

Újlipótváros–Angyalföld: kiemelkedő geotermikus anomáliák és tektonikai értelmezésük hőszivattyús szondatesztadatok alapján

LORBERER Árpád Ferenc

Földtudományi Tervező Kft., loare@t-online.com

Budapest city core: Intense geothermal anomalies and their tectonic interpretations based on geothermal heat-pump borehole thermal tests

Abstract

Ground Source Heat-Pump (GSHP) boreholes can provide the most numerous new data for Urban Geology projects. The authors used the thermal measurements taken in several ground-source heat-pump sites to locate previously unknown geological phenomenon within the city core of Budapest, the capital of Hungary.

The only reliable scientific data are the baseline temperature-log measured during the initial phase of individual thermal response tests. Our data suggests that these temperatures measured within finished geothermal U-loops represent the real ground temperature distributions.

We found one of the highest geothermal gradients in Hungary not connected to volcanism and natural thermal springs. 66 °C occurred in the depth of only 120 meters below surface (m b.s.) at the corner of two main streets in Pest.

Our research indicates, that in geothermal areas, shallow-temperature profiles can be used to locate hidden geological structures. We could outline the existence of a previously unknown fault, as well as modified the location of the main tectonic fault of the area, the so called “Buda Thermal Line”. The hydrogeologic discharge along the Buda thermal line appears to be much wider, not necessarily confined under the Danube according to the new temperature data.

The intense positive anomaly we found under the southern part of the XIII district of Budapest represents a previously unknown horst-structure (a hidden pair of the Margaret Island). We expect 45–65 °C thermal water aquifer within 100–300 m b.s. under this part of the city. This tectonic structure could not have been detected using only the available seismic and borehole data, so this result can highlight the importance of geological documentations of GSHP drillings (which are mainly non existent).

Interestingly, our data also shows an extended negative geothermal anomaly at the north part of our research area. Our maps and several separate T/depth logs indicated a ground temperature decrease of appr. 2–5 °C in depths between 30 and 100 m b.s. This is probably not a natural phenomenon, but the result of intense urban coverage. We have three possible theories to explain it. The first one is related to direct cooling by the Budapest Ice Factory works of the area. Curves with downward decreasing temperatures can also occur if some of the upper layers are heated up by the urban heat-island phenomenon or by exotherm reactions of forgotten waste landfills.

GSHP data can definitely assist not just their routine heating+cooling installations, but thermal water-based heating projects as well. Both options should be kept in mind in geothermal areas, like Budapest, and the required quality of borehole geological data should be improved accordingly.

Keywords: Ground Source heat-pump boreholes, underground temperature profiles, tectonics, positive and negative geothermal anomalies, urban geology, thermal waters, Budapest

Összefoglalás

Városaink földtani felépítéséről a legtöbb új földtani információt a nagy számban készülő, jellemzően 100–150 méter mély, geotermikus hőszivattyús fúrások alapján kaphatnánk. Sajnos ez többnyire csak elvi lehetőség, még a nagy méretű beruházások többségénél is csak a közethőmérsékleti adatok mérésére kerül sor.anyagunkban az ilyen fúrásmezők tervezéséhez készülő termikus tesztelések hőmérséklet-alapállapot adatait gyűjtöttük össze és értékeltük a főváros XIII. kerületének a térségéből.

Újlipótváros alatt intenzív, felszínközeli, pozitív hőmérsékleti anomáliát mutattunk ki. A Váci út és a Dózsa György út sarkánál 120 m mélységben mért 66 °C közethőmérséklet Magyarország legmagasabb (forrásoktól független) geotermális gradiensét eredményezi.

A vizsgált területen ismert és korábban feltételezett tektonikai elemekkel nem volt magyarázható a jelenség. A hőmérsékletadatok alapján új tektonikus elemeket kell feltételezni. Értelmezésünk szerint a XIII. kerület két része, Újlipótváros és Angyalföld között éles tektonikai határ rajzolódik ki, amely a Budai Termális Vonal teljes vetőzónáját is érinti. Adataink alapján a BTV fővetőjének a lefutása módosul, és a hozzá kapcsolódó hévíz-megcsapolási terület is a folyómedernél jóval szélesebb zónára terjedhet ki. Továbbá Újlipótváros alatt egy eddig ismeretlen, a felszín közelébe felnyúló alaphegységi kiemelkedést valószínűsítünk. Ebből a kiaknázatlan földtani szerkezetből közvetlen fűtésre alkalmas hévíz lehet beszerezhető már 100–300 m mélységből.

A XIII. kerület északi felén, 30–90 méter között miocén üledékekben az előzővel ellentétes, negatív geotermikus anomália rajzolódik ki, ugyanis a közethőmérséklet a felszínközeli értékhez képest több fokkal alacsonyabb. Ez a jelenség több egymástól távolabb eső fúrásban, eltérő időben, eltérő műszerekkel vizsgálva is észlelhető volt. Véleményünk szerint ez a negatív anomália mesterséges eredetű, értelmezésére három teóriát állítottunk fel. Az első a városi jéggyár aktív hűtését tételezi fel, a másik kettő a felsőbb rétegek felfűtöttségéből eredezteti a mélység felé csökkenő hőfokokat.

Az adatok feldolgozása során nyert tapasztalatok alapján javaslatokat fogalmaztunk meg a jövőbeni geotermikus-szonda-tesztelési jegyzőkönyvek tartalmának a pontosítására, a fúrási eredmények archiválására és a mély fűtési és a sekély hőszivattyús hűtési és fűtési célú építőipari projektek összehangolására.

Tárgyszavak: hőszivattyús szondafúrások, mélységi hőmérsékletek, tektonika, pozitív és negatív anomália, hévízkutatás, Budapest

Adatgyűjtés bemutatása és problematikái

A Dózsa György út és a Váci út sarka közelében 2019-ben felfigyeltem egy geotermikus hőszivattyús próbafúrásra, majd pár nap múlva jelen lehettem a fúrás termikus tesztelésekor is. A 118 méter mély fúrásban mért hőmérséklet meghaladta a 60 °C fokot, a fúrás mellett felhalmozott, kitermelt furadékban pedig nagyforaminiferás mészkő volt észlelhető (a rétegsort nem írták le). Kiugró hőmérsékletek jelentek meg a környéken a következő években is, így 2021-ben TÓTH László geológus és hőszivattyús tesztelő-szakértő kollégával együtt nagyobb területre kiterjedő adatfeldolgozást kezdtünk el. Megkerestük a hasonló felszín alatti termikus méréseket végző fővárosi cégeket és szakértőket. Az érintett cégek (F-Geo Kft., HGD Kft., Geort Kft. és Geoszonda Kft.) és kollégák pozitívan válaszoltak, és feldolgozásra megosztották velünk a XIII. kerület tágabb környékére vonatkozó mérési adataikat (MARTON et al. 2005–2021, TÓTH et al. 2006–2021, TÓTH 2016–201). A kapott adatok előzetes feldolgozását a Magyar Geotermális Egyesület 2021. évi 4. hírlevelében közzétük (LORBERER & TÓTH 2021).

100–150 méter mély, zárt U-csöves hőszivattyús rendszerek kivitelezése a hazai építőiparban ma már rutin feladatnak számít. A nagyobb geotermikus fúrásmezők előkészítésekor általában készül az adott telken egy vagy két szondának kiépített előzetes próbafúrás, és az ezeknél elvégzett termikus szondatesztek eredménye alapján történik meg a végleges fúrásmező méretezése (a vonatkozó magyar és EU-szabványoknak megfelelően).

Elvileg ezekből a hőszivattyús fúrásokból lehetne a legtöbb új geológiai adatot kinyerni városi területeink földtani felépítéséről. Az építőipari „rutin” azonban tudományos szempontból ritkán hasznos, minthogy a gyors, szabványosítható kivitelezésre és a mesterséges elemek számszerűsítésére fókuszál. A fúrások révén keletkező földtani adatok sajnos, az építőipari kivitelezők szempontjából többnyire értéktelenek. A helyszíni adatok leírása vagy archiválása szinte mindig elmarad (annak ellenére, hogy ezt a fúrásokra

vonatkozó minden szabály előírja, és a *Mélyfúrési Biztonsági Szabályzat* is kiemeli).

A 18 vizsgált hőszivattyús nagyberuházás során létrejött földtani adatok:

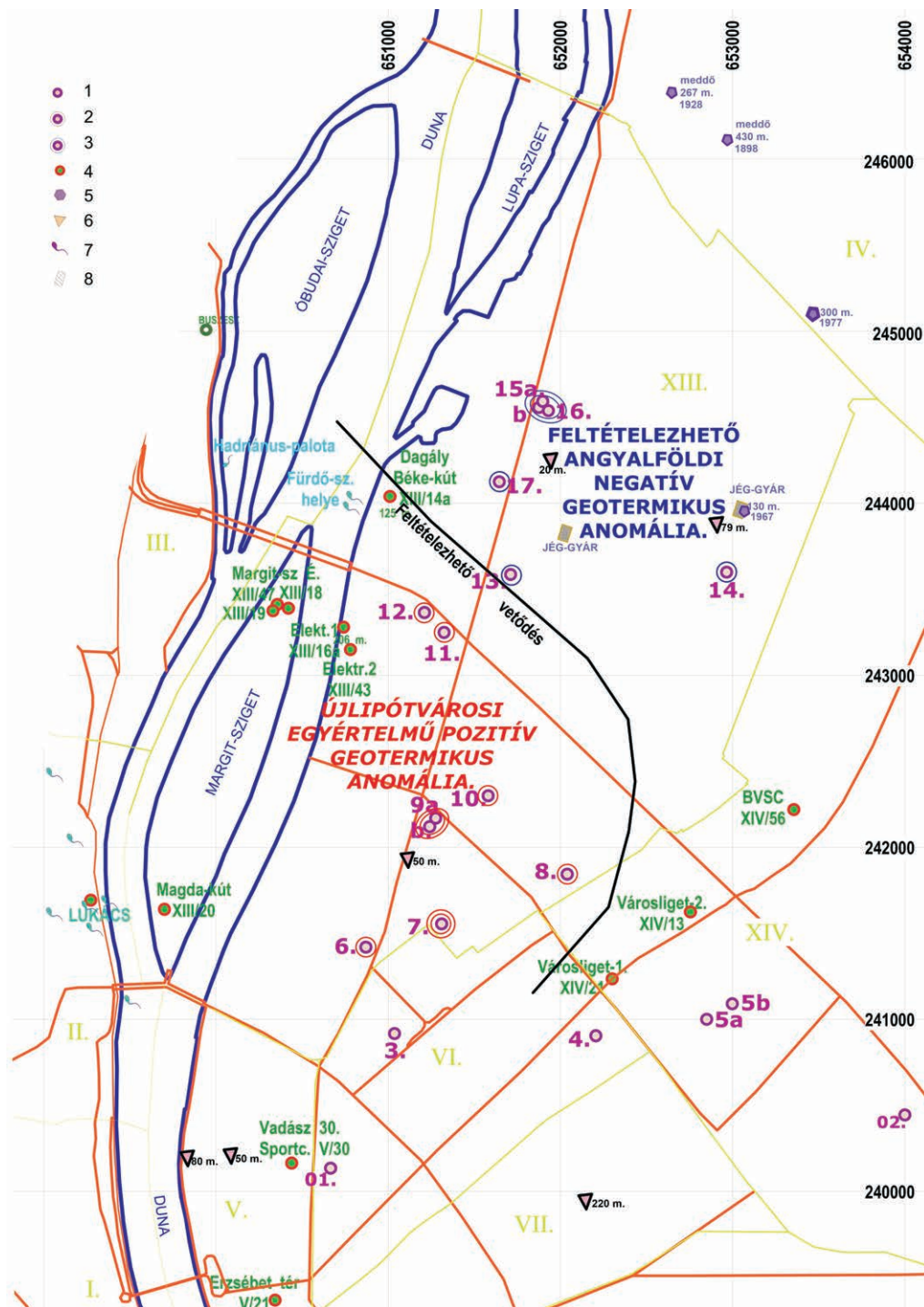
- hét helyről közöltek rétegsort, bár ezek közül kettő csak igen elnagyolt leírás volt;
- mindössze három helyen készült karottázmérés (a 8-as, 11-es és 13-as helyszíneken);
- egyetlen esetben, a saját munkaként készült 13-as helyszínen került sor pontos, dokumentált rétegsor felvételére közetminták vételével, laborelemzéssel és részletes kútgeofizikai méréssel, ott viszont szondateszt nem készült (LORBERER 2019).

A fúrási helyeket EOV-alapú térképeken mutatjuk be a környező kutak, hévízkutak és jól dokumentált rétegsorú fúrások helyét is feltüntetve (*I. ábra*). A vizsgált fúrások fő adatait az *I. táblázatban* és részletesebben a cikk digitális mellékletében összesítettük.

A hőmérsékleti adatok ellenőrzése

A szondafúrásokból kinyerhető egyetlen közvetlen, összehasonlítható földtani adat a mélységi közethőmérséklet, a tesztelési jegyzőkönyvekben megadott alapállapotú hőmérsékleti szelvényezés. Ekkor, a teszt megkezdése előtt a hőmérsékletek 2 m-ként kerültek rögzítésre kalibrált hőmérőkkel, tized vagy század °C pontossággal. E mérések adatait használtuk fel egységes léptékbe szerkesztve.

A 8-as és 11-es helyszíneken volt lehetőség a hagyományos, fúrólukban mért karottázs-termoszelvény adatainak összevetésére az ugyanazon fúrásban több nappal később, a kiépített szondán belül végzett alapállapot-hőmérsékleti méréssel. E két-két mérés párhuzamosíthatónak tűnik, bár eltérésük több fok. A fúrólukban történő karottázmérés sokszor ki van téve az öblítőfolyadék hűtő hatásának, azaz időnként a valósnál kissé alacsonyabb hőfokot mérhet különösen a fúrás alján. A szondában történő mérés a természete-



1. ábra. Alaptérkép a vizsgált fúrásokkal

Jelmagyarázat: 1 = Szondafúrás, 2 = Pozitív geotermikus anomália, 3 = Negatív geotermikus anomália, 4 = Hévízkút megnevezéssel, 5 = Vizkutató fúrás, 6 = Földtani fúrás, 7 = Hévízforrás, 8 = Jéggyár üzemei

Figure 1. Schematic map with the measured boreholes

Key: 1 = GSHP borehole 2 = GSHP with positive anomaly 3 = GSHP with negative anomaly, 4 = Thermal well, 5 = Old boreholes, 6 = Exploration borehole, 7 = Natural thermal spring 8 = Ice factory

tes hőállapotot valószínűleg jobban közelíti, bár a keringtetés idejétől függően esetenként adhat a valóságnál kiegyenlítettebb képet, a felsőbb rétegeket a valóságnál kissé melegebbnek észlelve.

A kapott szondatesztjegyzőkönyvekben sajnos a fúrás

óta eltelt idő, a feltöltőfolyadék hőfoka és a feltöltés ideje nem szokott szerepelni, csak a mérés idején jellemző levegő-hőmérséklet, emiatt sajnos pár °C hibalehetőség sehol sem zárható ki.

Hévíz- és rétegvízkutaktól minden vizsgált szonda több

I. táblázat. Az értékelt tesztelt geotermikus szondafúrások adatainak összegzése (részletesebb, koordinátákat is megadó táblázat a digitális mellékletben érhető el)

Table I. Measured data of the tested GSHP boreholes (more details are in the digital attachment)

Szám/ No	Helyszín/Location	Dátum/Date	Talp/ Depth (m)	Hőmérséklet / Ground temperature (°C)				Anomália/ Anomaly
				10 m	50 m	100 m	120 m	
1	VI. Dessewfý u.14.	2012. 09. 10.	100	17,5	15,1			?0
2	XIV. Gizella út	2020. 10. 07.	100	14,4	15,2	18,1		0
3	Ferdinánd híd	2021. 10. 13.	120	15,7	18,8	22,7	24,1	
4	VI. Rippl-Rónai 2.	2011. 08. 22.	101	15,9	18,1	20,7		-0
5a	XIV. Liget Napozó1	2016. 06. 17.	100	13,6	14,7	17,1		-0
5b	XIV. Liget Napozó2	2016. 06. 15.	153	14,1	15,4	17,6	18,6	-0
6	XIII. Victor Hugo 1.	2020. 04. 27.	120	18	28	32,9	36,5	++
7	VI. Lehel u. 9.	2020. 10. 30.	116	20	24	42,7	-46	+ +
8	XIII. Szabolcs u. 33.	2015. 09. 02.	150	<i>20,1</i>	<i>20,9</i>	<i>21,7</i>	<i>21,7</i>	-0
		2015. 09. 08.		20,3	16,7	19,2	19,9	
9a	XIII. Dózsa Gy. út – Váci út sarok	2019. 08. 24.	116	20,7	35,6	59,4		+ + +
9b		2019. 08. 26.	118	26	41,6	58	66,2	
10	Kassák L. – Huba sarok	2017. 07. 03.	120	15	19	25,5	27,5	+
11	XIII. Esztergomi – Árboc u. sarok	2017. 03. 10.	150	<i>18,3</i>	<i>19,8</i>	<i>23,3</i>	<i>24,6</i>	+
		2017. 03. 21.		15,2	17,2	21,8	24,8	
12	XIII. Esztergomi és Dunavirág sarok	2019. 12. 06.	120	17,2	20,0	27,3	30,5	++
13	XIII. Frangepán – Lomb u. sarok	219. 11. 22.	150	<i>16,8</i>	<i>16,3</i>	<i>15,4</i>	<i>-15,4</i>	-
14	XIII. Jász u. – Zsinór u. sarok	2012. 01. 23.	103	14,5	14	15		?-
15a	XIII. Fiastyúk u.1 – Madarász V. 6.	2014. 12. 09.	125	16,1	13,5	12,8	12,8	-
15b		2014. 12. 11.		16,2	13,4	12,7	12,8	
16	XIII. Váci út – Főveny u sarok	2015. 06. 15.	120	15,8	13,7	12,4	12,2	-
17a	XIII. Váci út 152–158.	2021. 10. 19.	127,5	16	16	14,5	14,6	-
17b		2021. 10. 12.		15,7	15,8			

A dőlt betűs mélységi hőfok fűrölükben mért karottázs-termoszervény adata (8, 11, 13 helyszínek), a többi szondateszt alapállapot-mérés.

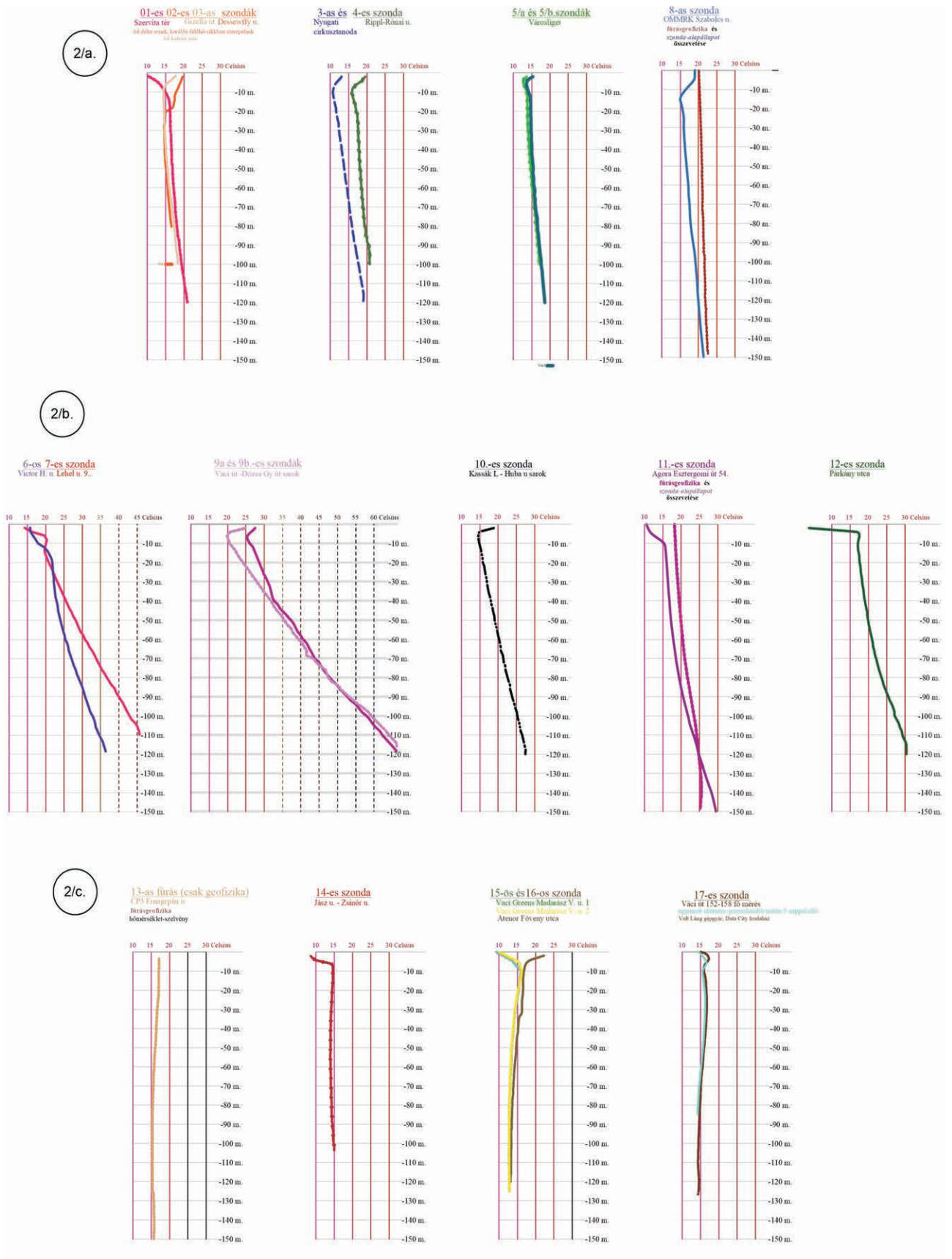
Values in italic are classic borehole geophysical ground temperatures values (No 8, 11, 13), all the others are baseline temperature profiles from GSHP thermal tests.

száz méter távolságra esik. Antropogén elemek, pl. metró-alagutak vagy mélygarázsok a legtöbb helyszín közelében előfordulhatnak, de csak 10–30 m mélységig.

A bemutatott mélységi hőmérsékleti adatok tehát reálisnak mondhatók.

Eredmények

A 2. ábrán a mélység függvényében közöljük a mért hőmérsékleteket az észlelt anomáliáknak megfelelően három csoportba szedve.



2. ábra. Furatokban mért közét hőmérsékletek
Figure 2. Temperature/depth logs measured

Az egyes hőmérsékleti görbék egyenként is analizálhatók.

Természetes felszínközeli hőhatás látható pl. a 12-es szonda hőmérsékletgörbéjén, ami a téli mérés miatt alacsony szintről indul, de a léghőmérsékleti hatás már 10 métertől elenyészik. A fordított, nyári tendencia jelenik meg pl. a 9-es és 10-es helyszíneknél. A dunai kavicssterasz hatása – többnyire hűtő hatásként – 10–30 méter mélységig is kimutatható például a közel egy vonalba eső 2-es, 7-es és 8-as helyszínen.

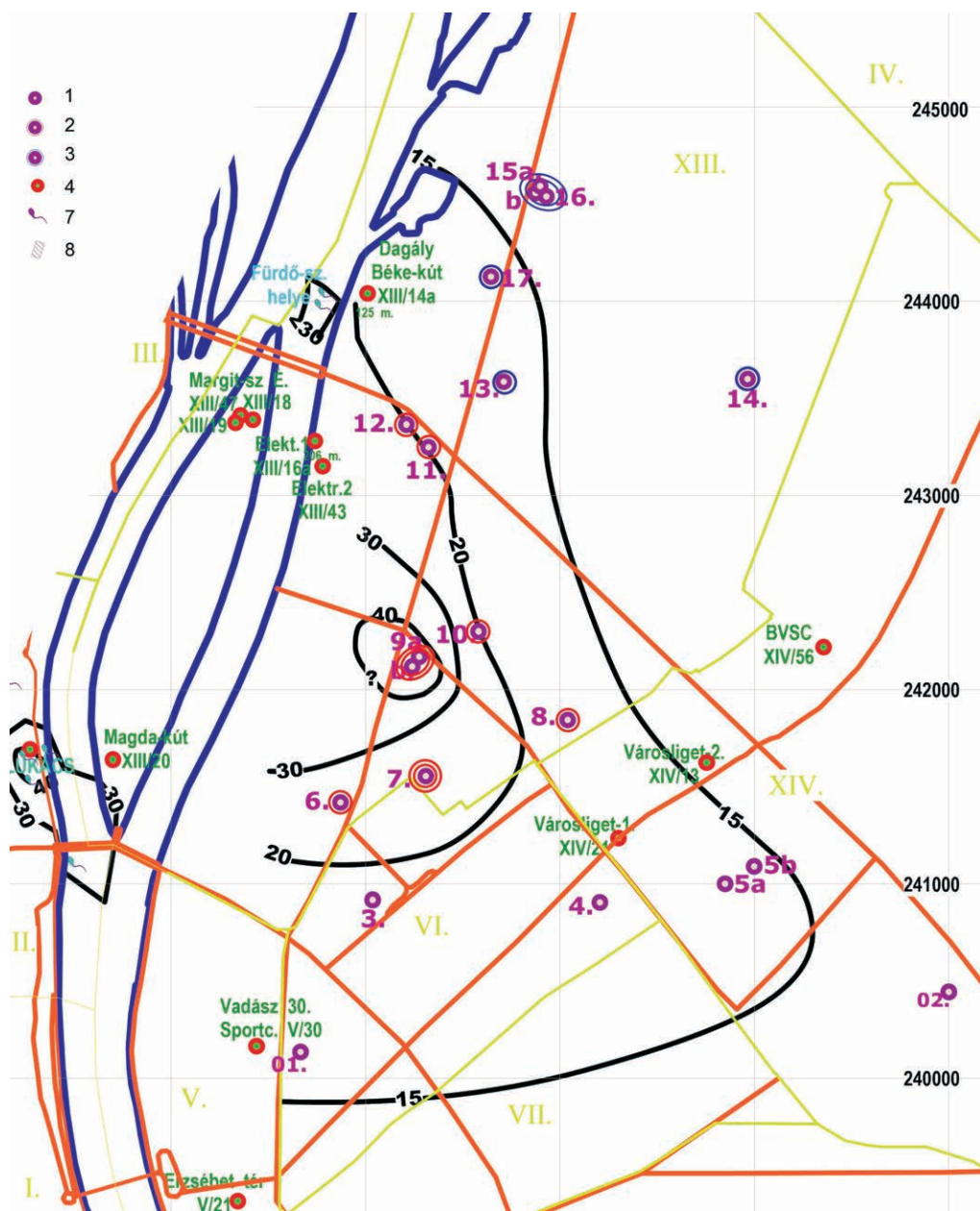
A talajhőmérsékletek térbeli eloszlását a 3–7. ábrán mutatjuk be (a mérések nem egyidejűek, lásd az 1. táblázatban). A mélységi hőmérsékletek mellett a hőfokok adott jellemző középértéktől való eltérését és a felszínközeli geotermikus gradienseket is megszerkesztettük.

A szelvényeken és táblázatban bemutatott hőmérsékleti szelvények alapján az alábbiak figyelhetők meg:

A) Újlipótváros térségében intenzív, felszínközeli, pozitív geotermikus anomália jelenik meg (7. ábra). A talajhőmérsékletek a kavicssterasz aljától lefelé folyamatosan és gyorsan emelkednek, helyről helyre változó ütemben (ahogy ez a 2. ábra b szelvényeiről is leolvasható).

A Váci út és a Dózsa György út sarkánál, az egykori vízműszékház alatt már 25–29 méter mélységtől 30 °C feletti hőmérséklet jelent meg, 100 métertől pedig túllépte a hőmérséklet a fűtésre is alkalmas 60 °C értéket. A felfűtött zóna minimum a Lehel tértől az Árpád híd lábáig terjed, de nyugatabbra a Margit-szigetig is átnyúlhat.

A mért adatok alapján rejtett hévizes szökevényforrások



3. ábra. 50 méter mélységben jellemző mért hőmérsékletek (jelkulcs az 1-es ábránál)

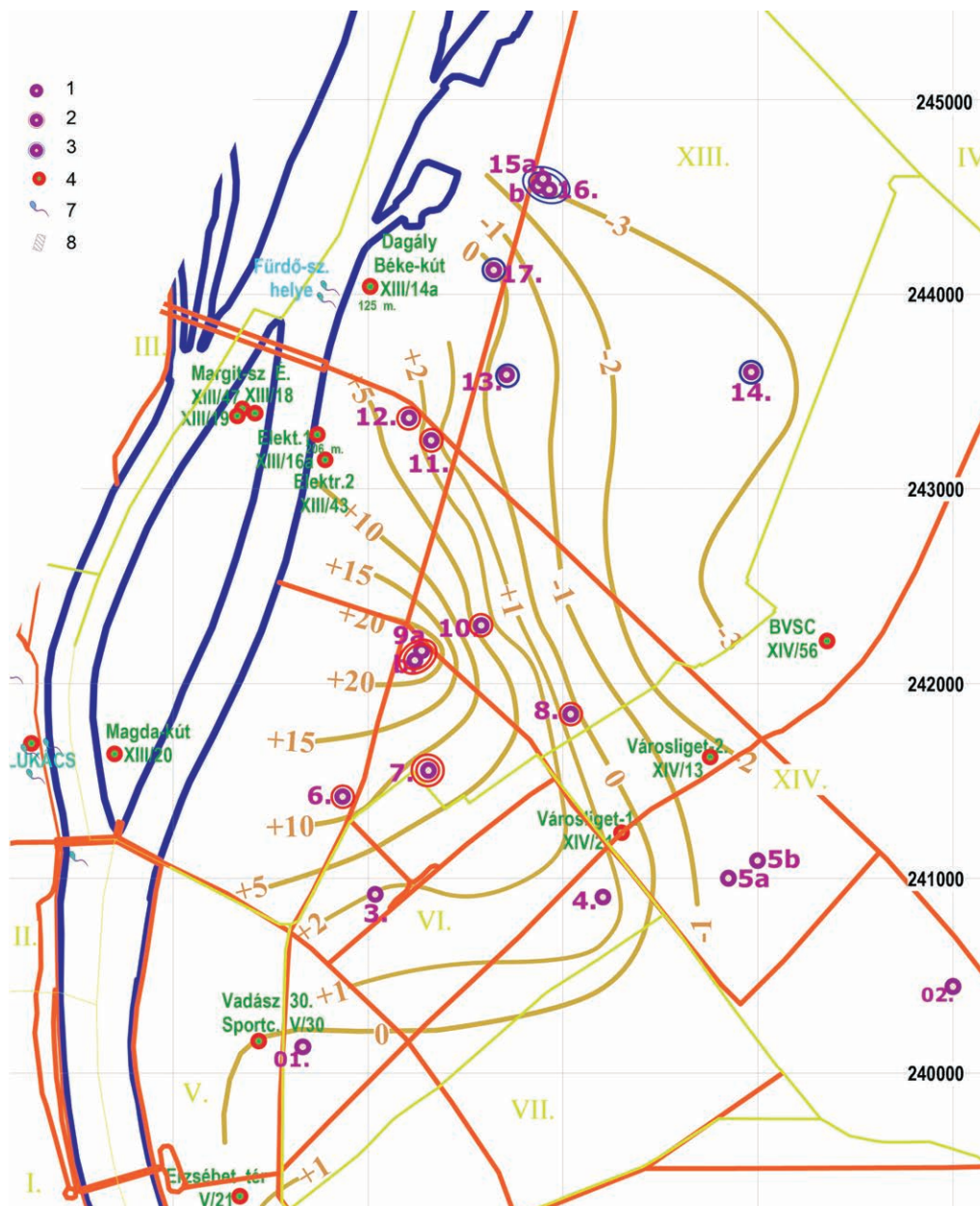
Figure 3. Characteristic temperature values at -50 m depth (key in the Figure 1)

működése is lehetséges a legkiemeltebb zónában. Az Óbudai-szigeten a Hadriánus-palota romjainál és a Rákos-patak torkolatánál ismerthez hasonló lokális forrásmézőkőpadok tehát előfordulhatnak a belváros alatt is (SCHWEITZER 2011, SCHAUER & SZLABÓCZKY 1984).

B) A keletre és délre eső, V., VI., VII. és XIV. kerületi méréseknél a talajrétegek hőmérséklete az országos átlagot meghaladja, de fővárosi viszonylatban nem számít kiemelkedőnek. A mélység felé a hőmérséklet fokozatosan emelkedik, de a talpnál is 22 fok alatt marad (2. ábra, a). A hőfokadatok szórása itt is több fok, azaz természetes különbségek nem hanyagolhatóak el ebben a „közel normál” állapotú zónában sem.

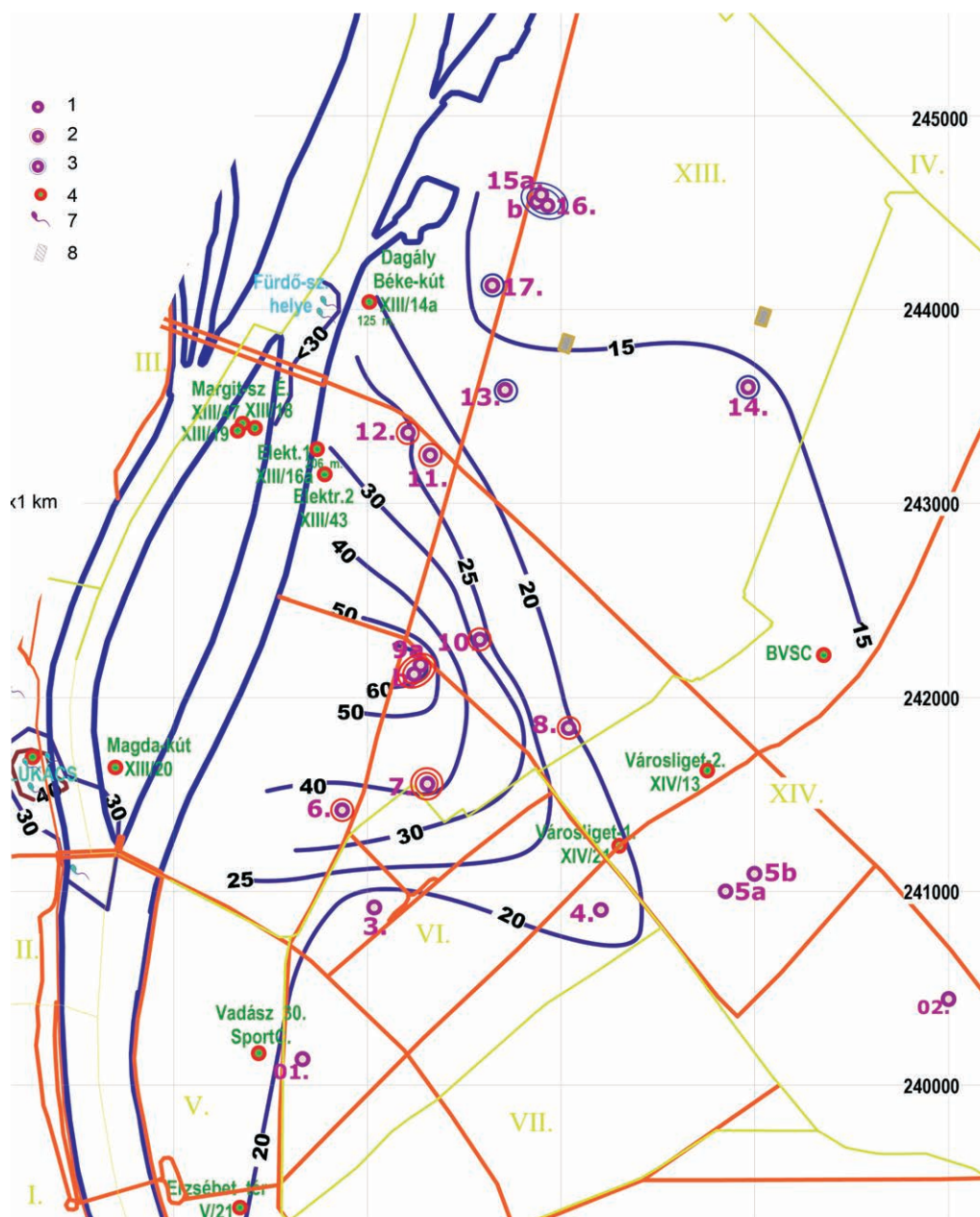
A lipótvárosi pozitív anomáliát még inkább kiemeli az, hogy a Széchenyi fürdő két régóta termelő hévízkútjának a környékétől is élesen elkülönül. Az 1878 óta termelő, palástcementezés nélküli Városliget-1 artézi hévízkút rátáplálhatja a felső rétegekre, felfűtheti őket, de ilyen hatás nem volt észlelhető.

C) A XIII. kerület északi felén, Angyalföldön végzett négy szondateszt negatív geotermikus anomáliát jelez. A 15., 16. és 17. számú helyszíneken több időben eltérő mérés is nehezen értelmezhető, mélység felé csökkenő, anomális hőfokokat regisztrált. A délebbre eső 13-as és 14-es helyszíneken kisebb mérvű és mélységű negatív anomália jelent meg.



4. ábra. Az 50 méteres mélységben mért hőfokok eltérése a jellemző medián értéktől

Figure 4. Deviation of measured temperature values from the characteristic median values (at -50 m depth)



5. ábra. 100 méter mélységben jellemző mért hőmérsékletek (jelkulcs az 1-es ábránál)

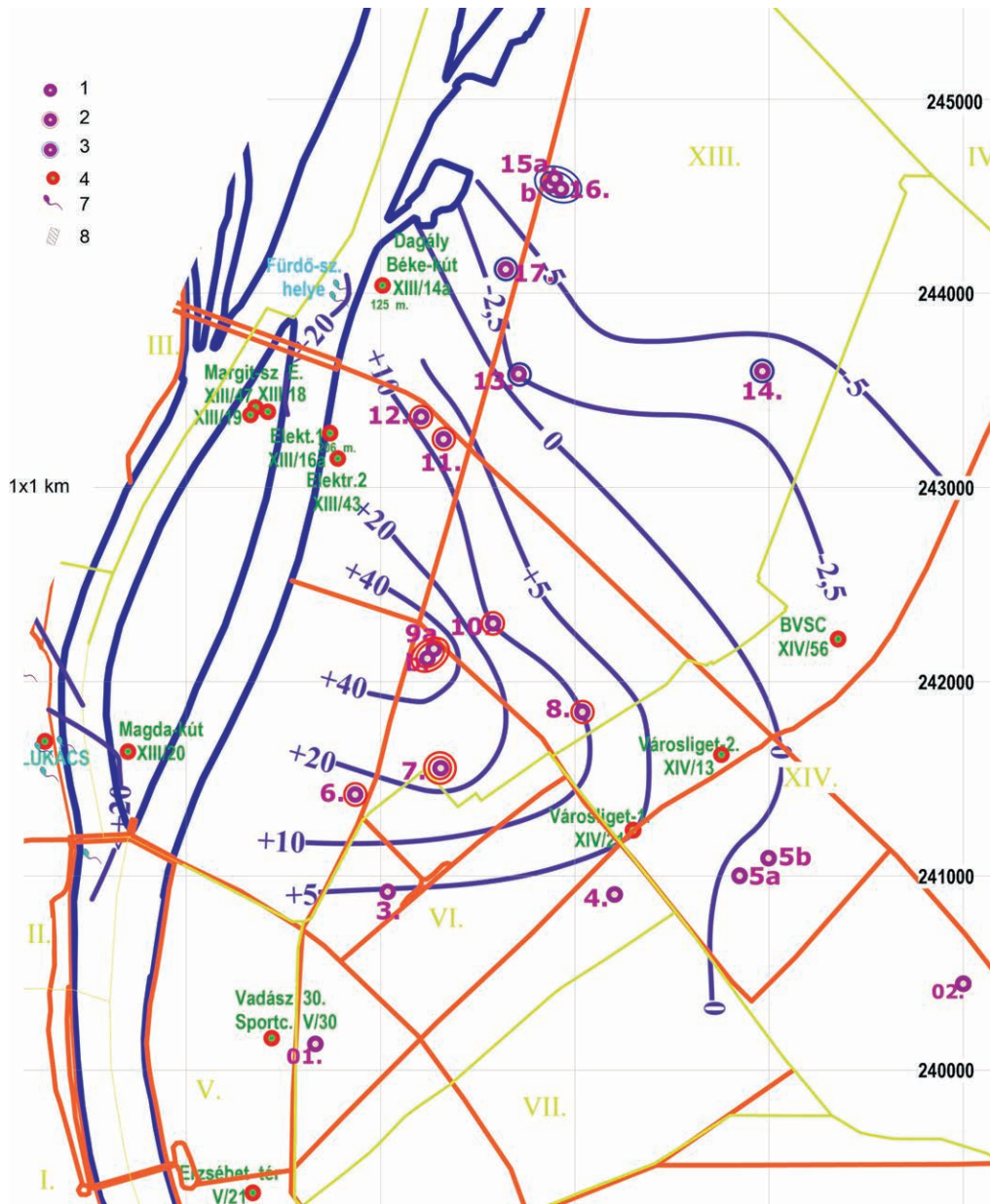
Figure 5. Characteristic temperature values at -100 m depth (key in the Figure 1)

A feltárt, intenzív pozitív anomália földtani értelmezése

A Váci út és a Dózsa György út sarkán levő 9-es szonda-fúrás talpi szakaszán a kivitelező szóbeli közlése szerint mészkövet tárt fel. A helyszínen kiszórt furadékanyag egy része egyértelműen nagyforaminiferás mészkő és márga volt (saját észlelés). A megfelelő rétegsor hiánya ellenére is jogosan feltételezhető, hogy az újlipótvárosi fúrások egy eddig ismeretlen alaphegységi kiemelkedést (sasbércet) tártak fel. A gravitációs mérések figyelembevételével általunk még 2018-ban szerkesztett, *Geotermikus Budapest* című kiadványban (LORBERER in TÓTH et al.) közölt alaphegység-térkép is ezt az értelmezést támasztja alá.

A jelenlegi ismeretek alapján a Margit-szigetet és a keletre feltárt, eltemetett párját összetett tektonikus árok választja el egymástól. Várhatóan pár éven belül lesz új szondafúrási, esetleg metróvonalhoz kapcsolódó feltárási adat is e köztes területéről is, így pontosítható lesz a két terület kapcsolata.

Az észlelt hőmérsékletek a Budai Termális Vonal dunai megcsapolási zónája felé szivárgó, a mély tárolórésztől fokozatosan a felszín felé emelkedő csóvához is kapcsolódnak. A magas hőfokok illeszkednek POYENMEHR & TÓTH (2013), majd MÁDLNÉ SZÖNYI (2021) hidrogeológiai modellezési eredményeihez. A mért hőfokok alapján azonban a dunai megcsapolási zóna több km széles lehet, és a hőfokeloszlás, illetve a pesti oldal felől érkező hévizek szivárgása is



6. ábra. A 100 méteres mélységben mért hőfokok eltérése a medián értéktől

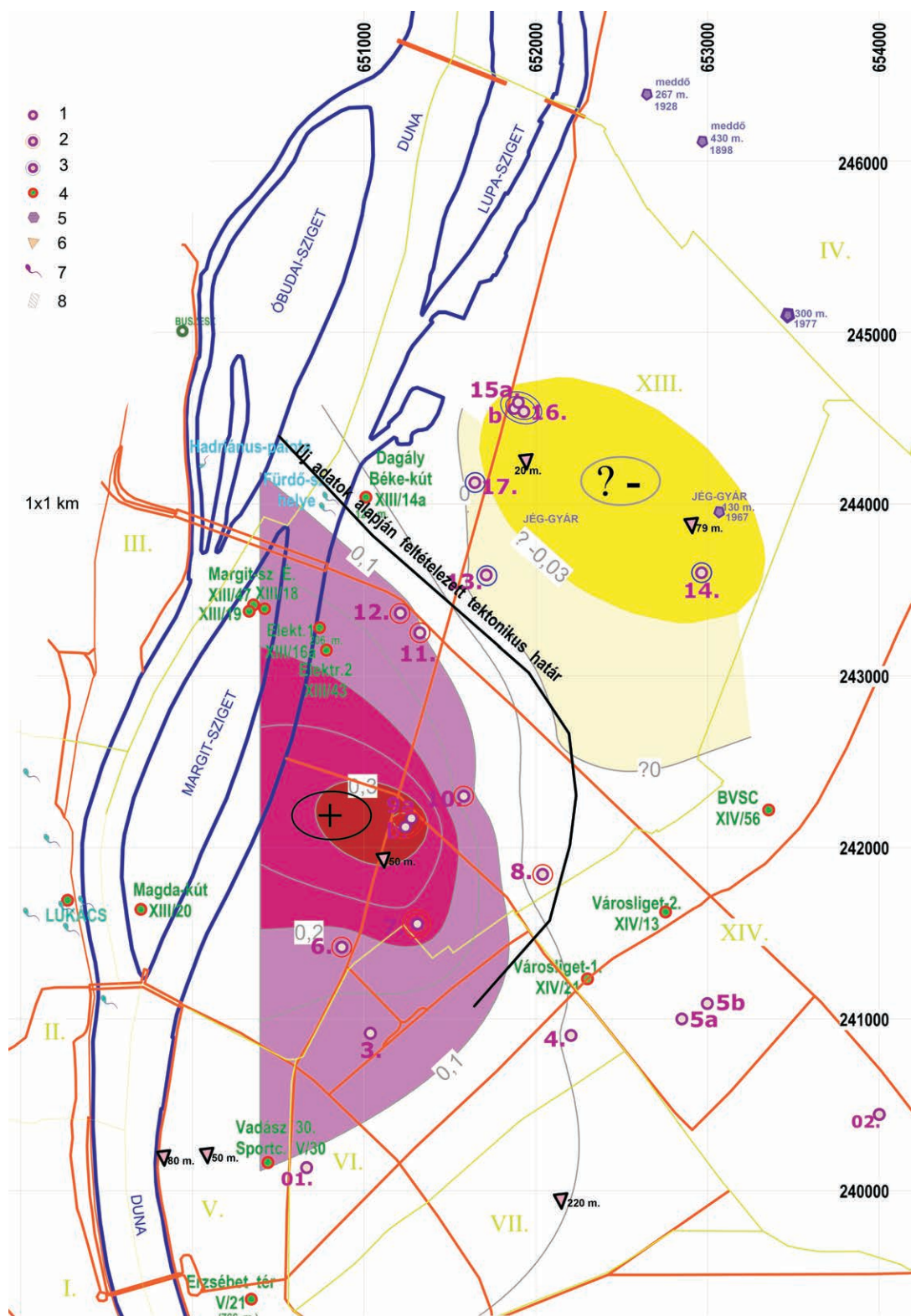
Figure 6. Deviation of measured temperature values from the characteristic median values (at -100 m depth)

összetettebb. A kelet és ÉK felől széles fronton beérkező, egységes melegégi áramlással szemben összetett törérendszerek közötti, többszintű karsztos üregrendszerben történő hévízszivárgást valószínűsítünk a pesti belváros alatt is.

Elképzelhető, hogy a feltárt hőfokeloszlás a fürdők hévíztermelésének az intenzitásával is kapcsolatban áll. Ez esetben a Városliget és a Margitsziget-dél, illetve Lukács-Császár fürdő intenzíven termelt kútjai közötti zónában jelentkező magas hőmérsékletek egy DNy–ÉK irányú preferált áramlási pászmat jelölnek ki, amelyhez képest az Árpád híd környéki megcsapolások másodlagosak, vagy részben eltérő eredetűek, vagy az üregrendszereik kevésbé kapcsolódnak össze (BÖCKER 1967).

A feltételezhető negatív geotermikus anomália leírása

Az angyalföldi anomália az átlaghoz képest csak pár fok eltérést mutat negatív irányban, emiatt bizonytalanabb, mint a délebbi, pozitív anomália. A 15a mérés eredménye után a mérést végző geológus pár nap várakozás után új mérést is végzett, mivel az első adatsor számára sem tűnt reálisnak. Az ismételt téli tesztelés, majd a nyár közepén a másik szondán végzett, független mérés is hasonló lefelé csökkenő hőfokokat mutatott. A feltöltési, mérési hiba esélye emiatt kicsi, bár természetesen itt sem zárható ki teljesen. A 15-ös és 16-os tesztelések ideje alatt vízöblítéses fúrás munkát folyt a területen a teszteléstől 25–50 m távolságban. Ez a távolság



7. ábra. Felszínközeli geotermikus gradiensek eloszlása

Figure 7. Near-surface geothermal gradients of the study area

ugyan elvileg bőven kiesik a fűróiszap hűtési hatásterületén, de pontosabb adatok híján eredetileg ez tűnt a mért anomáliák legegyszerűbb magyarázatának. A 13-as, 14-es és 17-es helyszínen azonban csak egy-egy fűrés létesült, szondame-

ző nélkül, több év eltéréssel, ez már hasonló mérési hibával nem magyarázható.

A kőzetrétegek hőmérsékletének 25–80 méter közötti 2–5 °C-os csökkenésére egyértelmű magyarázatot jelenleg nem

tudunk adni. Termohalin vagy hőkonvekciós áramlás és természetes földgázképződés az adott miocén rétegsorban valószínűtlen. Felszíntől induló leszivárgás sem elégséges magyarázat. Még a Dunához vagy a Rákos-patakhhoz kapcsolódó üregrendszerek és/vagy az Angyalföld északi felén lemélyített több régi fúrás mentén történő vízátfertőzés sem indokolja a talajrétegek közötti ilyen mérvű hőfokkülönbséget.

Valószínűleg nem természetes, hanem emberi eredetű jelenségről van szó. Három teóriát állítottunk fel:

1) A dunai regionális megcsapolási terület közvetlen közelében nagy mennyiségű hideg víz leszivárgásához és a hűtőhatás fenntartásához nagy hozamú vízelvonás, azaz (engedélyezett vagy illegális) rétegvíz megcsapolás is szükségesnek látszik. Angyalföldön működik az 1960-as évek óta a Jég- és Ásványvíz-ellátó gyár, amely a két telephelyén legalább öt különböző mélységű kutat is fenntart, amelyek akár vízkivételre, akár fagyasztásos hőtárolásra is hasznosíthatóak. A mért adatokra jó magyarázatot adhat a jéggyár túlhűtésének rétegbeli levezetése, bár az anomália ez esetben is meglepően nagy kiterjedésűnek látszik.

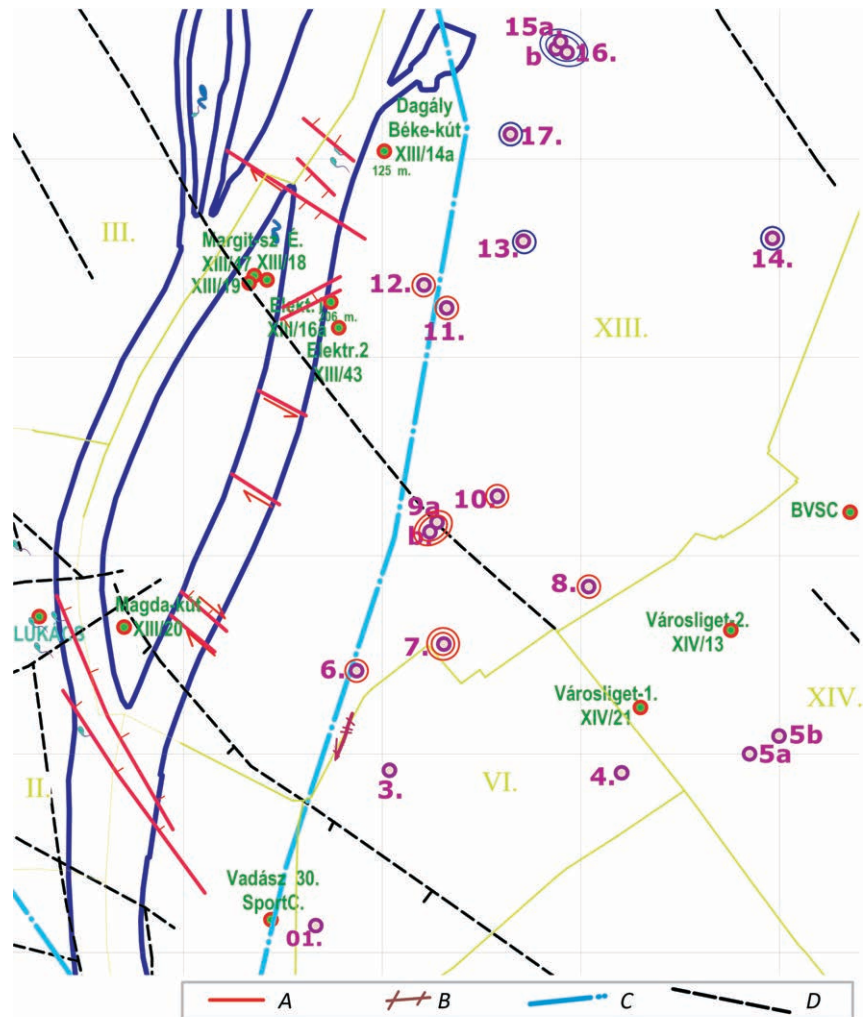
2) Valószínűbb magyarázat a talajrétegek városi hőszigetelhetőséggel összefüggő felfűtöttsége a Debrecenben BUDAY (2016) által kimutatott jelenségekhez hasonlóan. Eszerint a városi hősziget lefelé nemcsak a felső talajrétegekre hat, de Angyalföldön egészen 20–40 méteres mélységig lejut a város fűtőhatása, és ez okozza mért görbék alsó szakaszán észlelt látszólagos hőmérséklet-csökkenést. A konkrét görbék kevésbé támasztják alá ezt a magyarázatot, de sok esetben ez lehet a reális magyarázat negatív anomáliák észlelésekor.

3) Elvileg lehetséges, hogy az elmúlt kétszáz évben végzett városi feltöltések, mederrendezések alkalmával nagy mennyiségű szerves anyag jutott a kavicssterasz alatti mélyebb rétegekbe, esetleg egy nagy fajsúlyú, elfolyó vegyianyag töltötte ki a pórusok egy részét. Ennek hatására biogázképződés és ezzel járó hőtermelés indulhatott meg. Az előző pontban leírthoz hasonlóan itt is a felsőbb rétegek felfűtöttsége magyarázhatja az alsó szakaszok látszólagos hőfokcsökkenését. Nagy mélységű és nagyobb területű szemétfeltöltések a fővárosban nem itt, hanem Kőbányán ismertek – érdemes lehet az esetleges hőmérsékleti hatásukat is monitorozni.

A geotermikus adatok tektonikus értelmezése

A feltárások alapján érdemes átgondolni a belváros tektonikai értelmezését is. A 8. ábrán mutatjuk be a XIII. kerület tágabb környezetében ismert és feltételezett vetőszerkezeteket.

A Duna mai íves medrétől keletre, a Váci út alatt húzta meg a hegységperemi fő vetődés – azaz a Budai Termális Vonal – helyét a HAAS et al. (2010) által szerkesztett országos prekainozoos aljzattérkép. Az általuk feltételezett fő tektonikus törésvonal helye jól egyezik a legmagasabb észlelt hőmérsékletekkel. A Lehel téri geotermikus anomáliától kissé délre, a Balzac utca és a Váci út sarkánál a metró előzetes tervezésekor készült fúrások is több felszínközeli vető keresztezését tárták fel (BUBICS & VAJDA 1978). Az alaphegységéből induló, de a fedőrétegekre még nagyobb mértékben kiterjedő tektonikus szerkezetek jelenlétét iga-



8. ábra. Ismert és korábban feltételezett szerkezeti elemek a vizsgált terület közelében

Jelmagyarázat: A = SZAFIÁN et al. (2003) által a Margit-sziget körül kimért normálvetők és oldaleltolódások, B = BUBICS & VAJDA (1978) által kimutatott Balzac utcai vetők, C = HAAS et al. (2010) országos térképén feltételezett tektonikus törések, D = KISDINÉ BULLA et al. (1982) fedetlen térképén jelölt vetők

Figure 8. Known and previously assumed tectonic elements

Key: A = Faults documented from seismic measurements taken on the Danube by SZAFIÁN et al. (2003), B = Faults observed during underground planning (BUBICS & VAJDA 1978), C = Main faults based on the pre-cenozoic geological map of Hungary (HAAS et al. 2010), D = Faults shown on the 1:40.000 scaled Geological Map of Budapest (KISDINÉ BULLA et al. 1982)

zolták a dunai szeizmikus mérések eredményei is (SZAFIÁN et al. 2003).

A korábbi fúrási, hévízkutatási és szeizmikus adatok alapján az újlipótvárosi sasbérc nem lett volna kiszervekeshető, ehhez sokkal sűrűbb közethőmérsékleti adatokra volt szükség, ezenkívül csak gravitációs mérések segíthetnek.

A Duna alatt kimért tektonikus elemek nagy száma miatt sokféle interpretációs lehetőség adódik Lipótváros térségére – ezek közül mutatunk be egy lehetséges verziót a 9. ábrán.

A feltárt pozitív hőmérsékleti anomália határait tektonikus határoknak feleltetjük meg. Legmarkánsabb a Hungária körút térségében a két ellentétes geotermikus anomáliát elválasztó ÉNy–DK csapású határvonal, amely a vízi szeizmikával kimért vetőzónák csapásvonalához jól illeszthető. (7., 8., 9. ábra). A Dagály térségétől észak felé fokozatosan lezökkenő terciér részmedencék jelennek meg (LORBERER & LORBERER 2003). A geotermikus fúrások és a vízi szeizmikus mérések alapján a miocén rétegek intenzív lezökkenése a volt Fürdő-sziget vonalától északra kezdődhet (LORBERER & TÓTH 2019). A határoló szerkezet a hőfokadatok alapján jelentős tektonikus elem, ezért feltehető lefutását az

1. és 7. ábrán is kiemeltük. A korábban feltételezett, a Rákos- és Szilas-patak mentén húzóódó, illetve a Margit-sziget belső részét átszelő vetődések (KISDINÉ et al. 1982) jelentősége az újabb adatok alapján kisebbnek tűnik.

A feltételezett vetők számának csökkentése érdekében a 9. ábra interpretált tektonikai térképén az ÉNy–DK csapású fő vetők vonalát ívesen vezetve ugyanazon szerkezettel oldottuk meg az északi és a keleti tektonikus mélyedések elválasztását a kiemelt szerkezettől. Ez is érzékelteti a terület blokkos jellegét, ha nem is olyan mértékben, mintha hagyományos, közel egyenes lefutású, egymást keresztező vetőket ábrázolnánk. A tektonikai térkép szerkesztésekor a hévízkutak hőfokgörbéjét is figyelembe vettük, rétegsoraik bemutatása és az új pesti hévízkutak földtani eredményei külön cikket érdemelnek.

Következtetések és javaslatok

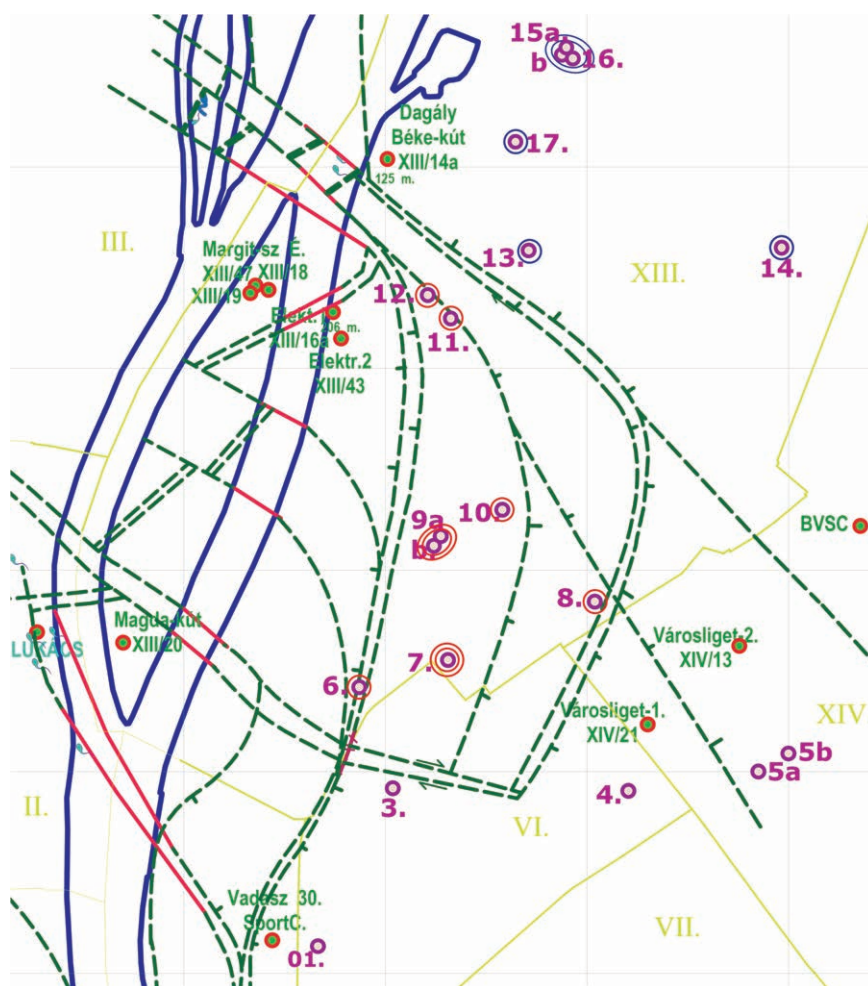
I) Szondafúrások mélységi hőmérsékleti adatai lényeges, archiválendő adatforrások. Hőmérsékleti adatok (még rétegsor nélkül is) alkalmazhatóak tektonikai interpretációra,

természetes és mesterséges geotermikus anomáliák kimutatására és új hasznosítási lehetőségek feltárására.

A negatív anomália eredetére vonatkozó teóriák bizonytalansága azt is jelzi, mennyire indokolt lenne minden mélységbe hatoló emberi beavatkozás eredményét azonnal lejegyezni és archiválni. Hasznos lenne akár a sokkal sekélyebb geotechnikai fúrások hiányos, de máig létező adattári archiválási rendszerét, akár a vízkutak részletező kataszterezését a hőszivattyús fúrásokra adaptálni.

Az utóbbi évtizedben sajnálatos módon Magyarországon is eltávolodott egymástól, és egymás konkurenciaként kezd fellépni a mély hévízhasznosítás és a zárt hurkú sekély geotermia – pedig Budapest remek példája lehetne a két hasznosítás közös fejlesztésének is.

II) A Váci út és a Dózsa György út sarkánál méréseink Magyarország legmagasabb hőmérsékleti gradiensét mutattuk ki. Az Újlipótváros alatt valószínűsített sasbércszerkezet térségéből kis mélységből is fűtési célra is alkalmas termálvíz nyerhető ki (illetve táplálható vízszal). Javasoljuk a tároló feltárását és optimalizált többcélú közös használatát.



9. ábra. Egy lehetséges szerkezetföldtani/tektonikai interpretáció a geotermikus adatok figyelembevételével
Figure 9. One of the possible interpretation take into consideration of geothermal data

III) A hazai szondatesztelési munkák ritkán veszik figyelembe a feltárt rétegsort, noha ez tudományosan is indokolható volna. A tesztelési és méretezési jegyzőkönyvekben minden esetben meg kellene adni a tesztelés napja és a lég-hőmérséklet mellett a fúrás készítési dátumát, a folyadékfeltöltés idejét és hőfokát, és a teszteléssel egyidőben a helyszínen végzett munkálatok leírását is.

IV) A geotermikus fúrások földtani értékelésének, rétegsorleírásának a hiánya földtudományi szempontból tragikus és ijesztő. Még a fővárosi, kiemelt fontosságú és közismerten bonyolult geológiai felépítésű területen készült nagyberuházások résztvevői sem szántak energiát és időt

földtani adatok begyűjtésére és arciválására, a családi házak hőszivattyúhoz készülő kis fúrási projekteknél így ezt még nehezebb elvárni. A kialakult rossz kivitelezési gyakorlat is bizonyosan megváltoztatható, ha a szabályozások motiválnák a kivitelezőket a környezeti adatok begyűjtésére és leadására, kutatók bevonására.

A geotermikus fejlesztéseknek köszönhetően az utóbbi években folyamatosan új földtani eredmények születnek Budapesten. Jelen cikkünk a földtani szempontból legelnyagoltabb geotermikus szondafúrásokra fókuszált. A későbbiekben mindezt az új hévízkutak és fúrások földtani adatainak a szintetizálásával tervezzük folytatni.

Irodalom – References

- BÖCKER T. 1967: A budapesti hévízkutak összefüggése. – *Vízügyi Közlemények* **49/2**, 365–389.
- BUBICS I. & VAJDA P. 1978: A Marx tér és Élmunkás tér közötti Metró vonalszakasz építésföldtani, mérnökgeológiai ismertetése. – *Mérnökgeológiai Szemle* **20**, 43–58
- BUDAY T. 2016: A városi felszín alatti hőtöbblet hatása a geotermikus hőszivattyúk működésére. – In: LÁZÁR I. (szerk.): *Környezet és energia a mindennapokban*. MTA DAB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 127–132.
- HAAS J., BUDAI T., CSONTOS L., FODOR L. & KONRÁD GY. (szerk.) 2010: *Magyarország pre-kainozoos földtani térképe M=1:500 000*. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- KISDINÉ BULLA J., RAINCSÁKNÉ KOSÁRY ZS. & SZABÓNÉ DRUNINA M. 1982: *Budapest építésföldtani térképsorozata. – Fedetlen földtani térkép M=1:40 000*. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- MÁDLNÉ SZÖNYI J. 2021: Felszín alatti vízáramlások mintázata fedetlen és kapcsolódó fedett karbonátos víztartó rendszerekben, a Budai-termáلكarszt tágabb környezetének példáján. – *Kézirat, MTA doktori értekezés* (<http://real-d.mtak.hu/1317/>)
- LORBERER, Á. F. 2019: Geothermal exploration borehole report and design suggestions for the CP3 office building located in Budapest, between the Váci, Frangepán and Lomb streets. – *Manuscript*, Project-report Bánáti-Hartvig Építésziroda, Földtudományi Tervező Kft., 8 p.
- LORBERER Á. & LORBERER Á. F. 2003: Hévízföldtani-rezervoármechanikai szakvélemény a Duna Pláza (Bp. XIII. Meder u.) geotermikus energiahasznosítási lehetőségeiről. – *Kézirat*, 12 p.
- LORBERER Á. F. & TÓTH L. 2021: Geotermikus anomáliák Újlipótváros és Angyalföld alatt geotermikus hőszivattyús fúrások alapján. – *Magyar Geotermális Egyesület Földhő hírlevél*, 2021/4.
- LORBERER Á. F. & TÓTH T. 2019: A fővárosi Fürdő-sziget és hévforrásainak hasznosítása. – *Hidrológiai Közlemény* **97/1**, 59–66.
- MARTON B., TÓTH L. & ÁDÁM B. 2005–2022: Jelentés geotermikus próbafúrás és szondateszt elvégzéséről. (*kézirat több helyszínről*)
- POYANMEHR, Z. & TÓTH, GY. 2013: Conceptualization and implementation of a groundwater flow model for the Buda thermal-karst system, Hungary. – *Central European Geology* **56/4**, 359–380. <https://doi.org/10.1556/CEuGeol.56.2013.4.4>
- SCHEUER GY. & SZLABÓCZKY P. 1984: Új szökevény hévforrások a pesti oldalon. – *Hidrológiai Tájékoztató* **1984. október**, 23–25.
- SCHWEITZER F. 2011: Aquincum római kori környezetének hidrográfiai viszonyai. – http://www.mtafk.hu/konyvtar/kiadv/Schweitzer/5_Aquincum.pdf
- SZAFIÁN P., TÓTH T. & DÖVÉNYI P. 1996: A margitszigeti pesti Duna-ág tektonikai vizsgálata többszatornás vízi szeizmikus szelvények segítségével. – *Kézirat*, KöDuVizIg, BGyH Zrt., Geomega Kft., 8 p.
- TÓTH A. (főszerk.), TÓTH GY., LORBERER Á. F., KERÉKGYÁRTÓ T., MÁRTON B., ÁDÁM B., NYIKOS I., OROSZ I., PETÓ Z., TEREMY V. & ALBRECHT U. 2020: *Geotermikus Budapest kézikönyv*. – A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal kiadványa, Budapest, 125 p. (<http://www.mekh.hu/geotermikus-budapest>)
- TÓTH L. 2016–2021: Geotermikus szondateszt és hőszivattyús szondafúrás-rendszer méretezés – beszámoló a XIV. kerületben a Gizella utcai konzulátusnál és a városligeti Magyar Zene házában, a XIII. kerületi Lehel u. 9. és Viktor Hugo u. 1., a VI. kerületben a Ferdinánd híd mellé tervezett cirkusz és az V. kerületi Szervita téren végzett mérésekről. – *Kéziratos projektjelentések*.
- TÓTH L., BÖJTE Á., MÁRKY GY. & NÉMETH I. 2006–2021: Szondateszt – Geothermal Response Test a talaj hővezető-képességnek a meghatározására a Zsinór és Jász utcák sarkán épülő 100 lakásos passzívház, a XIII. kerületi H₂O irodaház, a Párkány utcai CPI irodaház és a Dessewffy u. 14. c. hotel területéről. – *kéziratos projektjelentések*.
- Kézirat beérkezett: 2022. 08. 02.