

Szökevényforrások kimutatása szonárreflexiók alapján a Szabadság híd környékén

Detecting drawn springs by sonar reflections in the vicinity of Szabadság Bridge

PRÓNAY ZSOLT¹, TÖRÖS ENDRE¹, MISKOLCZI RITA²

¹ Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, 1145 Budapest Kolumbusz u. 17–23.

² Bátatom Kft., 1021 Budapest, Hűvösvölgyi út 54.

Tárgyszavak: szökevényforrás, Duna, szonár

Összefoglalás

2001-ben az ELGI Mérnökgeofizikai Főosztálya a DBR Metró Kft. megbízásából szonárméréseket végzett a Duna Szabadság híd alatti szakaszán, ahol a tervezett 4-es metró nyomvonala keresztezi a folyót. A szelvényeken látott fenék feletti reflexiókat szökevényforrásoknak értelmeztük. Az azóta eltelt időben matematikai és fizikai modellezés segítségével igazoltuk, hogy a két különböző hőmérsékletű víztömeg határáról mérhető amplitúdójú reflexió kapható. Mindezek megerősítették az akkori értelmezésünket. A cikk megírásának az adja az aktualitását, hogy várhatóan hamarosan megkezdik a metróalagút építését, mely érintheti a Szt. Gellért tér környéki hévízforrások.

Key words: drawn spring, Danube, sonar

Abstract

In 2001 Engineering Geophysical Department of ELGI (Loránd Eötvös Geophysical Institute of Hungary) was involved by the contract of DBR Metró Ltd in the sonar measurements for investigating the morphology of the river bed in the vicinity of the location where the proposed 4th metro line (Budapest, Hungary) crosses the river Danube. The sonar sections showed some wave arrivals, which were considered to be reflections from hot drawn springs. Since that time by mathematical and physical modelling it was demonstrated that temperature difference in the water produces reflections with measurable amplitude. On that way our interpretation of that time was proved. The paper becomes timely because the excavation of the tunnel will be started in the near future and the hot springs nearby Szt. Gellért Square can be influenced by the construction works.

Bevezetés

A szökevényforrások valamilyen felszíni víz szintje alatt eredő források. Kimutatásuk problémája 2001-ben, a tervezett budapesti 4-es metróvonal Duna alatti szakaszának vizsgálata során vetődött fel. Az ott mért szonárszelvényeken olyan jelenségeket fedeztünk fel, amelyeket addigi tapasztalataink alapján nem tudunk megmagyarázni. A lehetőségek végiggondolása során jutottunk el annak a feltételezéséig, hogy az azonosíthatatlan jeleket meleg víz beáramlása okozhatja.

A cikk megírásának különös aktualitását az adja, hogy várhatóan nemsokára megkezdődik a metróalagút fúrása, amely érinti az ELGI által 1999-ben talált sasbércet, és az esetleges hévízbetörés következtében károsodhatnak a közeli fürdőket ellátó kutak.

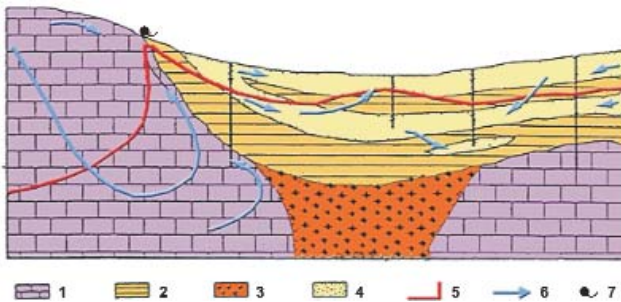
A szökevényforrások helyének kimutatása bizonyos szempontból egyszerűbb, mint a tradicionális szeizmikus kutatás, ugyanis a feladat megoldásához a földtani rétegsor adataira nincs szükség, elegendő magának a víznek a vizsgálata.

A szonár frekvenciája az ultrahang tartományába esik, ezért a jó felbontás és a nagyobb frekvencián jelentkező kisebb külső zajszint miatt olyan jelenségek is kimutathatók lehetnek, amelyeket más módszerek nem tudnak leképezni.

Rövid hidrológiai áttekintés

Budapest területét a Duna vonala morfológiai alapon a Pesti-síkságra és a budai oldali hegyvidékre osztja fel. Földtani szempontból a Budai-hegység karsztosodott triász

és eocén kőzeteivel a Dunántúli-középhegységgel közös vízrendszert képez. A kőzetekbe beszivárgó csapadékvíz a karsztban lefelé áramlik és a földi hőáram hatására felmelegszik. Ez a víz részben az utánpótlódó karsztvíz hidrosztatikai nyomása és eltérő fajsúlya, részben a pesti oldali impermeabilis oligocén agyagmárga rétegeinek torlasztó hatása miatt a területet kettéosztó törésvonalak mentén kerül a felszínre (ALFÖLDI 1979, LORBERER 2002). A víz útja és a melegvíz keletkezésének elve az 1. ábrán látható.



1. ábra. A budai hévízrendszer elve (LORBERER 2002)

1 – karsztos kőzet (vízvezető), 2 – agyag, agyagmárga, iszapos képződmények (vizzáró, féligáteresztő), 3 – magmás képződmény (nem vízadó, vizzáró), 4 – homok, homokkő (vízvezető), 5 – 30 °C-nál melegebb vizet adó tartomány, 6 – áramlási irány, 7 – karsztos hévízforrás

Figure 1. The scheme of Budapest's karstic hot water system (after LORBERER 2002)

1 – karstic rock (permeable), 2 – clay, marl and muddy formations (impermeable, semipermeable), 3 – magmatic formations (non aquiferous, impermeable), 4 – sand, sandstone (permeable), 5 – zone of water temperature >30 °C, 6 – flow direction, 7 – karstic hot spring

A Duna vonalában lévő törésvonalak mentén két felszín alatti vízárnyalási rendszer közvetlenül érintkezik. Nyugat felől a nyílt tükkrű karszt nem nagy mélységbe beszivárgó vize, keletről pedig a forró és meleg vizes mélykarszt vize ugyanazon törési rendszer mentén áramlik a felszínre (VENDEL, KISHÁZI 1963–64).

A legtöbb forrás és kút a József-hegy tövében, a Lukács és Császárfürdők területén található. A 20-30 °C-os langyos források a Malom-tó körüli magasabb térszínen, a 40-65 °C-os hévízforrások a Duna-terazon fakadnak. Ettől északra az Óbuda-Rómaifürdő-Csillaghegy-Békásmegyertérségében csak langyos víz, délen a Rác, Rudas és Gellért-fürdőknél pedig csak 33-47 °C-os meleg források fordulnak elő. Az eltérések oka a források utánpótlási területének helyzete és földtani felépítése, valamint a felszín alatti vizek áramlási pályáinak különbözősége.

A szökevényforrások

Azokat a forrásokat, amelyek felszínre bukkanása valamely felszíni víz medrében a víz szintje alatt van, szökevényforrásoknak nevezzük. Keletkezésük oka a morfológiai viszonyok mellett sokszor a forrásjáratot „prefabrikáló” törés szűk keresztmetszete, ami miatt a víz több magasságban kénytelen a felszínre jönni. Ez utóbbi esetben a víz-

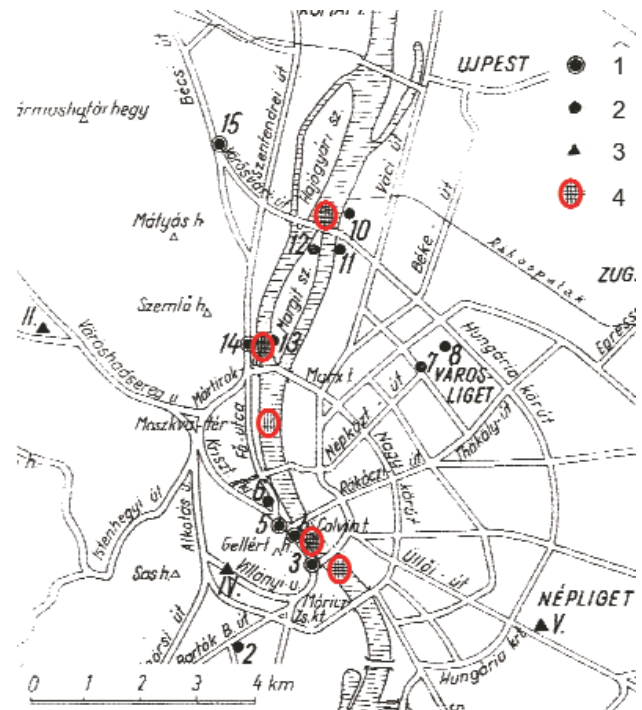
folyás medrében fakadó források mellett rendszerint a paron is találunk állandó, esetleg árvízi forrást (JUHÁSZ 1987).

A Duna medrében feltörő hévízforrások pontos helyét egy-két kivételtől eltekintve (a Gellért-hegy lábánál fakadó) nem ismerjük, az elszökő víz mennyiségére és hőmérsékletére vonatkozó adataink nincsenek. A vonatkozó irodalomban a szakemberek három jelentős forrascsoport-előfordulást különböztetnek meg (ALFÖLDI et al. 1968):

1. Gellért-hegyi csoport a Gellért-fürdő és Rudas-fürdő közötti Duna-szakaszon;
2. Lukács-Császárfürdői csoport a Margit-híd budai hídfőjétől északra;
3. Margit-sziget É-i csoport. Ide tartoznak a Margit-sziget partjainál és az elkotort Fürdő-sziget helyén felfakadó források.

A szökevényforrások csoportokban jelennek meg, a jelentősebbek megközelítő helyei láthatók a 2. ábrán. Ezek közül a Gellért-hegy előterében a Schafarzik-Ferencről elnevezett Schafarzik-forrás, a Szabadság-híd alatt a budai oldalon a Névtelen-forrás, a pesti oldalon, a Budapesti Corvinus Egyetem („Közgáz”) előtt a Vitális-Sándor-forrás található (JUHÁSZ 2000). Leírtak még forrásokat a Dunában a Margit-sziget nyugati partjánál, valamint a Lánchíd és a Baththyányi (Bomba) tér közötti szakaszon (ALFÖLDI et al. 1968, SZABÓ 1886).

Az eddig megismert szökevényforrások közös jellemzője, hogy megfelelő körülmények esetén a partról szabad szemmel is megfigyelhetők. Nincs azonban racionális okunk azt feltételezni, hogy a kevésbé jól megfigyelhető helyeken nem fakadhatnak szökevényforrások.



2. ábra. A jelentősebb ismert szökevényforrások (ALFÖLDI et al. 1968, 1979; JUHÁSZ 2000)

Figure 2. The major drawn springs (after ALFÖLDI et al. 1968, 1979; JUHÁSZ 2000)

A mérések közvetlen környezete

A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1999-es vízi szeizmikus mérései egyértelműen kimutatták, hogy a vizsgált területen a Duna-beli zátonyok egy sasbérc részei és ez a környezetéhez képest kiemelkedett közettömeg nagy szeizmikus sebességgel jellemezhető, tehát „kemény” képződmény (PRÓNAY et al. 2000). A szeizmikus módszer ugyan a kőzetanyag milyenségét közvetlenül nem tudja meghatározni, de az a korabeli leírások alapján ismeretes, hogy a Szabadság — akkor Ferenc József — híd budai pillérét dolomitra építették. Az M-802 fúrás is az említett sasbércen mélyült, rétegsora néhány méter kavics és bázistörmelék alatt dolomitot harántolt (RAINCSÁKNÉ 2000, HORVÁTH et al. 2001). Feltételezhető tehát, hogy a geofizikai módszerrel kimutatott sasbérc anyaga nagyrészt dolomit, bár alárendelten más anyagok is előfordulhatnak.

A geológiai vizsgálatok szerint (KORPÁS et al. 2002) a Gellért-hegyet és közvetlen környezetét alkotó képződmények közül a felső-triász Sashegyi Dolomit, a felső-eocén báziskonglomerátum–lepelbreccsa és Szépvölgyi Mészkö, valamint a felső-eocén–alsó-oligocén korú Budai Márga, továbbá a pleisztocén édesvízi mészkő mindegyike erősen tektonizált, és nemcsak repedések, hanem nagyméretű üregek, barlangok is előfordulhatnak bennük. Végül soron a felsoroltak közül bármelyiket „látja” is a szeizmika, a vízvezetés szempontjából nincs közöttük alapvető különbség.

A mederfúrásokban a melegvíz előfordulására vonatkozóan a következő adataink vannak (HORVÁTH et al. 2001):

— A DM-2 fúrásban — a makroszkópos kőztleírás alapján — több erősen tektonizált szakaszt harántoltak. Ennek ellenére a fúrás a meleg víz szempontjából meddőnek bizonyult, azonban a kőzethőmérséklet 50 m-es mélységben (39,75 m Bf szinten) mért 27 °C-os értéke a hévíztároló kőzet közelségére utal.

— A DM-3 fúrásban meleg vizet nem találtak, de a hőmérséklet a szelvény talpán 39 °C volt, ami a hévíz közelségére utal.

— A DM-4 fúrás rétegsorának tektonikai zónáiban a kőzetanyag morzsolódott állapotú volt, melyekből 26 °C hőmérsékletű, kis mértékű vízbeszivárgást mutattak ki.

— Az M-801 fúrásban a Tardi Aggyag alatt jelentkezett hévíz nyugalmi vízszintje 85–90 cm-rel a Duna egyidejű vízszintje felett állt be.

— Az M-803 fúrásban megütött hévíz szintje a Duna aktuális vízszintje felett 118 cm-rel állt be. A víz hőmérséklete

a próbaszivattyúzás során a kezdeti 27-ről 42,7 °C-ra emelkedett.

Összefoglalva megállapítható, hogy a fent említett fúrások (3. ábra) vagy harántoltak meleg vizet adó repedést, vagy a közvetlen közelükben mélyültek vagy álltak le, azaz semmi sem zárja ki, hogy a vizsgált területen az ismert szökevényforrásokon kívül továbbiak is előforduljanak.

A szonármérések

A szonár nagyfrekvenciás szeizmikus hullámforrásból, vevőből és digitális adatrögzítőből álló berendezés, mely általában piezoelektromos elven működik.

A határfelületeken a forrásból kiinduló energia egy része visszaverődik, másik része belép a következő közegebe. A reflektált és áthaladó hullámok amplitúdója a sebesség- és sűrűségkontraszt, valamint a beesési szög függvénye (ZOEPPRITZ 1919). A beesési szög közel merőleges, ezért a sebesség és a sűrűség hőmérsékletfüggését vizsgáljuk.

A szakirodalmi adatok szerint (Allmeasures 2004, COPPENS 1981, WONG, ZHU 1995) a sebesség a 4–40 °C tartományban a hőmérséklettel monoton nő (4. ábra). A sebességkülönbség 90–110 m/s között várható, ami nagyjából 6–7% sebességkontrasztot jelent. A sűrűség a hőmérséklet növekedésével csökken, de ez a csökkenés a teljes vizsgált tartományban kisebb, mint 1%.

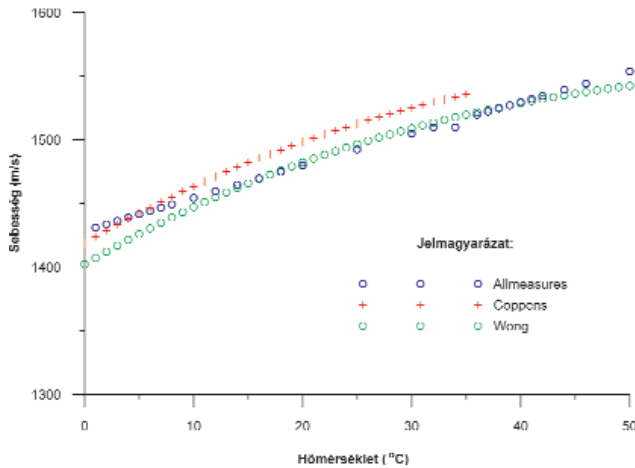


3. ábra. A mederfúrások

Figure 3. Boreholes into the riverbed

A reflexiók együtthatókat kiszámítottuk a mérés szempontjából legrosszabb és legjobb esetre is. Az értékek a 3% közelében vannak, nagyságrendi eltérés nincs, ezért kijelenthetjük, hogy a 4 és 40 °C hőmérsékletű víz közötti fizikai kontraszt kimutatásához 3% alatti reflexiót kell tudni kimutatni, ami a geofizikai gyakorlatban nem szokatlan.

A szökevényforrások vize jelentős mennyiségű oldott gázt, elsősorban CO₂-t tartalmaz. Mivel a CO₂ sűrűsége normál állapotban a víznek csupán kb. 1/700-ad része, így már



4. ábra. A szeizmikus hullám terjedési sebessége a vízben a hőmérséklet függvényében

Figure 4. Seismic wave velocity in the water vs. temperature



kis mennyiségben is jelentősen csökkenti a víz átlagsűrűségét. A gáztartalom megnövekedésének nagyságrendekkel nagyobb hatása van a sűrűsége és ezen keresztül a reflexiók együtthatóra, mint a hőmérsékletnek, ezért az eltérő gázmennyiséget tartalmazó víz beáramlása már önmagában is kimutatható lehet.

A hőmérséklet eltérésén alapuló kimutatás lehetőségét fizikai modellezéssel igazoltuk (PRÓNAY et al. 2005), amelynek során már 5 °C hőmérsékletkülönbség is jól mérhető amplitúdójú reflexiót eredményezett.

A terepi méréseket a szökevényforrások kimutathatósága szempontjából különösen alkalmas időpontban végeztük. A Duna vízállása alacsony volt, ezért az átlagosnál intenzívebb melegvíz- és gázbeáramlásra számíhattunk, a folyó hőmérséklete 4 °C körül volt, ezért a várható akusztikusimpedancia-kontraszt az elméleti maximális érték közelében volt.

A mérési hálózat a Szabadság híd D-i oldalán folyásirányban mintegy 400 m-t, míg keresztirányban a Duna motorcsónakkal hajózható teljes szélességét lefedte és mind hossz-, mind keresztirányú szelvényeket tartalmazott (5. ábra). A terület átlagos lefedettsége kb. 1 csatorna/m² volt. Ez azonban nem teljesen egyenletesen oszlott meg, az érdekes, nagyobb változékonyságot mutató helyeken sűrűbb, míg a homogénebb képet mutató részekben ritkább volt. A szelvénytűsűrűség elegendő volt a meder és a fölötte lévő víztömeg részletes leképezésére.

A méréshez 80 kHz-es irányított piezo adó-vevő párt használtunk. A kellően nagy, az ultrahang tartományba eső frekvencia biztosította, hogy a külső zaj (csónakmotor, forgalom a parton stb.) hatásával nem kellett számolni.

Eredmények

Szonármérések segítségével négy nagyobb, jól elkülöníthető csoportban előforduló, illetve elszórtan több, mint ötven eddig ismeretlen helyen lévő szökevényforrást tudunk kimutatni a Duna Szabadság híd alatti szakaszán (6. ábra). Az ábrán látható az 1999-es ELGI vízi szeizmikus mérések aljzatterképe, valamint sárga és piros színnel a közepes és nagy szökevényforrások elhelyezkedése. A források vízhozama az áramlási sebesség és a kilépési terület szorzata. A repedés méretéről nincs információnk, közvetlenül a sebességről sem. Az azonban, hogy milyen magasra emelkedik a beáramló víz a Dunában arányos a ki-

5. ábra. A szonármérések helyszínrajza

Figure 5. Location map of the sonar measurements

6. ábra. Szökevényforrások, forráscsoportok és a szeizmikus aljzattérkép PRÓNAY et al. (2000) nyomán

1 – közepes szökevényforrások, 2 – nagy szökevényforrások

Figure 6. Drawn springs, groups of drawn springs and the seismic basement map after PRÓNAY et al. (2000)

1 – medium-sized drawn springs, 2 – big drawn springs

áramlási sebességgel, így a szökevényforrások kategorizálására ez a paraméter alkalmas lehet.

A első, legkisebb csoport a híd budai hídfője mellett, a Névtelen-forrás (JUHÁSZ 2000) közvetlen környezetében van, gyakorlatilag azzal azonosítható.

A második csoport a mederfenék térképen látható kisebb méretű, de a mederfenékből legjobban kiemelkedő zátonyhoz kapcsolódik (7. ábra). Ez a lokális maximum az alatta elhelyezkedő sasbérc egy függőleges nyúlványának tekinthető. A mederfenékbeli hirtelen szintváltozások a törések, és így a szökevényforrások fakadási helyei.

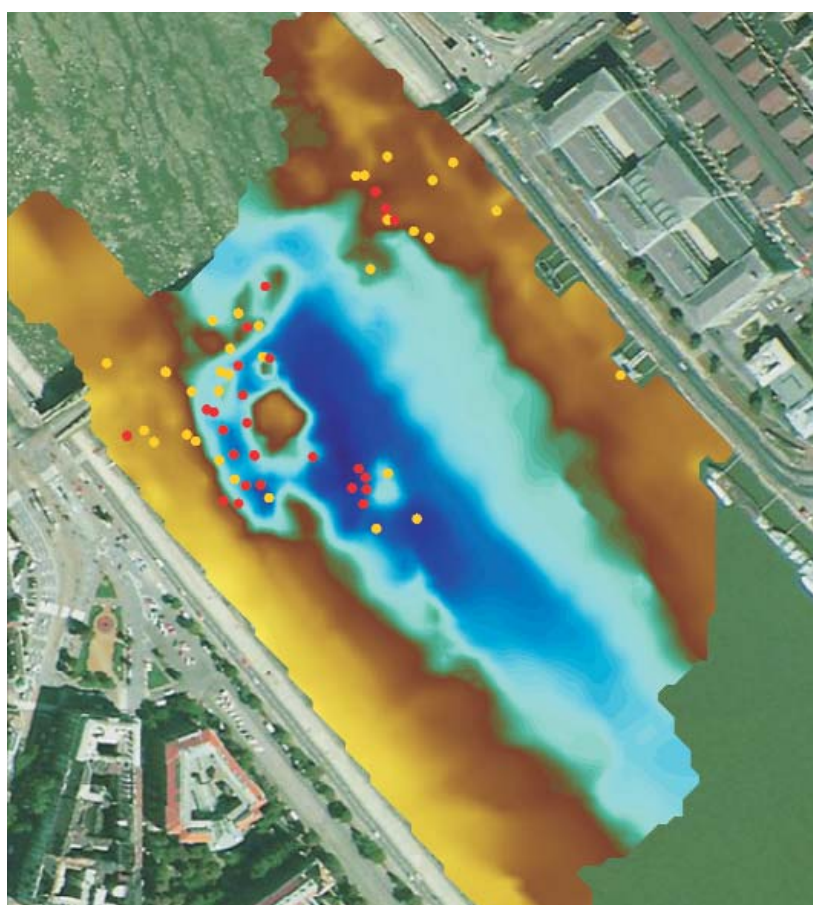
A harmadik csoport egy közel É–D irányú sáv, amely egyrészt a fenék domborzatához, másrészt a triász fekihöz kapcsolódik. Az 8. ábrán a Geomega Kft. (TÓTH et al. 2001) triász aljzattérképe látható, melyen megfigyelhető, hogy az említett sáv a sasbérc lokális minimumának két oldalán, a feltételezhető törésekhez kapcsolódva halad.

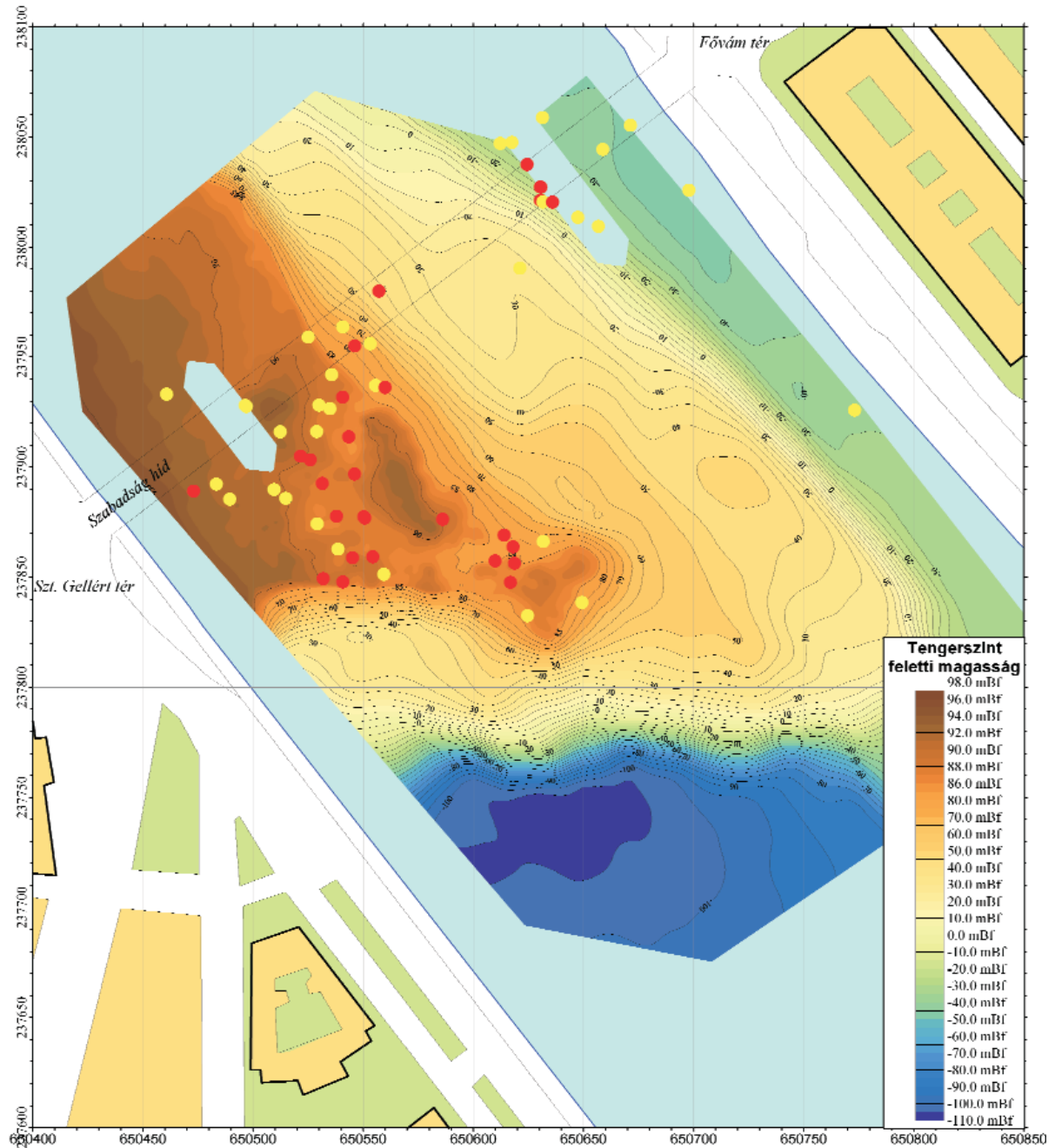
Külön kell foglalkozni a negyedik csoporttal, amely a Szabadság híd pesti pillére közelében van. A Geomega Kft. térképe (TÓTH et al. 2001) szerint a helye nem logikus, ugyanis szerintük az itt húzódó vető Pest felé lefelé vet, emiatt a fedő vastagsága megnő, ami megakadályozza a melegvíz felszínre jutását. Saját régebbi térképünk szerint viszont a szeizmikus aljzat itt feljebb jön, ami jól magyarázza a Vitális Ferenc-forrás létezését. A híd pesti pillérénél korábban többször is figyeltek már meg gázbuborékokat (SZALONTAI 2002), ami szintén megerősíti, hogy ezen a környéken meleg víz áramlik be a folyóba.

Az elszórt szökevényforrások közül feltétlenül említést érdemel még a Corvinus Egyetem déli falának meghosszabbításában levő hajóállomás előtti. Ennek helye

7. ábra. A szökevényforrások és a mederfenék domborzata

Figure 7. The drawn springs and the topography of the river bottom





8. ábra. A szökevényforrások és a triász aljzat (TÓTH et al. 2001)

Figure 8. The drawn springs and the Triassic basement (TÓTH et al. 2001)

nagyjából megegyezik a Vítális Ferenc-forrással (JUHÁSZ 2000), így azzal azonosítható.

Összefoglalás

Szonármérésekkel nagy számú, zömmel ismeretlen szökevényforrást sikerült felfedezni a Duna fenekén, a

Szabadság hídtól DK-re. Megállapítható volt, hogy a kimutatott szökevényforrások ott találhatóak meg, ahol a potenciálisan vízvezető, repedezett kőzetek a mederfenéken előbukkannak, vagy annak közvetlen közelében települnek. A vízbeáramlási helyek szorosan kötődnek a mederfenék földtani szerkezetében megfigyelhető változásokhoz, illetve a triással általában azonosítható szeizmikus aljzathoz.

Irodalom — References

- ALFÖLDI L., BÉLTEKY L., BÖCKER T., HORVÁTH J., KESSLER H., KORIM K., ORAVECZ J., SZALONTAI G. 1968: *Budapest hévizei*. – Vituki, Budapest, 365 p.
- ALFÖLDI L. 1979: *Budapesti hévizek*. – Vituki Közlemények 20, pp. 3–102.
- „Allmeasures” 2004: Materials and Formulae. – www.allmeasures.com
- COPPENS, A. 1981: Simple equations for the speed of sound in Neptunian waters. – *Journal of the Acoustical Society of America* 69, pp. 862–863
- HORVÁTH T., FÁY M., SÁNDOR Cs. 2001: A Budapest 4 metróvonal Duna alatti átvezetésének földtani kutatásának összefoglalása. *Földtani Kutatás* 38, 2, p. 35–44
- JUHÁSZ J. 1987: *Hidrogeológia*. – Akadémiai Kiadó, Budapest, 1176 p.
- JUHÁSZ J. 2000: A 4. sz. metró kutatásának hidrogeológiai eredményei. – *Földtani Kutatás* 38 (2), pp. 25–34.
- KORPÁS L., FODOR L., MAGYARI Á., DÉNES Gy., ORAVECZ J. 2002: A Gellért-hegy földtana, karszt- és szerkezetfejlődése. – *Karszt és barlang* 1998–1999 (I–II), pp. 57–93.
- LORBERER Á. 2002: *Budapest hévizei mérnökgeológiai szemmel*. – Alagút- és Mélyépítő Szakmai Napok kiadványa, Eger, 8 p.
- PRÓNAY Zs., TÖRÖS E., HERMANN L. 2000: Szeizmikus mérések a tervezett 4. sz. metróvonal Duna alatti átvezetéséhez. – *Földtani Kutatás* 37 (2), pp. 19–24.
- PRÓNAY Zs., TÖRÖS E., MISKOLCZI R. 2006: Kaphatunk-e reflexiót hőmérsékletkülönbségről? – *Magyar Geofizika* 46 (4), pp. 152–157.
- RAINCSÁK Gy.-né 2000: A Budapest 4. sz. metróvonal és környezetének földtani viszonyai. – *Földtani Kutatás* 37 (2), pp. 4–19.
- TÓTH T., CSONTOS L., DÖVÉNYI P., FEKETE N., MAGYARI Á., NAGY-MAROSY A., SZAFIÁN P., VIDA R., WINDHOFFER G. 2001: Szakvéleményt a budapesti 4. metróvonal I. szakaszának Duna alatti átvezetése földtani viszonyairól a területen végzett szeizmikus felmérés eredményei alapján. (Jelentés.) – *Kézirat*, Geomega Kft. jelentése, Budapest.
- SZABÓ J. 1886: Jegyzetek. – *Kézirat*.
- VENDEL M., KISHÁZI P. 1963–64. Összefüggések melegforrások és karsztvizek között a Dunántúli-középhegységben megfigyelt viszonyok alapján. – *MTA Műszaki Tudományos Osztály Közleményei* 32 (1–4), pp. 393–417 és 33 (1–4), pp. 205–233.
- WONG, T., ZHU, W. 1995: Speed of sound in seawater as a function of salinity, temperature and pressure. – *Journal of the Acoustical Society of America* 97, pp 1732–1736.
- ZOEPPRITZ, K. 1919: On the reflection and propagation of seismic waves. – *Göttinger Nachrichten* I, Göttingen, Németország, pp. 66–84.