12., 13., 14. ábra). A 16000 megvalósult forráspontból 93,5% készült vibrátoros gerjesztéssel, 4,5% air-gun forrással a Dunán és mintegy 2% robbantással.

A mérés során külön kihívást jelentett a Paksi Atomerőmű és a mellette található kiégett üzemanyag-tároló (RHK Kft. – KKÁT) területén történő terepi adatgyűjtés kivitelezése. A forrás- és érzékelőpontok helyének megtervezése és kijelölése a méréseket hónapokkal megelőzően a Paksi Atomerőmű műszaki és biztonsági szakembereinek közreműködésével történt. A mérési technológia megismertetése mellett az üzemelő erőmű területén a normál üzemi működést nem zavaró, kábel nélküli (*stand alone*) regisztrálási pontok telepítését, valamint folyamatos vibrációmonitoringot vállaltunk a védendő létesítmények környezetében. Az előzetesen készített rezgéstanulmányok alapján a maximálisan megengedhető, még semmilyen károsodást nem okozó eredő részecske sebesség-érték $PPV = 5 \text{ mm/s}$ volt. Ez az érték egy 20 Hz-es frekvenciájú jel esetében 0,01 g gyorsulásnak felel meg, ami egy nagyságrenddel kisebb, mint az erőmű szerkezeti elemeire megengedett szeizmikus gyorsulás-érték. A szigorúan védett erőműhöz tartozó területeken az adott forrásponton betartandó biztonsági távolságtól függően 1-2 vibrátorral, csökkentett erővel történtek a vibrálások 4–8 sweep alkalmazása mellett. Az Atomerőmű és az RHK Kft. műszaki-biztonsági szervezeti egységeivel kialakított kiváló együttműködés eredményeként a mérés semmiféle károsodással, káros következménnyel nem járt.

A 3D adatgyűjtés mellett külön figyelmet fordítottunk a megbízható statikus korrekció meghatározásához elengedhetetlen felszín közeli szeizmo-geológiai modell megalkotását szolgáló sekély refrakciós és uphole mérésekre is. A 15. ábra mutatja a mérési terület topográfiai modelljét és a sekély refrakciós, valamint uphole mérési pontokat.

A terepi adatgyűjtést folyamatos, különböző szinteken megvalósuló minőség-ellenőrzés kísérte. A minőség-ellenőrzés része volt a regisztrált terepi felvételek mérési geometriájának, jel/zaj viszonyának napi ellenőrzése egy PC alapú munkaállomásra telepített ProMax feldolgozó rendszer segítségével. Itt a felvételek ellenőrzése mellett egy, a beérkező adatokat folyamatosan beépítő 3D terepi előfeldolgozás is készült. Az adatgyűjtés befejezése után pedig egy minőség-ellenőrző brutestack és egy post-stack 3D migrációs adatrendszer is előállításra megtörtént. Ebből mutatunk itt 2 inline migrált időszelvényt (16. és 17. ábra). Az adatok végleges feldolgozása és értékelése folyamatban van.

5. Konklúziók

Az új paksi atomerőművi blokkok megépítését megelőző kiterjedt földtani-geofizikai vizsgálatok legelső fázisaként került sor a 300 km² területet lefedő 3D szeizmikus mérés kivitelezésére. A mérés kitűzött célja a korábbi 2D szeizmikus mérések alapján valószínűsített tektonikai felépítés tisztázása és a földrengés-veszélyeztetettség szempontjából kritikus szerkezeti elemek lehetséges előfordulásának feltérképezése a 3D szeizmikus leképezés segítségével.

A szeizmikus mérési program a körültekintő előkészítés után a tervezett időkereteken belül sikeresen megvalósult. A folyamatos terepi minőség-ellenőrzés biztosította, hogy az igen változékony terepi körülmények és adottságok ellenére (Paksi Atomerőmű, Radioaktív Hulladék Kezelő, lakott területek, védett ártéri erdők, halastavak, ill. maga a Duna folyó) az optimális adatminőség regisztrálása az épített környezet és infrastruktúra bármilyen károsodása nélkül történjék meg. A mérés során okozott, elkerülhetetlen mezőgazdasági károk összege jóval az előzetesen becsült értékek alatt maradt.

A Geomega Kft. által elkészített 3D post-stack időmigrációs előzetes adatfeldolgozás alapján az eredetileg tervezett mélyfúrásos kutatási programot – a fúrások elhelyezését a maximálisan kinyerhető földtani információ érdekében – lehetett optimalizálni. A végleges adatfeldolgozás után előálló 3D pre-stack migrált adatrendszer értelmezésével várhatóan egy igen részletes rétegtani és tektonikai képet fogunk kapni az erőmű tágabb környezetéről.

A tanulmány szerzői

Gombár László, Deák Ferenc

Hivatkozások

- Cudo P., Bialorucki M. (2014), Terepi szeizmikus mérések zárójelentése. Geofizyka Torun, Kézirat – MVM Paks II Zrt. jelentés, 120 o.
- Kudó I., Kalocsay R. (2013), Földtani szerkezetkutatói terv a Paks környéki rétegtani és tektonikai viszonyok megismerése céljából geofizikai mérések kiviteli terve. Geomega Kft., TDE Services Kft., Kézirat – MVM Paks II Zrt. kiviteli terv, 2014. október, 35 o.
- Makarewicz J., Gombár L. (2014), Preliminary interpretation Paks 3D survey – on the basis of QC pocessed data. Geofizyka Torun, Kézirat – MVM Paks II Zrt. jelentés, 2014. október, 42 o.
- Meskó A. (1994), Rugalmas hullámok a földben. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1995, 183 o.
- Nagy L., Chikán G., Horváth F., Tóth L., Horváth T., Sz. Miltényi É., Turczi G. (2013), Földtani kutatási program. SOM SYSTEM Kft., ÁKMI Kft., Kézirat – MVM Paks II Zrt. jelentés, 2013. október, 138 o.