

## Sziklafalak a Dunában

Az elkövetkező évek egyik legjelentősebb fővárosi beruházásának minden bizonnyal a DBR 4-es metró építése ígérkezik. Mind a tervezés, mind pedig a kivitelezés érdekes szakmai kihívásokat tartogat, melyek közül kiemelt érdeklődésre tart számot a Gellért-hegy lábánál tervezett Duna alatti átvezetés.

TÓTH TAMÁS,\*  
BOZSÓ TAMÁS,\*\*  
DR. HORVÁTH TIBOR\*\*\*

**E**zen a vonalszakaszon a Duna által fedett komplex geológia megismerése nemcsak a földtani kockázat csökkentése miatt, hanem a megfelelő fúrási technológia megválasztása szempontjából is kulcsfontosságú.

Korábbi geológiai vizsgálatok, valamint a mederben mélyült fúrások eredményeként, már az itt bemutatott mérések előtt ismert volt, hogy a Gellért-hegyet alkotó triász dolomit összlet a Duna medre alatt is megtalálható, még hozzá olyan kis mélységben, mely a tervezett alagút szempontjából nem közömbös. Kérdéses volt azonban a triász dolomit, valamint a hozzá sok tekintetben hasonló eocén báziskonglomerátum felszínének pontos térbeli lefutása, valamint a kutatási területet harántoló vetőzónák helyzete. Legnagyobb visszhangot azonban az az aggodalom váltott ki, hogy a közismerten értékes hévizet tartalmazó karsztos rezervoár megbolygatása járhat-e nem kívánatos hatásokkal a gellért-hegyi hévforrások hozamára és vízminőségére. Ismerve a terület geológiai összetettségét, a gyors térbeli változásokat, úgy láttuk, hogy a földtani kockázat minimálisra csökkentésében érdemi előrelépést csak a Duna alatti szakasz részletes megismerése hozhat. Úgy ítéltük meg,

hogy ezt egy területi, azaz 3D leképezést nyújtó szeizmikus méréssel lehet elérni. Ezt a mérést 2001 februárjában végeztük, embert és műszert próbáló időjárási viszonyok között.

Mivel a mérés alkalmával mind a mederfenék és a közvetlenül alatta található recens folyami üledékek települési viszonyairól, mind pedig a mélyebb, akár néhány száz méteres mélységet is elérő triász dolomit felszínéről további információkat kellett szerezni, így a többszörös nagy felbontású és az egyszörös

ultra-nagy felbontású szeizmikus mérések együttes alkalmazása látszott célravezetőnek. Az alábbiakban a két mérés kivitelezését, együttes értelmezését, valamint a mérések eredményei alapján levont következtetéseket ismertetjük.

### Szeizmikus kutatás

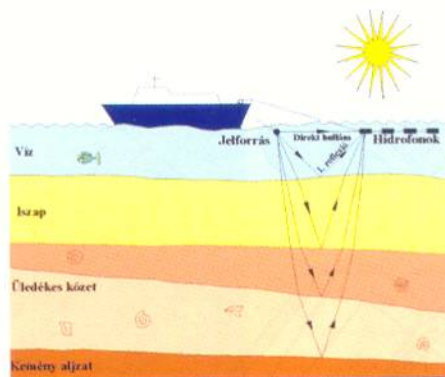
A szeizmikus mérés akusztikus hullámokkal történő kutatás, amely alapvetően az orvosi gyakorlatból ismert ultrahangos vizsgálatokhoz





hasonlít. Eltérő azonban az alkalmazott frekvenciatartomány és a jel energiája. A szeizmikus méréseknél a szeizmikus forrással a hallható hang frekvenciatartományába eső nyomáshullámokat keltünk a felszín közelében. Ezek a nyomáshullámok a felszín alatti rétegekben terjedve az akusztikus szempontból réteghatárként jellemezhető felületeken részben áthaladnak, részben pedig azokról visszaverődnek. Az egyes réteghatárokról visszavert hullámokat és a mérési konfiguráció vázlatát szemlélteti az 1. ábra. A visszaverődő jeleket a felszínen különleges mikrofonokkal, szárazföldön úgynevezett geofonokkal, míg vízben hidrofonokkal észleljük, s digitálisan rögzítjük. Ha egy szelvény mentén haladva helyről - helyre megismételjük a jelgerjesztés és a visszavert hullámok észlelésének folyamatát, fokozatosan kirajzolódik előtűnik a mélybeni réteghatárok szeizmikus képe. Azok a réteghatárok fognak szelvényünkön megjelenni, melyek mentén az akusztikus impedancia, azaz a sűrűség és a nyomáshullám terjedési sebességének szorzata megváltozik. A réteghatár képe annál erősebben rajzolódik ki, minél jelentősebb a változás.

Fontos kérdés, hogy milyen mélységig „látunk” le ezzel a módszerrel, s milyen részletességű a kapott kép, milyen távolságra lévő réteghatárokat tudunk elkülöníteni egymástól, azaz mekkora a mérési módszer behatolása és felbontóképessége. Ezt a két, egymástól nem független paramétert a méréskor alkalmazott nyomáshullámok energiája mellett elsősorban azok frekvenciája határozza meg. Kisfrekvenciájú jelekkel (néhányszor 10 Hz) több kilométeres mélységek is kutathatók, de csak 10–100 méteres felbontással, míg nagyfrekvenciás jeleket használva akár 10 centiméteres felbontást is elérhetünk, ám cserébe drasztikusan csökken a behatolási mélység, optimális esetben is csak néhányszor 10 méteres mélységig „látunk le”. Mérésünk során két különböző frekvenciatartományt alkalmaztunk. A többcsatornás nagy felbontású szel-



**1. ábra. A vízi szeizmikus mérés elvi sémája. A hajó mögött vontatott jelforrás által kibocsátott nyomáshullámok az egyes réteghatárokról részben visszaverődnek. Ezeket a visszavert jeleket kell a felszín közelében elhelyezett érzékelőkkel (hidrofonok) detektálni**

vényezés az 50–500 Hz, míg az ultranagy felbontású egycsatornás szelvényezés az 1–10 kHz frekvenciatartományt használta. Az előbbi esetben mintegy 200 méteres mélységig terjedő tartományt tudunk leképezni néhány méteres felbontással, míg az egycsatornás mérésnél elérhető deciméter alatti felbontás is, de csak a felső 5–10 méteres mélységig kapunk értelmezhető jeleket.

Az egycsatornás méréskor a mérési konfiguráció egy jelforrásból és egy hidrofonsoportból állt, míg a többcsatornás mérés alkalmával a visszavert nyomáshullámokat több, a jelforrástól egyre nagyobb távolságban elhelyezett hidrofon regisztrálta. Így elérhető volt, hogy egy gerjesztéssel több mélybeni pontról kapjunk egyszerre információt. A mérési elrendezést a szelvény mentén mozgatva az egymást követő gerjesztések során egy adott pontról visszavert jeleket más-más hidrofonok rögzítik. Ezeket a megfelelő korrekciók elvégzése után összegezve felerősítjük az erre a pontra jellemző szeizmikus jelet, javítva a mérés jel/zaj arányát. A többcsatornás méréseknél lehetőségünk nyílik további számításokra is, amelyek segítségével például meghatározhatjuk a rugalmas hullám terjedési sebességét az adott közegben. A nagyobb megbízhatóságnak és a több-

csatornás rendszerrel nyerhető pluszinformációnak az egycsatornás mérőeszköznél jóval bonyolultabb, drágább és nehezebben mozgatható mérőrendszer az „ára”.

A szeizmikus szelvényeket egy első látásra szokatlan koordinátarendszerben ábrázoljuk. A vízszintes tengelyen a szelvény menti távolság, azaz a vízszintes elmozdulás, míg a függőleges tengelyen a kétutas futási idő van feltüntetve. Ez alatt az idő értendő, ami alatt a nyomáshullámok a jelforrástól kiindulva eljutnak az őket visszaverő mélybeni réteghatárig, majd onnét visszaverődve a felszínen lévő észlelési pontig. Ez alatt a felszín és a réteghatár közötti utat kétszer futják be. A kétutas futási időből az adott közeg terjedési sebességének ismeretében számítható a réteghatár tényleges mélysége.

## Egycsatornás vízi szeizmikus mérés

Az egycsatornás szeizmikus méréseket igen sűrű kereszt- és hosszirányú szelvényhálózat mentén (2. ábra) végeztük egy egycsatornás szeizmikus mérőműszerrel. A műszer egy katamarán úszótestre erősítve tartalmazza mind a forrást, mind pedig az érzékelőként használt hidrofont (3. ábra). Speciális tervezésének köszönhetően kis vízmélységnél, valamint akusztikus zajforrások (pl. hajómotor) közelében is kiemelkedően jó jel/zaj arányú mérést tesz lehetővé, így kiválóan alkalmas a hazai tavak és folyók mederfenék-morfológiájának, illetve a mederfenék alatti rétegsor vizsgálatára. A Duna Szabadság híd környéki szakaszának felmérésekor szokatlan nehézséget jelentett a víz erős sodrása, a hídpillérek környezete, a mögöttük kialakuló áramlási örvények, valamint az igen alacsony vízállás miatt a partközeli sekély területek. Mindezek ellenére megkíséreltük a terület homogen, átlagosan 2 pont/m<sup>2</sup> mérési lefedettségét biztosítani. Több mint 192 000 pontban végeztünk mérést, ami közel 2 Gb-át digitálisan rögzített terepi adatot eredményezett.

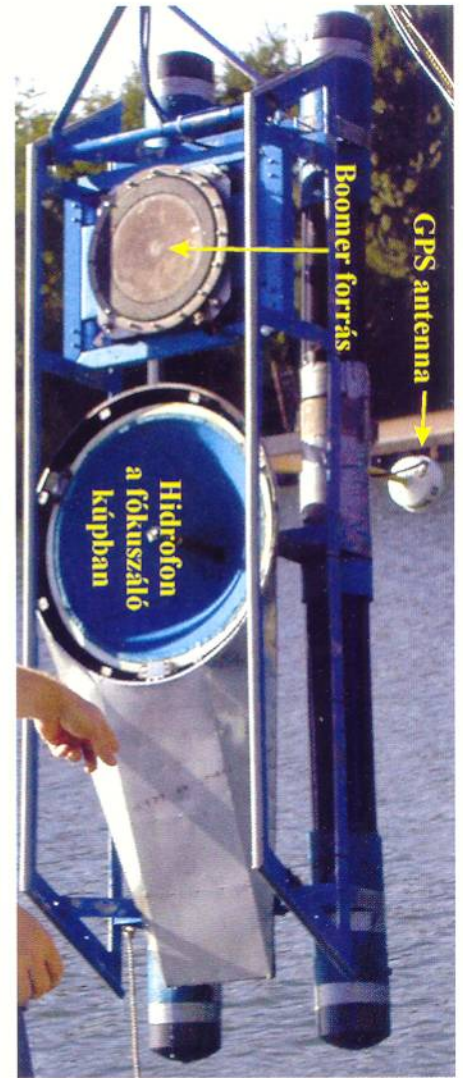




2. ábra. A Duna Szabadság híd alatti szakaszán végzett egycsatornás ultranagy felbontású szeizmikus szelvényezés helyszínrajza. A területet kereszt- és folyásirányú szelvények együttes hálózatával mérték fel

A vizsgálathoz a folyóvízi mérések-nél rutinszerűen alkalmazott, DGPS alapú navigációs és pozicionálási rendszert nem tudtuk kizárólagosan használni. Ennek oka a felméréndő területet keresztező Szabadság híd műholdakat kitakaró hatása volt. Alternatív pozicionálási lehetőségként kínálkozott az automatikus követési funkcióval rendelkező, parti fix ponton felállított lézeres teodolit alkalmazása, ami reményeink szerint akár a DGPS berendezés méteres pontosságánál megbízhatóbb pozícióadatokat is eredményezhetett volna. Hátránya volt viszont, hogy a

székesfehérvári Jáky József Szakközépiskola szíves közreműködésével rendelkezésünkre álló műszer nem rendelkezett valós idejű rádiós adatátvitellel, így navigációs célokra nem tudtuk használni. Végül a két rendszer együttes alkalmazása mellett döntöttünk. A 4. ábra a mérőműszert, valamint a középpontja fölé rögzített GPS antennát és a 360°-os látószögű prizmat mutatja. Egyszerűnek tűnő megoldás lehetett volna csak a lézeres teodolit adatait használni a végleges koordináták előállításakor, ezt azonban több okból is elvetettük. Legfontosabb ellen-



3. ábra. Az egycsatornás szeizmikus IKB-Seistec alulnézeti képe a főbb részegységek megjelölésével. Mérés közben mind a jelforrás (boomer), mind pedig az érzékelők (hidrofoncsoport) a víz alatt található

érvként a lézeres teodolit adatainak nem teljes területi lefedése jelentkezett. A híd pilléreinek megkerülésekor a prizma és a teodolit közti látótérbe kerülő pillér folytonossági hiányokat eredményezett az adatrendszerben. Szintén hasonló problémák adódtak egyes napszakokban a terület egyes részein a víz felszínén tükröződő erős ellenfény zavaró hatása miatt. Végül, de nem utolsósorban azt tapasztaltuk, hogy bár vertikális felbontásban a lézeres teodolit pontossága mintegy két nagyságrenddel jobb, mint a DGPS adatrendszeré, a mérés szempontjából fontosabb, vízszintes irá-





4. ábra. Az egycsatornás mérés eszköze, valamint az alkalmazott pozicionálás. Differenciálisan korrigált GPS és automatikus követésű lézeres teodolit együttes alkalmazásával lehetett megoldani a kellő pontosságú, navigációt is lehetővé tevő helymeghatározást az egész felméréndő területen. A képen a GPS antenna és a lézeres teodolit 360°-os prizmjája látható egymás felett, a mérőműszer geometriai középpontjában



5. ábra. A többcsatornás mérés egyes szelvényeihez tartozó forrásponatok nyomvonala. A mérés során összesen 46, közel folyásirányú vonalpárral mérték fel



6. ábra. A többcsatornás mérés műszereinek vízbe helyezése. A két hidrofunkábel végét jelölő bólya zászlója fölé erősítve látható a két GPS egység. A hidrofunkábelek még a dobon találhatók, mellettük a piros, szárnyakkal ellátott mélység szabályzó. Középen, a komp végén látható a forrást tartó bólya, rajta a teodolit prizmjával. A 22. oldali képen a komp és a mögötte elhelyezkedő vontatmány látható felülnézetben. A nagy nyomású levegőt előállító kompresszor, valamint a mérési adatokat rögzítő számítógépek a kompon látható konténerekben kaptak helyet. (Tóth Gyula, MTI fotó)

nyú pontosságuk közel megegyezett. Ennek a meglepő eredménynek a mérés módjában rejlik a magyarázata. Míg a DGPS rendszer nagy pontossággal a megadott 1 másodperces időközönként rögzítette a mérési pontok helyét, addig a lézeres teodolit leggyorsabban 3-5 másodpercenként volt képes a pozíció rögzítésére, és a mérés idejét másodpercponosan tárolta. Az egyes mérések között eltelt időt az aktuálisan fellépő követési feladat bonyolultsága befolyásolta. Mint azt analízisünk során megállapítottuk, a mérési intervallum több másodperces szórást mutat, így biztos, hogy a másodpercponosan rögzített időadatok  $\pm 0.5$  másodperces hibával terheltek. Ez az átlagosan 1 m/s-os vontatási sebesség mellett  $\pm 0.5$  méteres hibát eredményez, ami megegyezik a DGPS adatrendszer pontosságával.

### Többcsatornás szeizmikus mérés

A többcsatornás szeizmikus mérések célja nagyobb mélységek (30–250 m) szeizmoakusztikus vizsgálata volt. A feladatnak megfelelő-

en itt nagy energiájú jelforrást és két párhuzamos, egyenként 24 csatornás, 75 m hosszú hidrofunkábelt alkalmaztunk a visszavert akusztikus hullámok észlelésére. Az összességében közel 140 m hosszú vontatmánnyal csak a folyásiránnyal szemben haladva lehetett méréseket végrehajtani, ezért igen sűrű, közel párhuzamos szelvényhálózat mentén végeztük a felmérést (5. ábra), majd az így regisztrált szeizmikus csatornákat a speciális feldolgozási lépések végrehajtása, illetve az értelmezés előtt egy 3D szeizmikus tömbbe rendeztük át.

A jelforrásként egy úgynevezett watergunt használtunk, mely 2000 PSI nyomású levegő segítségével, robbanásszerű gyorsasággal löki ki a kamrájában tárolt vizet. A kirobbanó víz kelti azokat a nyomáshullámokat, melyek a felszín alatti réteghatárokról visszaverődnek. Az észlelés két, egymással párhuzamosan vontatott, egyenként 24 csatornás hidrofunkábellet történt összesen 2 x 46 mérési vonal mentén. A mérőműszereket egy kompon helyeztük el, amit egy vízibusz vontatott. A műszerek vízbe helyezése egy mérési



vonali kezdetén, valamint a vontatmány felülnézeti képe mérés közben látható a 6. ábrán.

Érdekes kihívást jelentett a forrás, valamint a vízfelszín alatt úszó 2 x 24 hidrofon mindenkori pozíciójának meghatározása. A horizontális helymeghatározást két, a kompon egymástól 12 méterre elhelyezett, valós időben differenciálisan korrigált Trimble ProXRS GPS vevővel, a két hidrofonkábel végén rögzített utólagosan korrigált GeoExplorer II-es GPS

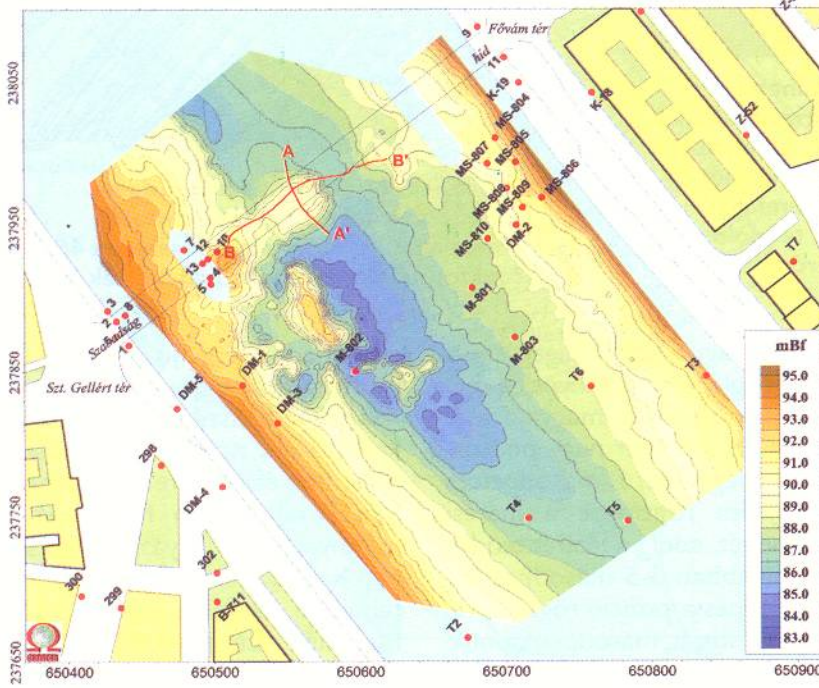
berendezésekkel, valamint közvetlenül a forrás felett elhelyezett lézeres teodolit prizmájával oldottuk meg.

A horizontális helyzet mellett az egyes hidrofonok felszín alatti mélységének időbeli változását is rögzítettük. Erre a kábelek mentén elhelyezett két-két mélységszabályzó adott lehetőséget, melyek a központi számítógéppel folyamatosan kommunikálva nemcsak a mélységüket megadó nyomásértéket jelezték, hanem szervomotorjaik se-

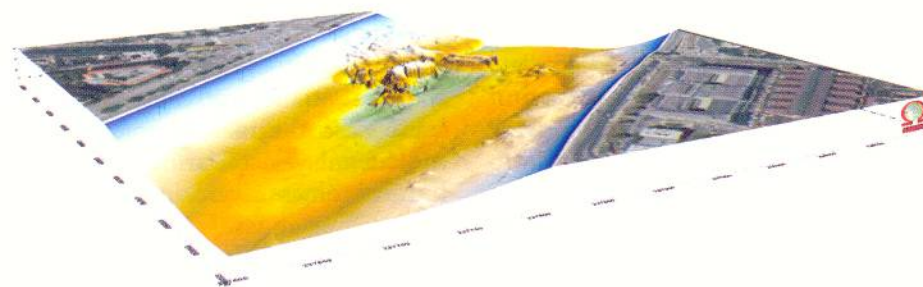
gítségével szárnyaik szögállását is úgy változtatták, hogy a hidrofonkábelek a kívánt mélységben maradjanak.

## Mérési eredmények

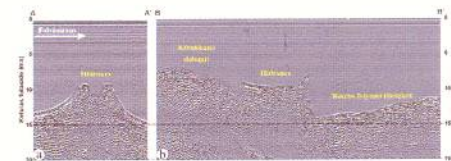
Az egycsatornás mérés egyik fontos új eredménye egy olyan részletességű mederfenéktérkép, amely az egyik legfontosabb kérdésre adott közvetlen választ. Ez a kérdés az volt, hogy a tervezett nyomvonal mentén kis mélységben, esetleg a Duna mederfenekén található-e a nyomvonalválasztást befolyásoló triász dolomit rögök. A mederfenék domborzati térképe (7. ábra) nem a szokásos morfológiát (lapos, közel U alakú völgy) mutatja, hanem ettől több helyen is markánsan eltér. A Szabadság hídtól északra, a budai part közelében, nagy szárazság idején a Dunából kiemelkedő dolomit szikla (Ínségkő) jelentkezik, nagyjából a meder szélességének egyharmadáig. A hajózási útvonal ettől beljebb található, a folyó tengelyében, ahol egészen 85.5 mBf szintig mélyül a meder. A Szabadság híd közepe alatt is látványos mederfenék-kiemelkedésekkel találkoztunk, ennek oka azonban nem geológiai. Itt a II. világháborúban berobban-



7. ábra. Az egycsatornás szeizmikus mérés alapján készített mederfenék-morfológia a Gellért-hegytől közvetlenül délkeletre eső Duna-szakaszon. Az A-A' és B-B' nyomvonalak a 8. a., illetve 8. b. ábrákon bemutatott két szeizmikus szelvény helyét jelölik. A térképen feltüntetettük a területen mélyült fúrásokat, valamint azok neveit. (EOV koordinátarendszer)

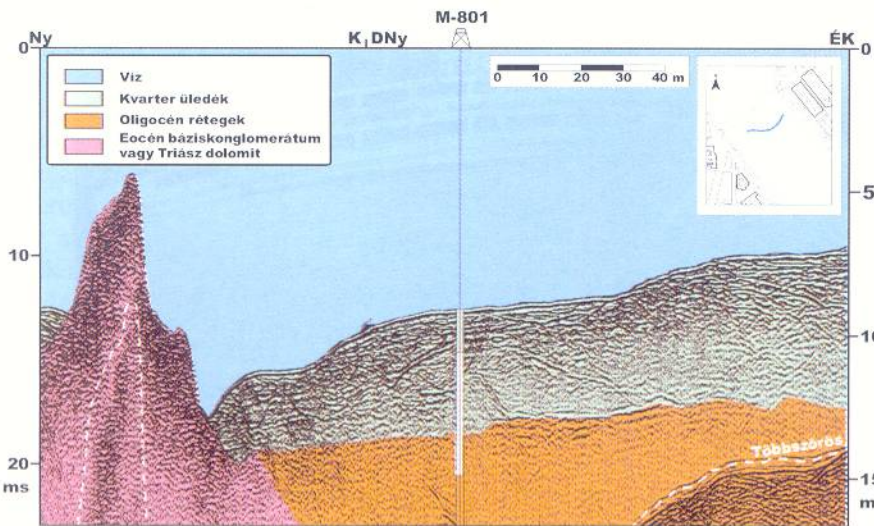


9. ábra. A mederfenék domborzati képe délkeleti irányból nézve. Az ábra vertikális túlmagasítása kétszeres, a megvilágítás északról 60 fokos szöget bezáróan, északkeleti irányból történt



8. a-b. ábra. A Szabadság híd alatt mért folyásirányú (A-A'), illetve keresztirányú (B-B') egycsatornás szeizmikus szelvények. A szelvényeket a mederfenék morfológiájában is anomális kiemelkedést mutató, egykori Ferenc József híd felett mérték. Az a) ábrán a mederfenékből ma is kiemelkedő két tartószerkezetroncs által generált diffrakciós hiperbolák láthatók. A b) ábra viszont nemcsak a mederfenékből kiemelkedő hídroncsot, hanem a budai rakpart előterében kibukkanó dolomitrétegeket, illetve a pesti oldalon a recens folyami üledéket is mutatja

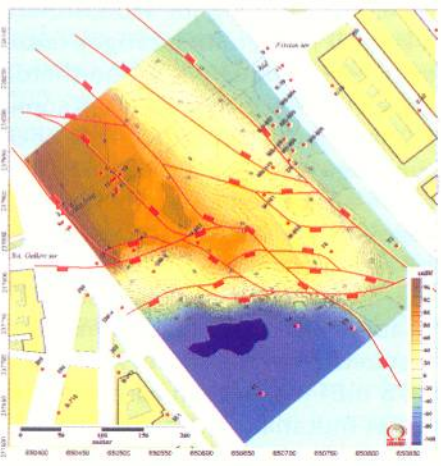




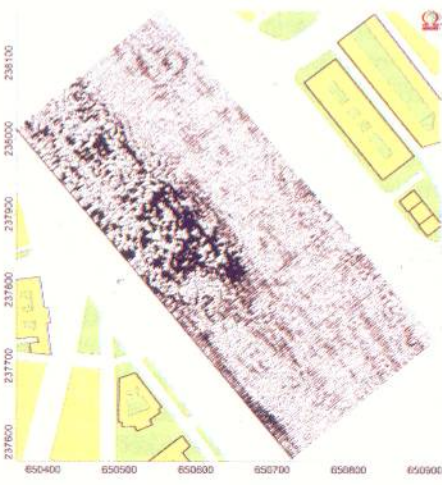
10. ábra. A mederfenéken kibukkanó triász dolomit rög képe az egycsatornás szeizmikus szelvényen. A mérés nyomvonalát a térképrészleten jelölt vonal mutatja. A szelvény vertikális túlmagasítása közel tízszeres. A szelvényen feltüntetett M-801-es fúrás rétegsorában fehérrel jelölt szakasz a magmintahiányt jelzi

tott Ferenc József híd roncsai és az azt betemető dunai üledékek vannak. A ki nem emelt roncsok jól azonosíthatók, és egyértelműen jelentkeznek a 8. a-b. ábrákon bemutatott két egycsatornás szeizmikus szelvényen is. Ezek egyikét (8. a.) a

híddal párhuzamosan, míg a másikat (8. b.) rá merőlegesen mértük. A 3-4 méterrel a fenék fölé magasodó roncsokat a Szabadság híd középvezonától a budai pillérig és a pesti pillér környezetében is megtaláltuk.

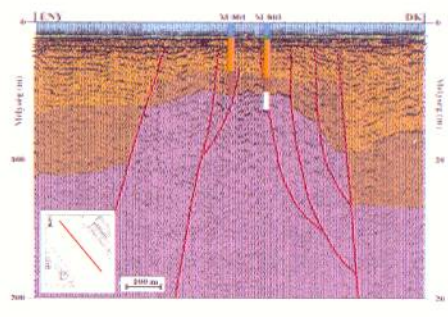


11. ábra. A triász rétegek fedőjének mélysége, valamint a területen térképezett tektonikai elemek. (EOV koordinátarendszer)



12. ábra. A 3D szeizmikus adatrendszer 75 mBf mélységben készített metszete. A nagy amplitúdójú, környezetétől markánsan eltérő szeizmikus faciesű terület azt a térrészt jelöli ki, ahol a triász rétegek elérik a 75 mBf feletti szintet. (EOV koordinátarendszer)

Mint azt a 9. ábrán bemutatott perspektivikus kép is egyértelműen mutatja, a budai hídpillértől folyásirányban lefelé, a budai part közelében rendkívül tagolttá válik a mederfenék. Itt egy, a meder síkjából 5-7 méterrel kiemelkedő szirtvonulat húzódik. A szirtvonulat két markánsan elkülönülő részre tagolható. Az északi (nagyobb) része egy, a mederbő mintegy 6 méterrel kiemelkedő, folyásirányban 60 m, keresztirányban 20-30 m széles tömb, melynek a Duna áramlását befolyásoló hatása még közepes vízállásnál is nyilvánvalóan látszik a folyó felszínén. Az ettől délre elhelyezkedő szirtvonulat erősen tagolt, kisebb horizontális kiterjedésű (5-10 méteres), de ez is 1-3 méterrel kiemelkedik a mederfenékből. A fúrási adatok és a szeizmikus szelvények értelmezése alapján egyértelműen megállapítható, hogy ezek a szirtok triász dolomitból és rájuk települt eocén mészkövekből álló tömbök. Ezeket víz által kimosott árkok (84-85 mBf) választják el egymástól. Pontosan egy ilyen árokba mélyült az M-802 jelű fúrás, mely szinte teljes mélységében porszerűen összetört eocén bazis-konglomerátumot és triász dolomitot



13. ábra. A 3D mélységmigrált adatrendszer I-56-os metszete. A metszet helyét a térképészleten piros vonal jelöli. A szelvény közepén jól látható az M-803-as fúrás által is elért, kiemelt helyzetű triász rétegsor, valamint annak délkeleti és északnyugati levetése





harántolt. Ezt a szinte kohézió nélküli anyagot a Duna gyorsan erodálja. A tagolt morfológia tehát azt mutatja, hogy a kimosott árkok és az erózióknak jobban ellenálló dolomittömbök alkotják a mederfeneket. A dolomitkibukkanások környékén rendkívül meredek, több helyen is függőleges sziklafalak találhatók a Duna medrében.

A mederfenékből kiemelkedő triász dolomit rög egycsatornás ultranagy felbontású szeizmikus képe látható a 10. ábrán. Az ábrán nemcsak a mederfenék morfológiája és a kiemelt helyzetű triász blokk figyelhető meg, hanem a fiatal dunai hordalék bázisa is jól azonosítható. Érdekes, hogy a szeizmikus mérések alapján a dunai hordalékok alja esetenként pontosabban azonosítható, mint a mederben mélyült fúrásokban, mert ebből az összletből az üledékek konszolidátlansága miatt rendkívül nehéz a magminta vétel.

A többsatornás szelvények és a területre eső fúrási adatok együttes értelmezése alapján a folyó hordaléka által elfedett összlet főbb rétegtani egységei is térképezhetők voltak. Ezek az oligocén bázisa, illetve a triász dolomitból és az eocén báziskonglomerátumból álló együttes összlet fedője. Az oligocén üledékek

fekéje a megkutatatott területen 25 méterrel a Balti-tenger szintje alatti mélység és a Duna mederfenéke közötti tartományban található, legmélyebb helyzetű a terület déli részén, a budai rakpart előterében. Ezen a jól rétegzett, szinte vízszintes településű részen mélyültek a T-2, T-4 és peremi helyzetben a T-5 fúrások (8. ábra). A DM-3 és a DM-4 fúrások már kiemeltebb helyzetben mutatják az oligocén képződményeket. Egy felszín alatt eltemetett, kiemelt blokkot harántoltak szinte azonos mélységben a T-6, M-801 és M-803 jelű fúrások. A mederfenéig emelkedik az aljzat a Szabadság hídtól délre a budai part előterében. Ezek a szintkülönbségek tektonikus eredetű törésvonalakhoz kapcsolódnak. A triász földolomit vagy az eocén báziskonglomerátum fedőjét a Duna alatt mindössze két fúrás, az M-802 és az M-803 jelű érte el, a többsatornás szeizmikus mérések segítségével azonban a teljes Duna alatti felmért területen térképezhetővé vált e felszín morfológiája (11. ábra). A térképezett terület déli részén található a triász összlet a legmélyebb helyzetben, 100 méterrel a Balti-tenger szintje alatt.

A többsatornás szeizmikus mé-

rés eredményei alapján a felmért terület három fő részre osztható:

1. A terület déli részén nagy mélységig (100–200 m) követhetők a nyugodt településű rétegek. Ennek a területnek az északi határát a triász aljzat gyors emelkedése adja.

2. A Duna középső szakaszán a Szabadság hídtól délre mintegy 200 méteres távolságig jól azonosítható a kiemelt helyzetű triász rögök felszíne. Egyértelműen elkülöníthetők azok a területek, melyeken a dolomit a mederfenék közvetlen közelében van, vagy kibukkan a mederfenéken, illetve azok a területek, ahol a triász rögök még eltemetve, de viszonylag kis mélységben (40–50 mBf) található. Ennek térbeli kiterjedése a 3D adatrendszer vízszintes síkú mélységmetszetein is vizsgálható. A 12. ábra a 75 mBf mélységben készített metszetet mutatja. A nagy amplitúdójú reflexiókkal jellemezhető, környezettől markánsan eltérő (az ábrán fekete) térrész az, ahol a triász összlet eléri ezt a kis mélységet. Ennek bizonyítékát szolgáltatta az M-803-as fúrás. A 13. ábra egy olyan folyásirányú, függőleges metszetet mutat, mely a triász dolomit mederfenéken történő kibukkanásától keletre húzódik. Jól látható, hogy a triász



dolomit itt is kiemelt helyzetű, de nem éri el a mederfenéket.

3. A pesti rakpart közelében a triász aljzat jelentős mértékű süllyedését mutatják a fúrési adatok. Ennek a süllyedésnek csak a peremét sikerült leképezni a szeizmikus mérés alkalmával, a mérési eredmények a pesti part közelében kevésbé részletesek. Ennek oka egyrészt a kis vízmélység, másrészt pedig számos, a mérést nehezítő, vagy lehetetlenné tevő hajózási akadály volt.

A terület tektonikai elemzésekor a legtöbb információt a többszörös szeizmikus mérés eredményei jelentették. A teljes területet lefedő 3D tömbszelvény részletes analízise, az egyszörös szeizmikus mérési eredményekkel és a rendelkezésre álló fúrési adatokkal együtt jelentős előrelépést eredményezett a Dunameder alatti rétegekről korábban rendelkezésre álló ismeretekhez képest. A 11. ábra együtt ábrázolja a triász dolomit és eocén báziskonglomerátum felszínét (színezett szintvonalas térkép) és a törésvonalakat.

A triász felszín morfológiájából kitűnik, hogy a törésvonalak között jelentős különbség van az elvetés mértékét illetően. A pesti rakpart előterében a már említett, közel Duna csapású vető zárja le a kiemelt triász rögöket, míg déli irányban egy kelet-nyugati csapású vető mentén kerül az aljzat 200 méterrel a felszín alá. A térképezett szerkezeti elemek jól illeszkednek a regionális tektonikai képbe. A Budai hegységben kitüntetett tektonikai irány az Ördögárok lefutásának ÉNY-DK-i irány. Ennek megfelelően a Dunával, illetve a Gellért-hegy peremtörésével megegyező irányú vetőzóna mint egyik domináns irány egyértelmű a területen. A másik fő csapásirány a kelet-nyugati, mely mind a mederfenék morfológiájában, mind pedig a triász blokkok déli peremén markánsan észlelhető. E kulisszásan ellépő vetőrendszer mentén található a Gellért fürdő forrásbarlangja, valamint a mederfenéken kiemelt helyzetben észlelt déli triász rög.

A geofizikai kutatáskor feltérképezett eocén-triász felszín gyakorlati haszna a metrónyomvonal kiválasztá-

## SUMMARY

High-resolution multichannel and ultra-high resolution single-channel seismic data has been collected on river Danube, inside Budapest by Geomega Ltd., Hungary and Exploration Electronics Ltd., UK. The aim of the survey was to get a 3D image of the water bottom morphology and sub-bottom geology in front of Gellért-hill. The karstic dolomite of Gellért-hill is a major hot water reservoir with a discharge at the famous Gellért-springs and a set of other thermal springs further to the North along the river Danube. Drilling data indicated that Triassic dolomites are present at shallow depth below the river bottom at this particular part of the Danube too. Subriver morphology of the Triassic dolomites and their fault system before the survey, however, was not known accurately enough to assist the planning of the new underground tunnel below river Danube. The presented geophysical survey significantly improved the understanding of the subsurface geology in the area and reduced the ambiguities for the planning of the tunnel.

sában, illetve módosításában jelentkezett. Vízüdelmi szempontból e felszíntől kétszeres átmérő távolságra helyezett alagút építéskor kialakuló feszültség-átrendeződés nem rontja az alagút környezetében lévő vízzáró és állékony kőzetanyagot. Egyszerűsítve a problémát a „módosított” nyomvonalat úgy határoztuk meg, hogy a 75 mAf magasságú síkban fekvő korábbi nyomvonalat a síkban úgy mozdítottuk el dél felé, hogy az a tér minden irányában legalább 12 m távolságra legyen a geofizikai mérésekkel kimutatott triász-eocén felszíntől. Az alagút kétszeres átmérő környezetében a földtani tények és a geofizikai mérések alapján csak az oligocén tardi agyag jelenhet meg, amely a földtani-hidrogeológiai szakemberek

és tervezők által jól ismert, vízzáró és megfelelő szilárdságú réteg. Másképpen fogalmazva ez azt jelenti, hogy a hévizet tároló kőzetet mindenféle szennyeződéstől, hatástól egy természetes településű, vízzáró, kemény agyagréteg védi. A tervezett alagutak a módosított nyomvonal mentén a veszélyesnek mondható karsztos határfelületről, barlangoktól vízvédelmi szempontból is megfelelő távolságra kerültek. A védelmet csak tovább fokozza a mai alagútépítő pajzsok műszaki megoldása. Ezek zárt rendszert alkotnak, amelyek alkalmazásakor sem a pajzsból, sem a pajzsba víz nem törhet be.

## Összefoglalás

A Budapest belvárosában, a Dunán kivitelezett 3D vízi szeizmikus mérés kitűnő lehetőséget jelentett a Gellért-hegy délkeleti peremének vizsgálatára. A nehéz hajózási és navigációs körülmények mellett sikeresen végeztük el a terület háromdimenziós leképezését, a triász dolomit térbeli lehatárolását. A világszerte egyedülálló mérés nemcsak tudományos, hanem a tervezett metró Duna alatti átvezetése kapcsán mérnöki szempontból is fontos eredményeket szolgáltatott azzal, hogy a metróalagút nyomvonalát úgy lehetett módosítani, hogy az megfeleljen a magas szintű víz- és környezetvédelmi követelményeknek.

## Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönettel tartoznak a BKV Rt.-nek, valamint az Eurometro Kft.-nek azért, hogy hozzájárultak a megrendelésükből végzett kutatás eredményeinek bemutatásához. Köszönet illeti mindazokat a kollégákat, akik a mérés kivitelezése, feldolgozása és értelmezése során segítségünkre voltak, különös tekintettel az ELTE Geofizikai, Földtani, valamint Térképtudományi tanszékeinek, az Exploration Electronics Ltd., UK és a székesfehérvári Jáky József Szakközépiskola munkatársaira.

\* GEOMEGA KFT.

\*\* EUROMETRO KFT.

\*\*\* GEOVIL KFT.