

A budapesti Gellért- és a József-hegy felszín alatti vizeiben mért radon- és rádiumtartalom lehetséges forrásai

Potential radon and radium sources for subsurface water of Gellért and József Hills, Budapest, Hungary

PALOTAI Márton¹, MÁDLNÉ SZÖNYI Judit¹ & HORVÁTH Ákos²

Abstract

On the basis of already published data of radon and radium measurements in the groundwater of the Gellért and József Hills (Budapest, Hungary), expanded by measurements accomplished during recent research, the most prominently radioactive area lies at the northern part of Gellért Hill. In the centre of the anomaly, the Rudas Spa, ~600 Bq/l radon and ~1000 mBq/l radium concentrations are measured. Radon and radium concentrations decrease towards the neighbouring Gellért and Rác Spas. These values are the highest in Hungary's ground waters. Related to the waters of the Gellért Hill, the springs of the József Hill show radioactivity values even a magnitude lower. Radium concentrations of lukewarm springs are about 50–100 mBq/l, while hot springs show 200–300 mBq/l radium content. Both types have radon concentrations averaging 20–25 Bq/l. The Római Spring shows a local anomaly: its radium content does not significantly differ from related springs, but radon concentrations are 4–5 times higher than those.

According to the established model, spring waters gain radium originated in deep basins, while radium content of infiltrating waters is considered as insignificant. The different radium contents of the hot and lukewarm waters in the József Hill area are explained by this model.

The comparability of the radon concentrations of the above mentioned springs suggests similar geological settings of the discharge areas. Radon sources are supposed to be mainly bound to Oligocene clay formations. Anomalous behaviour of the Római Spring is not completely explained yet.

The prominent radioactivity of the waters of the Gellért Hill are – according to our hypothesis – explained by the combined effect of a currently not exposed Upper Cretaceous lamprophyric dyke lying in the discharge area of the Rudas springs, and the tectonic element also inducing spring discharge.

Összefoglalás

A Gellért-hegy tágabb környezete és a József-hegy térségének forrás- és kútvezeiből korábban készült radon- és rádiummérések, valamint jelen kutatás keretei közt elvégzett, kiegészítő jellegű mérések alapján a legkiemelkedőbb aktivitású terület a Gellért-hegy északi részén – központjában a Rudas-fürdővel – található (Rn: 600 Bq/l, Ra: 1000 mBq/l körül). A magyarországi felszín alatti vizekben itt mérhető a legnagyobb radontartalom. A radioaktivitás mértéke a Gellért- és a Rác-fürdők felé csökken. A József-hegyi forrásokban akár egy nagyságrenddel kisebb rádium- és radonaktivitások mérhetők. A langyos források rádiumtartalma (50–100 mBq/l), a meleg forrásokban mért értékeknek (200–300 mBq/l) csak fele, harmada. Radontartalmuk – hőmérséklettől függetlenül – 20–25 Bq/l körüli. Lokálisan elkülönül a Római-forrás, melynek rádiumtartalma a rokon kutakéval összevethető, radonkoncentrációja azonban négy-öttször nagyobb azokénál.

A felállított modell szerint a mélymedencékből származó rádium a kiáramlási zónákban – a keveredési arányoktól függően – hozzájárul a források rádiumtartalmához. A felszínről leszivárgó vizek rádiumtartalmát e komponenshez képest elenyészőnek ítéljük. Ezzel magyarázzuk a József-hegy langyos és meleg forrásainak eltérő rádiumtartalmát.

A József-hegy meleg és langyos forrásaiban mérhető radonkoncentrációk hasonlóságának okát a kiáramlási területek földtani hasonlóságával magyarázzuk. A radon forrását e zónában – eddig bizonyíthatóan – oligocén agyagos képződmények jelentik. Egyéb kainozóos kőzetek szerepe egyelőre – vizsgálatok hiányában – nem ismert. A Római-forrás anomális viselkedésének okát megnyugtatóan nem sikerült tisztázni.

Hipotézisünkben a Rudas-fürdő forrásai radioaktivitásának kiemelkedő voltát egy, a kiáramlási területük alatti, jelenleg fel nem tárt, felső-kréta lamprofiros telér, és a forráskilépést előidéző szerkezeti elem együttes hatásával magyarázzuk.

¹ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.
E-mail: palotai@elte.hu

²ELTE TTK, Atomfizikai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c

Bevezetés

A felszín alatti vizek radioaktivitásának megismerése rendkívül fontos feladat. A radioaktív vizeknek egyrészt jelentős gyógyászati felhasználása lehetséges, melynek megfelelő kihasználásához nem nélkülözhető a geológiai és egyéb hatótényezők ismerete. Másrészt a magas radioaktivitású, különösképpen a magas radontartalmú vizek esetleges egészségkárosító hatása miatt is szükséges e vizek eredetének, jellegeinek vizsgálata.

A budapesti hévizek radioaktivitása a XX. század eleje (WESZELSZKY 1912) óta ismert, részletes vizsgálatok azonban – napjainkig is – csak a Gellért-hegy, valamint a József-hegy területére vonatkozóan készültek (ALFÖLDI et al. 1968; BARADÁCS et al. 1999, 2001, 2002; KASZTOVSZKY et al. 1996; VÁRHALMI 2004). Ez utóbbi munkák azonban nem, vagy csak érintőlegesen foglalkoznak a jelenség eredetével, földtani okaival.

A Budai-termáلكarszt területén kimutatott radioaktivitás földtani hátterének kutatásához első lépésben össze kellett gyűjtenünk és rendszereznünk

az irodalomban a vizsgálandó terület felszín alatti vizeinek radon- ill. rádiumtartalmával kapcsolatos fellelhető adatok mindegyikét. Fontos volt az egyes méréseknél alkalmazott technikák feltárása, a mérési hibák utólagos megítélése. Ezután kerülhetett sor néhány kiegészítő mérés elvégzésére. Az így előállt adatbázis birtokában vállalkozhattunk a radon- ill. rádiumkoncentrációk területi változékonyságának, valamint egymással, és a felszín alatti vizek egyéb paramétereivel – hőmérséklet, vízkémiai jellegek, stb. – való összefüggések vizsgálatára. A mérési eredmények értelmezése, és a rendelkezésre álló földtani, hidrogeológiai ismeretek összevetése alapján hipotézis-modellt állítunk fel a vizekben megjelenő radon és rádium eredetének lehetséges forrásaira vonatkozóan. E felvetések – az adatok szórvány jellege miatt – munkahipotézisként kezelendők, de alapjául szolgálnak a kérdéskör további szisztematikus kutatásának.

A Gellért-hegyi és József-hegyi forráscsoportok radioaktivitása

A budai termáلكarszt vizeiben átfogó radon- és rádiummérések ez idáig nem készültek. A Gellért- és a József-hegyi források környezetében ennek ellenére viszonylag sok mérés áll rendelkezésre. Ehhez képest az észak-budai források, valamint a mélyfúrású kutak vizsgálata elmaradottabb.

Az irodalomban fellelhető adatokat a szerzők különféle módszerekkel mérték. ALFÖLDI és társai (1968) nem közölték a mérési módszereket. BARADÁCS és társai (1999) maratontnyom-detektoros méréseket végeztek, 2001-ben és 2002-ben újabb, buborékoltatásos radon- és rádiumeredményeket közöltek. KASZTOVSZKY és társai (1996) egyrészt közölték a korábban, pl. SZERBIN (1994) által publikált, buborékoltatásos radonadatokat a Rudas-fürdő ivócsarnokának forrásaira, másrészt egyéb forrásokra nézve új, részben folyadékszintillációs eredményekről is beszámoltak. VÁRHALMI (2004) és PALOTAI (2004) ELTE-n mért folyadékszintillációs adatai képezik az archív adatokat kiegészítő utólagos méréseket.

Gellért-hegyi források radontartalma

Kutak és források

A Gellért-hegy északkeleti oldalában, feltételezhetően a peremi vetőzónához kapcsolódóan (PAPP 1942) jelennek meg a hévforrások. Hőmérsékletük 30–47°C közt változik, egy-egy forrás hőmérsékletének ingadozása 3–4°C-nál általában nem nagyobb (HORUSITZKY 1939, PAPP 1942, ALFÖLDI et

al. 1968 alapján). Valamennyi forrás triász dolomitból fakad, a fűrt kutak is általában erre vannak szűrözve. A forráscsoportra három gyógyfürdő települt.

A legészakabbi Rác-fürdő két forrása a Nagy-(2) és a Kis- vagy Mátyás-forrás (1). (zárójelben a kutak 1. ábrán szereplő sorszáma).

A Rác-fürdőtől délkeletre, a Szabadság-híd déli oldalán található a Rudas-fürdő. Természetes forrásai délről észak felé haladva: Árpád II., Árpád I. (14), Mátyás (12), Beatrix (11), Diana (13), Hygieia, Kinizsi (10), Gül Baba (9), Török (8), Musztafa, Rákóczi (7), Kossuth, Attila I., Udvari, Hungária I. (3) források.

A fűrt kutak dél felől északra haladva: Árpád IV. (15), Árpád III., Hungária II. (6), Attila II. (4), Juventus (5) kutak (Papp 1942 és Alföldi et al. 1968 alapján).

Ma e források és kutak nem mindegyike üzemel, ill. érhető el.

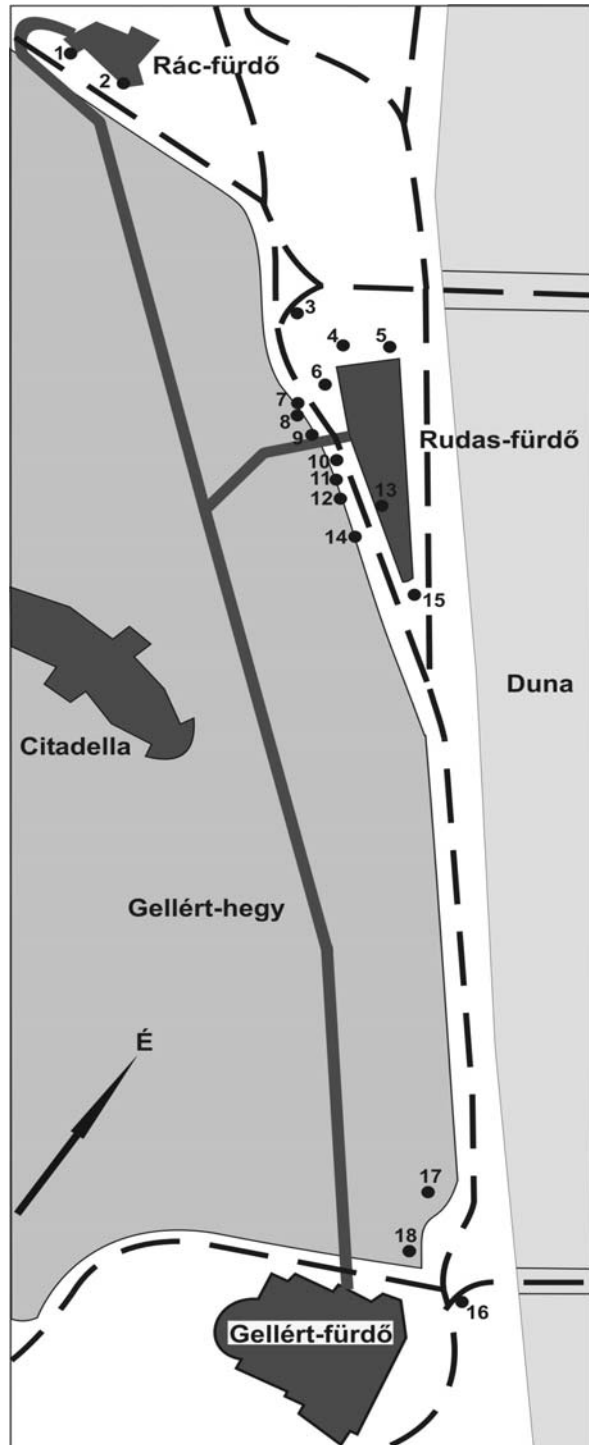
A fürdő ivócsarnokába a Juventus, az Attila II. és a Hungária II. kutak vizét vezetik, az eredeti Attila- és Hungária-forrásokat nem használják.

A Gellért-hegy déli részén fekvő Gellért-fürdő eredetileg az ún. Ósforrásra [a régi Sárosfürdőre (16)] települt, amely jelenleg lefedve a Szabadság-hídra kanyarodó villamossínnek alatt található. A délről észak felé (általában) növekvő sorszámú fűrt kutak részben a hegy belsejébe vágott táróban mélyültek. A táro északnyugat felé egészen a Rác-fürdőig tart, leágazása van a Rudas felé is.

A Gellért-hegy oldala mentén a Dunában szökevényforrások fakadnak. Ezek radioaktivitására vonatkozó adatokat nem találtunk.

A radontartalom értékelése

Az 1–3. táblázatok és a 2–3. ábrák a Gellért-hegyi források és kutak publikált radonméréseit foglalják össze.



Az 1. táblázat adatait megvizsgálva, elsőként az eltérő mérési módszerekből származó eltéréseket vizsgáltuk meg. BARADÁCS és társai (2002) nyomdetektoros értékei általában kb. 10%-kal kisebbek saját buborékoltatásos eredményeiknél. VÁRHALMI (2004) és PALOTAI (2004) azonos, szcintillációs módszerrel mért értékei között 10–30%-os eltérés is kimutatható. A szcintillációs módszerrel végzett mérések előzőektől való eltérését a vizsgálatokban megmért források kis száma miatt nehéz megítélni, de jelentős eltérést nem feltételezünk. VÁRHALMI (2004) valamint KASZTOVSZKY és társai (1996) Rudas, ivócsarnokbeli szintén szcintillációs technikával végzett mérései (Attila II., Hungária II., Juventus) jól egyeznek VÁRHALMI (2004) eredményeivel, ezért feltehetjük, hogy a Gül Babaforrásra vonatkozó mérések is hasonló kalibrációval készültek. Az ALFÖLDI és társai (1968) munkájában összefoglalt adatok az ivócsarnok esetében nem térnek el lényegesen a később publikáltaktól, ezért a Dianaforrásra vonatkozó egyedi mérési eredményüket sem kell elutasítanunk. A WESZELSZKY (1937) alapos méréssorozatából kirajzolódó trend szintén hasonló képet mutat, az általa használt mértékegységek könnyen átszámíthatók a jelenleg használatos egységekre.

A Gellért-hegy forrásainak radontartalmát megvizsgálva (1. táblázat, 2. ábra) egy, a Rudas-fürdő környezetében kicsúcsosodó koncentrációmaximumot figyelhetünk meg. A Gellért-hegy déli részén 30–100 Bq/l közti koncentrációk jellemzők, a legkisebb értékeket a déli Ósforrásban mérték. A Rudas felé haladva a koncentrációk nőnek, ott 120-ról egészen 600 Bq/l-ig is felmegy a radontartalom, majd a Rác-fürdő felé ismét lecsökken 80–130 Bq/l-re.

1. ábra. A Gellért-hegy északkeleti oldala, a fürdők, a fontosabb források és a táró feltüntetésével. A Gellért-hegyi táróban mélyített kutakat nem ábrázoltuk.

Fig. 1. Northwestern side of the Gellért Hill with spa buildings, major springs and the tunnel. (Forrás = spring, fürdő = spa, kút = well).

1. Mátyás-forrás (Rác-fürdő)
2. Nagy-forrás
3. Hungária I. forrás
4. Attila II. kút
5. Juventus-kút
6. Hungária II. kút
7. Rákóczi-forrás
8. Török-forrás
9. Gül Baba-forrás
10. Kinizsi-forrás
11. Beatrix-forrás
12. Mátyás-forrás (Rudas-fürdő)
13. Diana-forrás
14. Árpád I. forrás
15. Árpád IV. kút
16. Ósforrás
17. III. kút
18. II. kút.

1. táblázat. A Gellért-hegyi források radontartalma [Bq/l]. ALFÖLDI és társai (1968) bizonyos adatai, valamint KASZTOVSZKY és társai (1996), VÁRHALMI (2004) és PALOTAI (2004) Hungária II., Attila II. és Juventus kutakra vonatkozó adatai átlagok, utóbbi három publikáció mért adatai a 2. és 3. táblázatban szerepelnek. SZERBIN (1994) az OSSKI-féle 1990-es méréseket mutatja be, míg ALFÖLDI és társai (1968) összegyűjtött archív eredményeket közölnek.

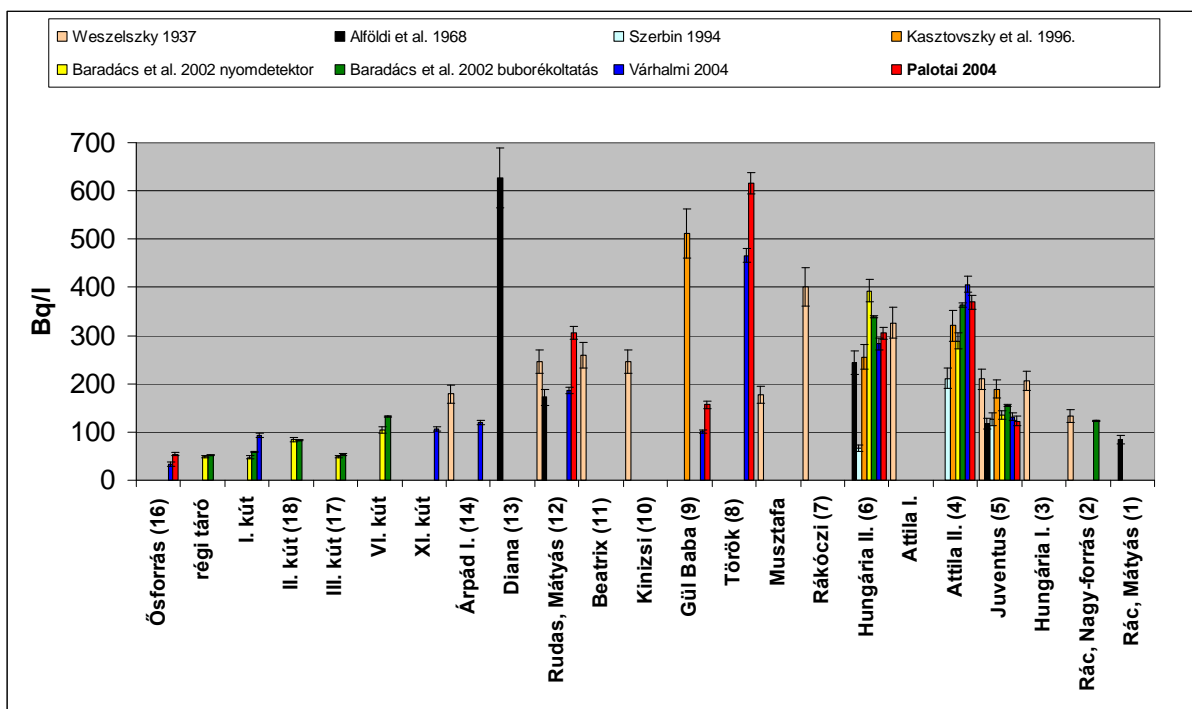
Table 1. Radon content of the Gellért Hill springs [Bq/l]. Some data of ALFÖLDI et al. (1968), as well as the data on Hungária II., Attila II. and Juventus wells published by KASZTOVSZKY et al. (1996), VÁRHALMI (2004) and PALOTAI (2004) are averages. The measured values of the latter three publications are shown in tables 2. and 3. Measurements made by the OSSKI in 1990 are published by SZERBIN (1994), whereas different archive measurements are compiled by ALFÖLDI et al. (1968).

forrás	WESZELSZKY 1937	ALFÖLDI et al. 1968	mérés éve	SZERBIN 1994	KASZTOVSZKY et al. 1996.	BARADÁCS et al. 2002	hiba	BARADÁCS et al. 2002	hiba	VÁRHALMI 2004	hiba	PALOTAI 2004	hiba
módszer				buboré- koltatás	szcintilláció	nyom- detektor		buboré- koltatás		szcintilláció		szcintilláció	
Ősforrás										33	4	54	4
régi táró						49	3	52	1				
I. kút						47	3	58	1	93	4		
II. kút						84	5	83	2				
III. kút						49	3	54	2				
VI. kút						104	6	132	2				
XI. kút										106	5		
Árpád I.	178									120	5		
Diana		627	1942–55										
Rudas, Mátyás	246	172	1956							186	7	305	13
Beatrix	259												
Kinizsi	246												
Gül Baba					466 ill. 512					101	4	156	8
Török										466	14	615 ill. 604	22
Musztafa	178												
Rákóczi	401												
Hungária II.		244	1941–43	67	255	393	23	339	2	283	12	305	13
Attila I.	326												
Attila II.				211	321	289	17	363	4	406	16	369	15
Juventus	209	117	1932–55	126	189	135	9	155	2	131	7	122	10
Hungária I.	206												
Rác, Nagy- forrás	132							123	2				
Rác, Mátyás		84	1941										

A Rudas fürdő körzetén belül is ki lehet jelölni azt a szűkebb zónát, amely a legnagyobb radontartalommal bír (1–3. ábra, 1. táblázat). WESZELSZKY (1937) szerint a Rákóczi-forrástól észak és dél felé egyaránt jelentősen csökken a radonkoncentráció. KASZTOVSZKY és társai (1996) a Gül-Baba-forrásban mértek egészen kiugró, 500 Bq/l körüli értékeket. VÁRHALMI (2004) a Gül Baba- és a Rákóczi-forrás között elhelyezkedő Török-forrásban talált kimagasló, 460 Bq/l-es radontartalmat. PALOTAI (2004) szintén a Török-forrásban talált maximális, 600 Bq/l körüli maximumot. Úgy tűnik, hogy a Rákóczi-, Török-, Gül Baba-források körzete mutatja a legnagyobb radonkoncentrációkat, és ez a maximum egyrészt észak (Hungária II., Attila I., Attila II., Hungária I. stb.), másrészt dél (Kinizsi, Beatrix, Mátyás, Árpád I. stb.) felé csökken. Ettől a trendtől eltér az ALFÖLDI és társai (1968) által leírt, 1940-es

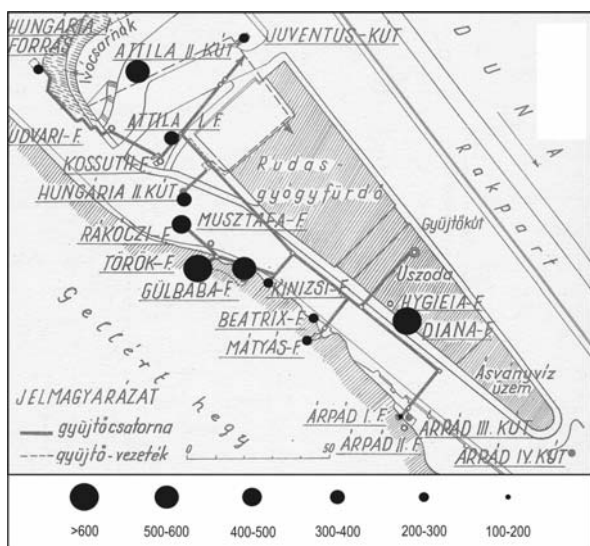
évekből származó, Diana-forrásra vonatkozó, kiugró 600 Bq/l körüli érték. Mivel ez az adat több mérés, – melyek közt évek teltek el – átlaga, és a mérések közti eltérés csak 20% körüli, nem tulajdoníthatjuk mérési hibának. A Diana-forrás radioaktivitására vonatkozóan sajnos egyéb adat nem áll rendelkezésre.

A 2. és 3. táblázatban a Rudas-fürdő É-i részén található kutak (Hungária II., Attila II., Juventus) különböző időpontokban, de azonos módszerrel mért adatait közöljük. Az adatok összevetéséből kiderül, hogy az Attila II. kút környezetében is kirajzolódik egy lokális – a Török-forrás körzetéhez képest kisebb – maximum. Az eredeti mérési adatok egyúttal az értékek szórását is mutatják az egyes kutakra vonatkozóan. Ezekből az adatokból kiderül, hogy a három részletesen vizsgált kút között több mint 100 Bq/l-nyi koncentrációkülönbség áll fenn.



2. ábra. A Gellért-hegyi források radontartalma különböző publikációk alapján. Ahol a hibahatárokat nem közölték, ott 10%-os hibát tételeztünk fel. Zárójelben a források 1. ábrán szereplő sorszáma.

Fig. 2. Radon content of Gellért Hill springs, as published by various authors [Bq/l]. An error of 10% was assumed unless otherwise stated in table 1. Numbers of the springs on fig. 1. are shown in parentheses.



3. ábra. A Rudas-fürdő forrásaiban mért legnagyobb radonkoncentrációk. A kategóriákba történő besorolás az 1–3. táblázatban összefoglalt, az egyes források bármely hivatkozott publikációban közölt legnagyobb értéke alapján történt. (Alaptérkép: ALFÖLDI et al. 1968)

Fig. 3. Highest measured radon concentrations of Gellért Hill springs. Categorisation was accomplished on the basis of highest measured values of the springs in any publication, as summarised in tables 1–3.

2. táblázat. Az ELTE-n 1995-ben mért radonkoncentrációk (KASZTOVSZKY et al. 1996).

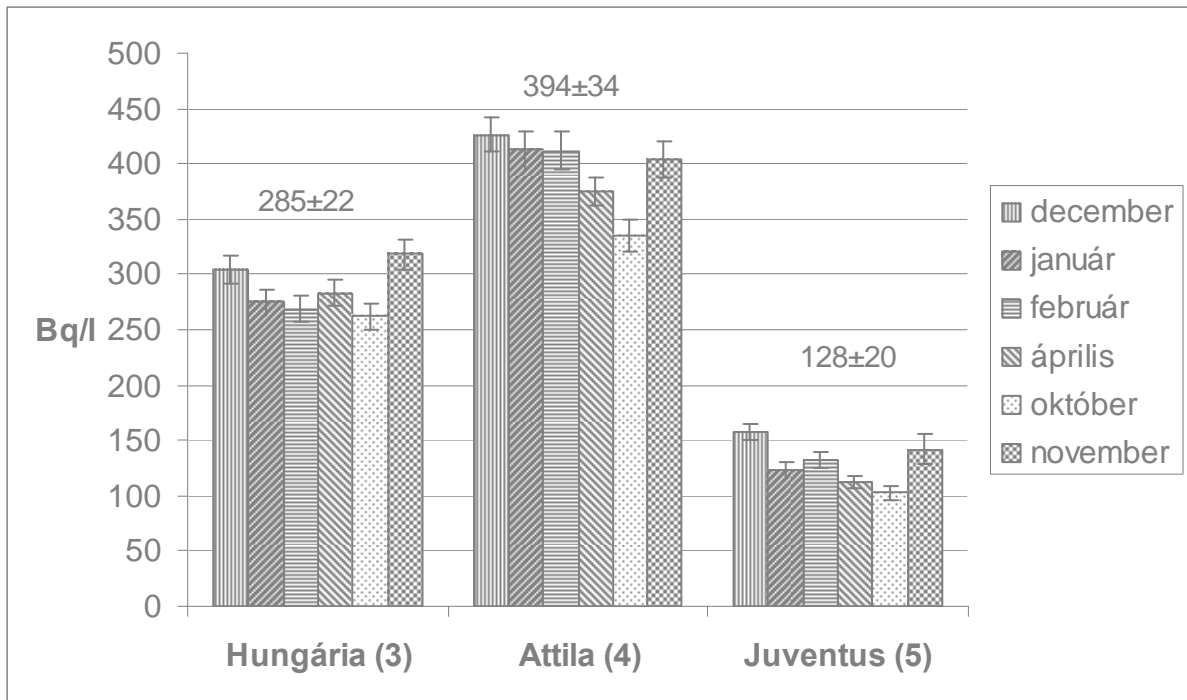
Table 2. Radon concentrations measured in 1995 at Eötvös University (KASZTOVSZKY et al. 1996).

	1995.02.01.	1995.02.09.	1995.02.28.	1995.08.22.	1995.11.14.
Hungária II.	252	258			
Attila II.	300	355		304	330
Juventus	139	149	158	305	

3. táblázat. VÁRHALMI (2004) és PALOTAI (2004) által mért radonkoncentrációk a Rudas-fürdő ivócsarnokában.

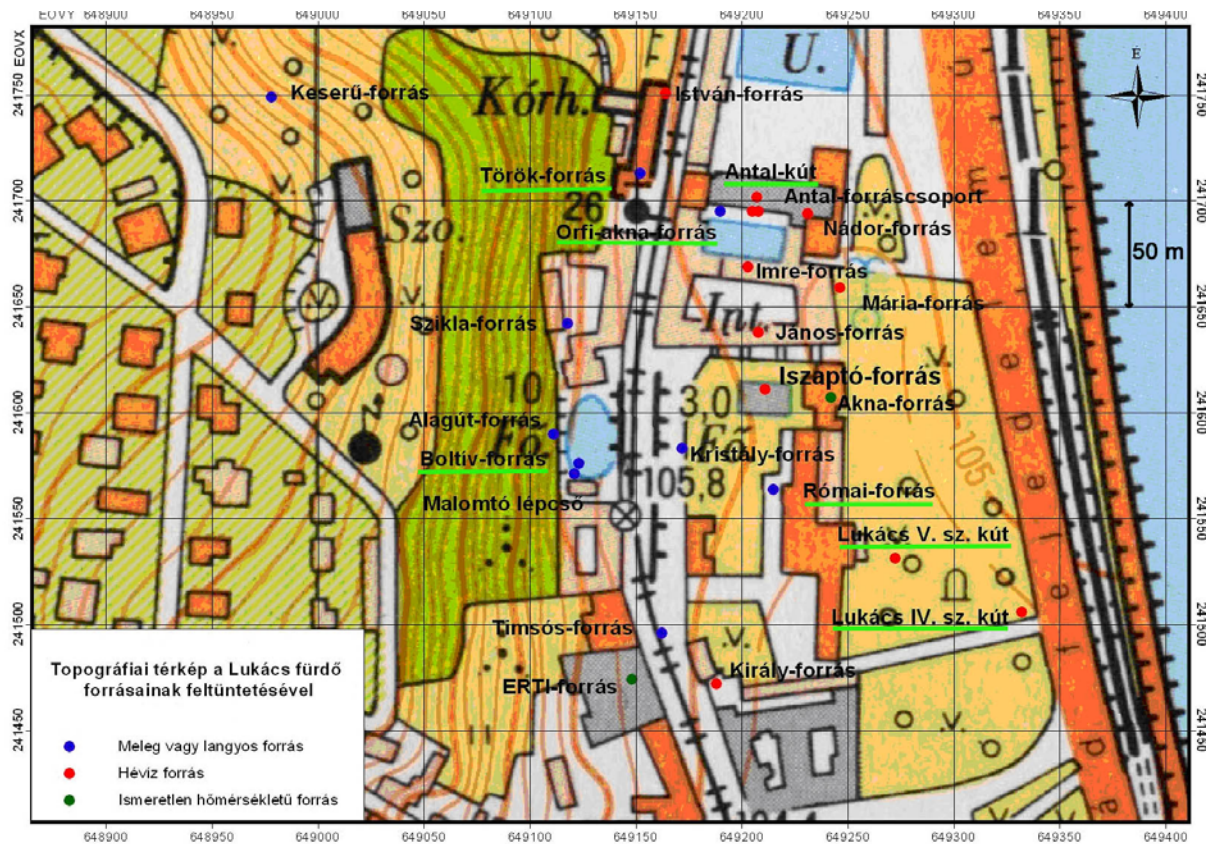
Table 3. Radon concentrations of the drinking hall of Rudas Spa, as measured by VÁRHALMI (2004) and PALOTAI (2004).

[Bq/l]	2003. 12.02	2004. 01.07	2004. 02.24	2004. 04.20	2004. 10.29	2004. 11.22
	VÁRHALMI 2004	VÁRHALMI 2004	VÁRHALMI 2004	VÁRHALMI 2004	PALOTAI 2004	PALOTAI 2004
Hungária II.	305	275	268	283	262	318
hiba	12	13	12	11	12	14
Attila II.	426	413	412	375	335	403
hiba	15	18	17	13	14	16
Juventus	157	123	133	113	103	142
hiba	7	8	7	6	6	14



4. ábra. VÁRHALMI (2004) és PALOTAI (2004) által mért radonkoncentrációk a Rudas-fürdő ivócsarnokában. Zárójelben a kutak 1. ábrán szereplő sorszáma.

Fig. 4. Radon concentrations of the drinking hall of Rudas Spa, as measured by VÁRHALMI (2004) and PALOTAI (2004). Numbers of the springs on Fig 1. are in parentheses.



5. ábra. A József-hegyi források térképe (LIEB 2004 után módosítva). Aláhúzás jelzi azokat a forrásokat és kutakat, amelyeknek radon- és/vagy rádiumtartalmára vonatkozóan információval rendelkezünk.

Figure 5. Map of the József Hill area (after LIEB 2004, modified). The names of springs and wells with known radon and/or radium content are underlined.

4. táblázat. A József-hegy környezetében mért radonkoncentrációk [Bq/l]. A Molnár János-barlang értéke 11 mérés átlaga. *Table 4. Radon concentrations in the József Hill area [Bq/l]. The value of Molnár János cave is the average of 11 measurements.*

szerző	ALFÖLDI et al. (1968)	BARADÁCS et al. (2002)	hiba	BARADÁCS et al. (2002)	hiba	VÁRHALMI (2004)	hiba
megjegyzés (év/módszer)	1956	nyomdetektor		buborékoltatás		szcintilláció	
Antal-kút						22	3,0
Lukács IV. kút	24,4	22	1	22	0,8	22	2,5
Lukács V. kút		20	1	22	0,8		
ORFI akna						22	3,0
Török-forrás						25	2,5
Boltív-forrás		18	1	19	0,2		
Római-forrás		65	4	61	3,4	92	6,0
Molnár János-barlang						15	2,7

A József-hegyi forrásterületre vonatkozó radonértékek

Kutak és források

A József-hegy lábánál, a Lukács-fürdő környezetében számos forrásfakadást ismerünk Szépvölgyi Mészköben, ill. Budai Márgában (5. ábra). A források szennyezettsége miatt egyre inkább fűrt kutakkal váltották ki használatukat. Vizsgálatainkat a jelenleg használatban lévő forrásokra és kutakra terjesztettük ki.

A Dunához közel törnek fel, ill. található az ún. hévízforrások és -kutak. Ezek közül legmelegebb az Antal-forrás, amely jelenleg 53°C-os (LIEB 2004). A Lukács IV. és V. kutakat is megmintáztuk. E források és kutak hőmérséklete időben néhány éven belül állandónak tekinthető (37–60°C közötti), évtizedes léptékben azonban – a termelés váltakozó volta miatt – változhat.

A Dunától távolabb, magasabb térszínen fakadnak az ún. langyos források: a Római-, Török-forrás, ORFI-aknaforrás, valamint a Malomtó forrásai (Boltív-forrás). Hőmérsékletük 20–37°C közötti.

A Lukács-fürdő környezetében található a Budai-hegység jelenleg ismert egyetlen nagyobb méretű aktív forrásbarlangja, a Molnár János-barlang. Ennek vizét is megvizsgáltuk.

Radonértékek

A József-hegyi forráscsoport radontartalma 15–25 Bq/l-es értéktartományban mozog az összegyűjtött szórványadatok alapján (7. táblázat, 6. ábra). A hévizes és a langyos források, kutak radontartalma értékelhető mértékben nem tér el egymástól. Kivételt képez a Római-forrás, amely radontartalma lokálisan kiugró, a forráscsoportra jellemző értékhez képest közel háromszoros: 65 ill. 61 Bq/l BARADÁCS és társai (2002), míg 92 Bq/l körüli VÁRHALMI (2004) szerint. A Molnár János barlangból vett vízminták radontartalma a legkisebb. A Gellért-hegyi források minimális radonkoncentrációja: 30 Bq/l, az itt mért értékek ez alatt maradnak – eltekintve a Római-forrás anomális viselkedésétől.

Referenciául szolgáló radonértékek

A budai termálkarszt területén rendkívül szegényesek a föntiekben tárgyaltakon kívül rendelkezésre álló radonmérések. E szórványadatok összegyűjtését is fontosnak tartottuk, hiszen referenciaként szolgálhatnak a vizsgált terület radonkoncentrációinak értelmezésénél. A Széchenyi-fürdőt ellátó Városliget II. kútban (amely 1246m mélyen éri el a Dachsteini Mészkövet) KASZTOVSZKY és társai (1996) 2,64 Bq/l radont mértek, ALFÖLDI és társai (1968) 9,23 Bq/l radon tartalmat közöltek. PALOTAI (2004) ugyanitt három mérést is végzett és 9,4–13,2 Bq/l értéket kapott (hiba: ±3Bq/l).

A Szemlő-hegyi-barlang Budai Márgán átszivárgó csepegő vizeiben VÁRHALMI (2004) mérései alapján 3–10, átlagosan 6,2 Bq/l radon található.

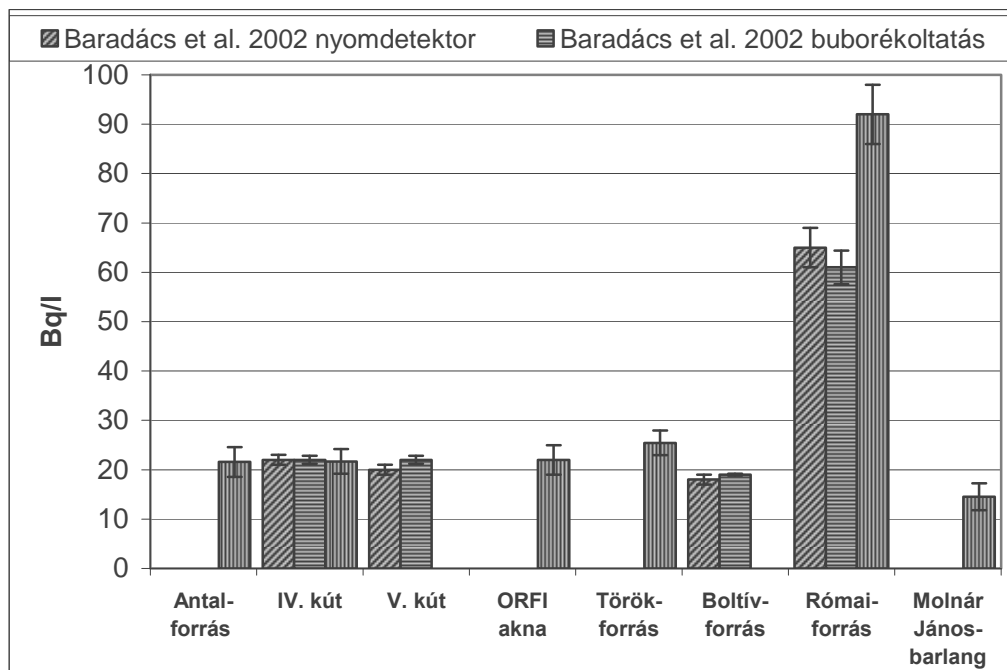
Összehasonlításként a budapesti csapvíz átlagosan 2,27–2,86 Bq/l radont tartalmaz (SZERBIN et al. 1997).

Rádiummérési adatok

A rádiumtartalomra vonatkozó információink szegényesebbek a radonnal kapcsolatos ismereteinknél, ezért valamennyi, a vizsgált területről rendelkezésre álló, és referenciaként használható adatot az 5. táblázatban gyűjtöttük össze.

Fontos referencia, hogy SZERBIN és társai (1997) mérései alapján a csapvízben átlagosan 70 mBq/l rádium található. A Gellért-hegy vizeiben mért rádiumtartalom BARADÁCS és társai (1999, 2002) szerint 550–1000 mBq/l közt változik (7. ábra). A legkiugróbb értéket a Hungária II. (700–1000 mBq/l) és az Attila II. kút (850–900 mBq/l) mutatja. A régi táróban is igen magas a rádiumtartalom (840–950 mBq/l).

A József-hegy forrásaiban és kútjaiban ez az érték BARADÁCS és társai (1999, 2002) mérései szerint mindössze 40–300 mBq/l közötti (7. ábra). Ez a Gellért-hegyi forráscsoport rádium-koncentrációinak csupán 10–40%-a.



6. ábra. A József-hegyi forráscsoport kútjainak, forrásainak radonkoncentrációja.
 Figure 6. Radon concentrations of the springs and wells in the József Hill area

A József-hegyi forráscsoport esetében a rádiumtartalom hőmérséklet szerint elkülönül. A langyos vizű kutak, források 50–100 mBq/l, míg a hévizesek 200–300 mBq/l rádiumot tartalmaznak. A langyos vizű kutak rádiumtartalma a referenciának vehető csapvíznél (70 mBq/l) lényegesen nem nagyobb.

A KASZTOVSZKY és társai (1996) Gellért-hegyi forrásokban végzett szóránymérései nagy eltérést mutatnak BARADÁCS és társai (1990, 1995) méréseitől. Az Attila II. kútban végzett 1990-es és 1995-ös vizsgálataik, a BARADÁCS és társai (1999, 2002) által publikált adatok másfél- ill. kétszeresét mutatják (5. táblázat). Ez a számottevő különbség a mérési módszerek és a kalibráció különbözőségéből eredhet. A Városliget II. kút rádiumtartalmát (KASZTOVSZKY et al. 1996) referenciaként akkor használhatjuk fel a BARADÁCS-féle – Gellért- és József-hegyi mérésekkel történő – összevetésben, ha azt kb. 500 mBq/l-nek feleltetjük meg. Ebben az esetben a Városliget II. kút rádiumtartalma akár kétszerese is lehet a József-hegy meleg vizű kútjainak, viszont a Gellért-hegyi vizek átlagától 10–30, a Rudas-fürdő értékeitől 40–50%-kal is elmaradhat.

A radon és a rádium kapcsolata

Egy konzisztens radon- és rádiummérés-sorozat (BARADÁCS et al. 1999) eredményeit láthatjuk a 6. táblázatban. A vizsgált objektumokban a vízben oldott rádium- a radontartalomnak mindössze néhány ezreléke, de legfeljebb 1–2%-a. A két adatsor korrelációs együtthatója 0,68, amely gyenge kapcsolatot jelez, de a kis mintaszám miatt ez az

eredmény is bizonytalan. Ez alapján a radon tartalom nem függ egyértelműen a vizek rádiumkoncentrációjától.

A 8. ábrán a 6. táblázat adataiból képzett Rn/Ra arány került ábrázolásra. A Rn/Ra arány a Gellért-hegyi és a Lukács-fürdői forrásokban nagyságrendileg megegyezik. Ennek ellenére, a valós koncentrációk eltérő nagysága miatt a két rendszer külön kezelendő.

A Gellért-hegy déli, Gellért-fürdőhöz közeli részén 50–150 közötti Rn/Ra arányt tapasztalunk. A Rudas ivócsarnokának kútjaiban (Hungária II., Attila II.) a radon 300–400-szorosa a rádium mennyiségének. A Juventus-kút inkább a Gellért-hegy déli forrásaival mutat hasonlóságot.

A József-hegyi forrásvizekben a Rn/Ra arány 100–200 körüli, a jelenleg rendelkezésre álló adatok alapján a meleg vizű forrásokban alacsonyabb, mint a langyos forrásokban. Nagyon markánsan elkülönül a Római-forrás: itt a radon mennyisége 1000-szerese a rádiuménak. Ilyen kiugró aránnyal más források esetén nem találkozunk.

A mérési eredmények összegző értékelése

A József-hegy és a Gellért-hegy forrásaira, kútjaira vonatkozó összegyűjtött mérési adatok arra utalnak, hogy a tágabb térség felszín alatti vizeinek átlagához (WESZELSZKY 1912) képest változó mértékben, de mindenképpen jelen van egy rádium- és radontöbblet.

A vizek radontartalmának csak néhány ezreléknyi, legfeljebb 1–2%-nyi része származtatható a vízben oldott rádiumból, ezért a radon- és rádiumtartalmat külön kell kezelni. A vizek eredete

valószínűsíthetően összefüggést mutat a két elem arányával.

5. táblázat A budai termálkarsztban mért rádiumkoncentrációk (BARADÁCS et al. 1999, 2002 és KASZTOVSZKY et al. 1996 alapján). KASZTOVSZKY és társai az OSSKI-ban (1990) és az ELTE-n (1995) végzett mérések eredményeit közlik, melyeket rádium-radon egyensúlyt felhasználó szcintillációs berendezéssel végeztek. BARADÁCS és társai (1999, 2002) méréseiket maratottnyom-detektoros módszerrel végezték.

Table 5. Radium concentrations measured in the Buda thermal karst system (after BARADÁCS et al. 1999, 2002 and KASZTOVSZKY et al. 1996).

Ra [mBq/l]	BARADÁCS et al. (1999)	hiba	BARADÁCS et al. (2002)	hiba	változás	OSSKI (1990)	ELTE (1995)
Gellért-fürdő						1240	
régi táró	942	92	837	73	-105		
I. kút	569	54	659	65	90		
II. kút	588	59	626	62	38		
III. kút	540	51	657	65	117		
VI. kút	743	70	785	77	42		
Rudas-fürdő							
Juventus	710	67	646	64	-64		
Attila	912	89	834	81	-78	2150	1650
Hungária	993	96	699	69	-294		
Rác-fürdő							
Nagy-forrás	857	84	800	78	-57		
Lukács-fürdő							
Boltív-forrás	105	11	73	8	-32		
Római-forrás	63	7	48	6	-15		
IV. kút	272	29	261	25	-11		
V. kút	207	23	251	25	44		
VI. kút által táplált ivókút	254	25	265	26	11		
Városliget II. kút						1070	

A felszínről leszivárgó vizek radioaktivitásának jellemzőit a Szemlő-hegyi barlangban mért csepegővíz-értékekkel, míg a mélymedence vizeinek jellegét a Városliget II. kút adataival közelítjük.

A mélymedence vizeinek rádiumtartalmát 500 mBq/l körülnek vehetjük a Városligeti II. kútban mérték alapján. A József-hegy langyos vizű forrásaiban, kútjaiban 50–100 mBq/l, a hévizekben 200–300 mBq/l rádium található. Előbbiek rádiumtartalma a csapvíz átlagos értékének (70 mBq/l) kétszeresét sem éri el. Ugyanakkor a mélymedence jellegét nagyobb arányban képviselő hévizekben 2–5-ször magasabb rádiumtartalom jellemző a leszálló langyos karsztvizekhez képest.

A rádiumtartalom a Gellért-hegyi forrásokban és kutakban a csapvízben mérhető értékek tíz-tizenötöszöröse (500–1000 mBq/l). A Gellért-hegyi területen belül a Rudas-fürdő rádiumtartalma a többi fürdőhöz képest 10–20%-kal kiemelkedik. A József-hegy hasonló hőmérsékletű, tehát körülbelül azonos leszálló és mélymedencebeli keveredési arányt mutató vizeivel összehasonlítva feltűnik, hogy a Gellért-hegyi vizekben két-háromszor több rádium található.

A radon – a Szemlő-hegyi csepegővíz-mérések alapján, a Budai Márgán keresztül átszivárgó vizekben 10 Bq/l nagyságrendet képvisel. Az ettől való jelentős

eltérések a mérések kis száma miatt nem zárhatók ki! A mélymedencében a Városliget II. kútban végzett mérések szerint 2–12 Bq/l radon jellemző.

A József-hegy langyos és meleg vizű forrásaiban egyaránt 18–25 Bq/l körüli radonkoncentráció jellemző. Kivételt képez a 60–90 Bq/l radont tartalmazó Római-forrás.

A József-hegyi forrásokban mért értékeknek akár 30-szorosa is lehet a Gellért-hegyi vizek radontartalma. A legkiemelkedőbb anomális terület a Gellért-hegy északi részén található, központjában a Rudas-fürdővel. A radonkoncentrációk itt még a Gellért-hegyi zónához tartozó egyéb vizekhez (Gellért- és Rác-fürdő) képest is kiemelkedőek (kb. 100–600 Bq/l), az anomáliacsúcs északnyugat (Rác-fürdő, 80–130 Bq/l) és délkelet (Gellért-fürdő, 50–100 Bq/l) felé lecsengeni látszik. A legkiemelkedőbb értékek a Török-, Rákóczi-, Gül Baba-forrás, és nagyobb bizonytalansággal a Diana-forrás zónájában mérhetők. Kisebb maximumot képvisel az Attila II. kút környezete. E zónától bármely irányba távolodva a mért értékek csökkennek. A Rudas-fürdő vizeinek radontartalma országos tekintetben is kiemelkedő.

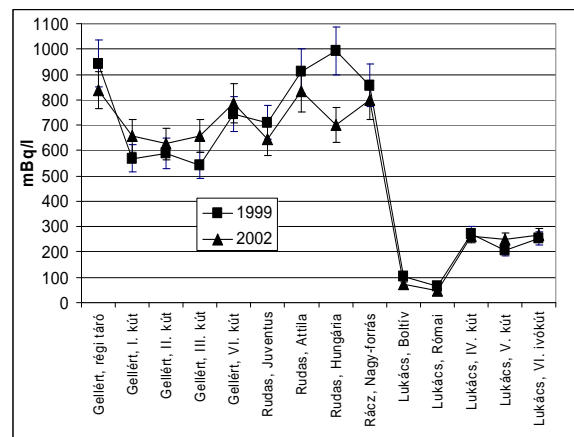
Az adatok értékelése alapján feltételezhetjük, hogy a leszálló karsztvizek radioaktivitását számottevően befolyásolja az a fedőkőzet és a rajta

képződött talaj, amelyen a csapadékvíz átszivárog. A Szemlő-hegyi barlangban végzett csepegővíz mérések alapján csak a Budai Márgán történő átszivárgás utáni radontartalomról rendelkezünk néhány adattal. A mélymedence vizeinek radontartalma gyakorlatilag megegyezik a leszálló karsztvizekével. A Római-forrás különleges viselkedését egy helyi radonforrás idézheti elő. A mélymedence vizeit csak a Városliget II. kútban mért értékekkel jellemezhetjük, amelyek nehezen hasonlíthatók össze korábbi, más módszerrel mért rádiumértékekkel. Annyi azonban bizonyos, hogy a József-hegyi források rádiumtartalma levezethető a mélymedence és a leszálló karsztvizek keveredéséből. Más a helyzet a Gellért-hegyi forrásokkal. Ott a mélymedence vizeit meghaladó rádiumtartalmat tapasztalunk, ami csak akkor lehetséges, ha a kiáramlási terület közelében feltételezünk egy „extra” forrást, amelyen a felszínre jutó víz áthalad. Ez vízben oldott rádiumforrást jelenthet, de egyidejűleg közvetlen forrása lehet a radontöbbletnek is.

6. táblázat. Gellért- és József-hegyi források és kutak vizének radon- és rádiumtartalma (BARADÁCS et al. 1999 alapján).

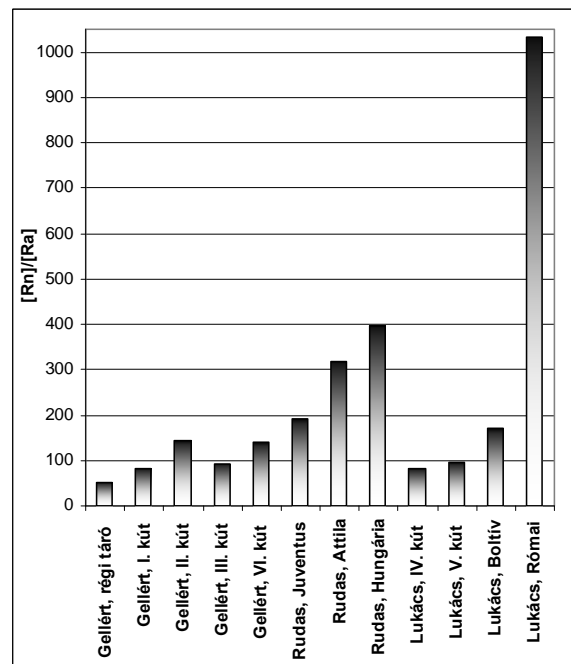
Table 6. Radon and radium content of the Gellért and József Hill springs and wells (after BARADÁCS et al. 1999)

Gellért-fürdő	Rn [Bq/l]	hiba	Ra [mBq/l]	hiba	[Rn]/[Ra]
régi táró	49	3	942	92	52
I. kút	47	3	569	54	83
II. kút	84	5	588	59	143
III. kút	49	3	540	51	91
VI. kút	104	6	743	70	140
Rudas-fürdő					
Juventus	135	9	710	67	190
Attila II.	289	17	912	89	317
Hungária II.	393	23	993	96	396
Lukács-fürdő					
Boltív-forrás	18	1	105	11	171
Római-forrás	65	4	63	7	1032
IV. kút	22	1	272	29	81
V. kút	20	1	207	23	97



7. ábra. A Gellért-hegyi és József-hegyi forrásokban, kutakban mért rádiumkoncentrációk (BARADÁCS et al. 1999, 2002 mérései alapján). A diszkrét pontokat összekötő szakaszoknak természetesen csak szemléltetési szerepük van.

Figure 7. Radium content of Gellért and József Hill springs and wells (after BARADÁCS et al. 1999, 2002).



8. ábra. Gellért- és József-hegyi források és kutak vizének radon- és rádiumtartalmának hányadosa (BARADÁCS et al. 1999 adataiból számolva).

Figure 8. Ratio of radon and radium concentrations in the waters of Gellért and József Hills (data by BARADÁCS et al. 1999).

A vizekben észlelt radioaktivitás lehetséges földtani okai

A rádium- és radoneloszlás értelmezését figyelembe véve kezdtük számba venni a lehetséges földtani okokat, amelyek az észlelt állapotot előidézhetik. A budai karsztrendszer radioaktivitásának felfedezője, WESZELSZKY (1912) azt találta, hogy a Gellért-hegy körzetében észlelt magas radioaktivitás oka a dolomitban a víz által felhalmozott rádiumban dús iszap. A József-hegyi forrásokban észlelt alacsonyabb értékek magyarázatát abban látta, hogy a források – kilépésük előtt – márgán és kavicsos haladnak keresztül, e laza kőzetben a „forróvízben oldott rádiumemanációknak tekintélyes része elveszhet”.

Radon és rádium a felszín alatti vizekben

A radon felszín alatti vizekbe jutására számos modellt állítottak fel. Bizonyos körülmények közt mindegyik megállja a helyét, de általános érvényű megoldás, a kérdés bonyolultsága miatt, ez ideig nem született. Az elsődlegesen meghatározó tényező a kőzettani jelleg (RAMA és MOORE 1984; BONOTTO & ANDREWS 1997, 1999). Az anyakőzetnek kell olyan ásványokat tartalmaznia, melyek radonforrásként szolgálhatnak. Az U–Th sor elemei leggyakrabban az alábbi ásványok szerkezetébe lépnek be: cirkon ($ZrSiO_4$), monacit ($CePO_4$), xenotim (YPO_4), zirkelit $[(Ca, Fe)(Zr, Ti, U)_2O_5]$, allanit $(Ca, Ce, La)_2(Al, Fe^{3+}, Fe^{2+})_3(SiO_4 \times Si_2O_7 \times O \times OH)$.

A leszálló vizek radontartalmát a talaj is befolyásolja. BARABÁS és társai (2003) szerint radonanomáliát a talajszelvényekben megjelenő U- és Th-tartalmú monacit és xenotim, ill. a szórványosan előforduló cirkon, zirkelit, allanit ásványok okozhatnak.

Aktív vetőzónákban, takarófrontokhoz kapcsolódóan (CHOUBEY et al. 2001), a mérési tapasztalatok alapján a térség átlagához képest kétszázszorosára is megnövekedhet a radonkoncentráció. Az urán és (radon előtti) leányelemei vetőbreccsák felszínén abszorbeálódva felhalmozódhatnak, így a vetőzónán áthaladó vizekbe a radon, mint inert gáz koncentráltan beleoldódhat (CHOUBEY et al. 2001).

Karsztos területeken a felszín alatti vizek révén, barlangok, járatok mentén a radon nagyobb távolságokra is eljuthat, a szállítási távolság a fluidum sebességétől és a járatok méretétől függ (HAKL et al. 1996).

A felszín alatti vizekben a radon időben és térben változó mennyiségben jelentkezik, ezért minden pontszerű mérési eredményt kellő kritikával kell fogadnunk; ezek csak egy szűkebb-tágabb tartományát adhatják meg a radon koncentrációjának. Megfelelő mennyiségű rendszeres adat alapján már jobban közelíthetjük a várható valós értékeket. Minden, radonnal kapcsolatos kutatásnál fontos figyelembe

venni, hogy 3,82 napos felezési ideje miatt csak rövid transzportidő esetén számíthatunk kimutatható mennyiségű radon jelenlétére. Nemesgázként – hőmérséklettől függő mértékben – könnyen távozik a felszín alatti vizekből, a vizsgálatoknál, azok értelmezésénél ezt is szem előtt kell tartani.

A rádium ionos formában, oldott anyagként részt vehet a felszín alatti vízáramlásokban. Tóriumból α -bomlással való keletkezésekor a kőzet szemcséinek nanopórusain ugyan az inert radonnál sokkal jobban megkötődik (RAMA & MOORE 1984), de a radonnál nagyságrendekkel kisebb mennyiségben oldódhat vízben. Egyes vizsgálatok (WESZELSZKY 1937; CHOUBEY et al. 2001) szerint nagy fajlagos felületű anyagok felszínén megkötődhet.

A rádium hosszú felezési ideje (1622 év) miatt hosszú áramlási pályák követésére is alkalmas, és a vizekből való eltávozási lehetősége – vizes oldatokban ionos formában való megjelenése miatt – jóval kisebb a radonénál. Emiatt stabil indikátora lehet a hosszú távú felszín alatti vízáramlásoknak. Ugyanakkor a vizek rádiumtartalma is mutathat ingadozásokat, ezért a pontszerű mérési eredmények itt is csak egy valószínűsíthető koncentráció-tartományt jelölnek ki.

Az alábbiakban sorra vesszük a radioaktivitás potenciális forrásait a vizsgált területre vonatkozóan.

Mezozoós üledékes kőzetek

A térség alaphegységét alkotó kőzetek radioaktivitást befolyásoló szerepét – a mezozoikumot harántoló fűrés híján – csak a Dunántúli-középhegység egyéb területeivel vont párhuzam alapján ítélni lehet meg. A paleozoós rétegsorokban megjelenő agyagos vagy kőszénzinóros képződményekben – így a Balatonfelvidéki Homokkő egyes rétegcsoportjaiban –, szerves anyagban dús dolomitokban (Dinnyési Dolomit) potenciális radonforrás-ásványok megjelenése nem kizárt (HAAS et al. 1986 alapján). Előzetes, gamma-spektroszkópiás módszerrel mért eredményeink (PALOTAI 2004) szerint a Dachsteini Mészköben radioaktív elemek legfeljebb a 10^{-9} nagyságrendben (ppb) vannak jelen.

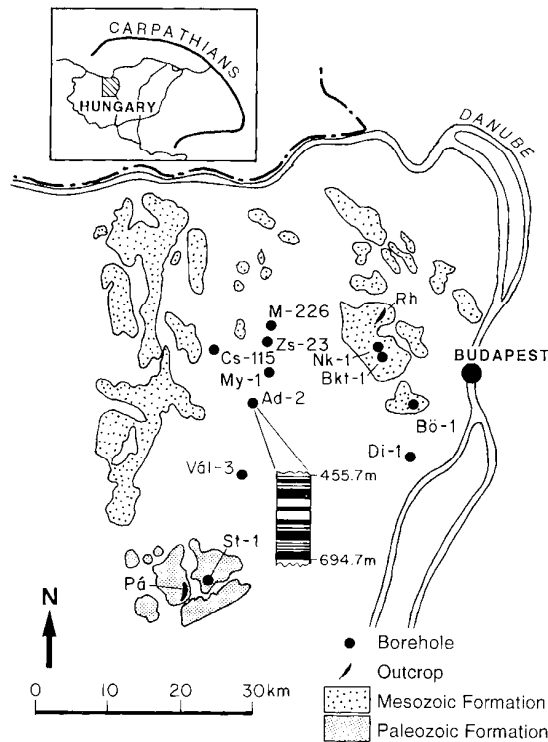
Magmás kőzetek

A magmás kőzetek a rádium és a radon potenciális forrásaiként kezelhetők, mert bennük az U–Th tartalmú ásványok előfordulhatnak.

A triász magmatitok radioaktív anyagforrásként való szerepe nyomelem-összetételük, járulékos ásványaik alapján (HARANGI et al. 1996) alárendelt.

A késő-krétában lamprofiros (-karbonatitos) magmatizmushoz (KUBOVICS et al. 1990, SZABÓ et al. 1993) kapcsolódó kőzetek a Budai-hegységben többfelé, pl. Nagykovácsiban (DUDKO 1984) és az Adyliget melletti Remete-hegyen felszínközelen

(KUBOVICS et al. 1989), valamint a Budaörs–1 fúrásban is előfordulnak (9. ábra). A lamprofirok uralkodóan sötét szilikátokból – csillámból, amfibolból, piroxénből, olivinból – álló, bázisos, ultrabázisos, főleg vékony telérrajokban megjelenő kőzetek.



9. ábra. Lamprofirok és rokon telérrajok területi elterjedése a Dunántúli-középhegység ÉK-i részén (SZABÓ et al. 1993).

Figure 9. Regional setting of lamprophyre and related dyke rocks in the northwestern part of the Transdanubian Range (SZABÓ et al. 1993).

A lamprofirok akár 6 ppm uránt, ill. 50 ppm tóriumot is tartalmazhatnak (ROCK 1987), emiatt – adott esetben – hatékony radioaktív anyagforrásként működhetnek. Az Alcsútdoboz–2 fúrásban harántolt lamprofir telérekben átlagosan 4,6 ppm uránt, és 32 ppm tóriumot mértek (SZABÓ et al. 1993). A felsőkréta magmatitok elterjedésének keleti végét feltehetően a Dunántúli-középhegységi egység határa szabja meg, e kőzettesteknek a Budai-hegység Adyligettől, ill. Budaörs-től keletre eső részén való előfordulása nem zárható ki, csupán az esetleg

megjelenő vékony teléreket ez idáig nem találták meg (SZABÓ Cs. szóbeli közlése).

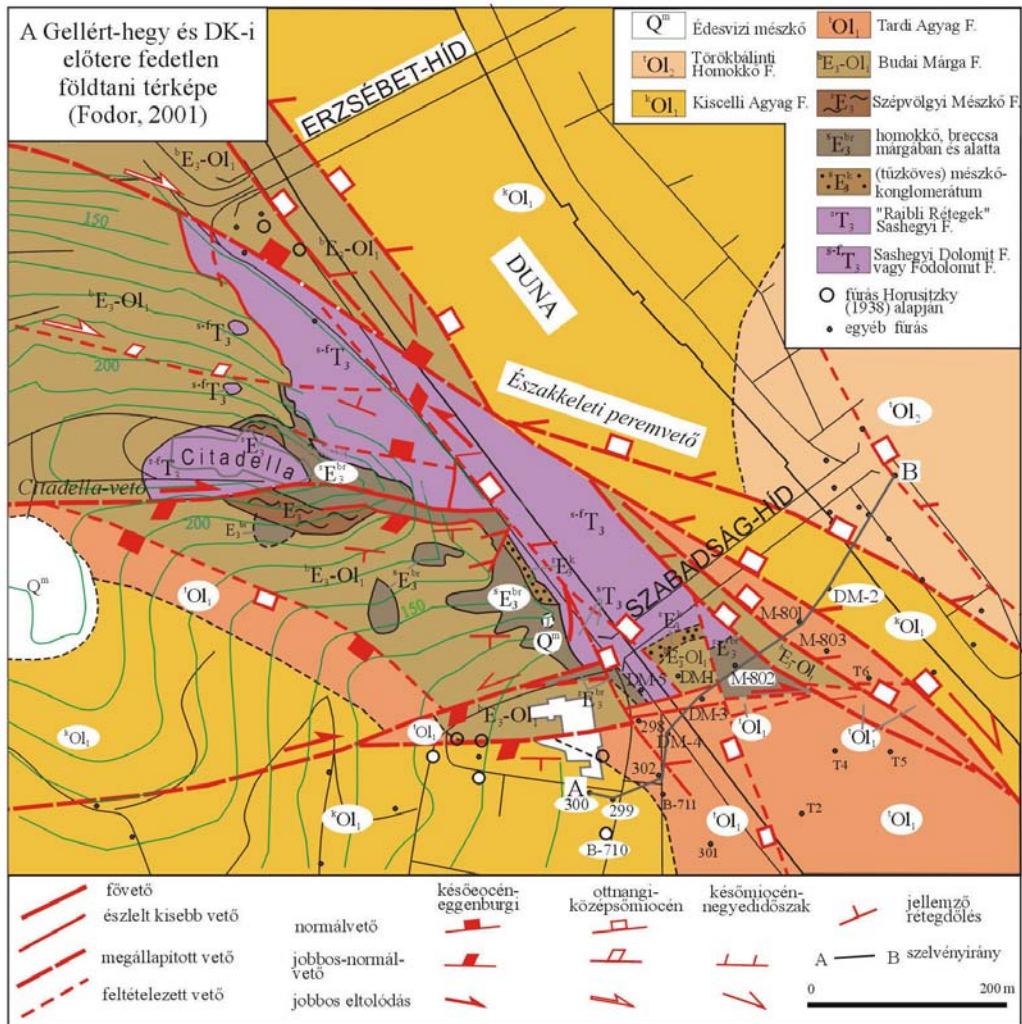
A Budai-hegység területén a kainozóos magmatitok jelenléte alárendelt, legjellemzőbbek az üledékes rétegsorokba betelepülő tufák. Nyomelemösszetételük alapján urán- és tóriumtartalmuk feltehetően nem okoz jelentős radioaktivitást. SURÁNYI G. és LENKEY L. szóbeli közlése szerint a Visegrádi-hegységi andezitek 1–2 ppm, a börsönyi andezitek 1,5–3 ppm uránt tartalmaznak. A Budai-hegységben megjelenő, velük rokonnak tekinthető tufás betelepülések, korlátozott mennyiségük miatt nem tekinthetők jelentős radioaktív anyagforrásként.

Kainozóos üledékes képződmények

Az üledékes rétegsorokban – leginkább az agyagos képződményekben (SZABÓ Cs. szóbeli közlése) – áthalmazott U–Th tartalmú ásványok feldúsulhatnak, ezzel radioaktív forrásként működhetnek. A tiszta karbonátos kőzetekben ilyen nyomelem-tartalmat nem feltételezünk. Szerves anyagban dús üledékes képződmények (pl. fekete palák) szerves anyagához valószínűleg abszorbeálva kötötték akár 30–100 ppm koncentrációjú urándúsulás is tapasztalható (MAYNARD 1983). A Budai-hegység területén ilyen jellegű, szerves anyagban dús kőzet pl. a Tardi Agyag. PALOTAI (2004) mérései szerint az uránsor tagjai egy Tardi Agyag mintában 2 ppm, a tórium sor tagjai 3,5 ppm mennyiségben vannak jelen. A Hárshegyi Homokkő, Budai Márga, Törökbálinti Homokkő és egyéb, a térségben előforduló üledékes képződmények radioaktivitásáról egyelőre nem rendelkezünk információkkal.

Szerkezetföldtani okok

Ismert, hogy vetőzónákban (CHOUBEY et al. 2001), karsztos repedések, üregek mentén (HAKL et al. 1996) a környezetükhöz képest megnövekedhet a radonkoncentráció. A budai termálkarszt megcsapolódási területe vetős kontroll alatt áll (10. ábra), melynek jelenlegi aktivitása ugyan nem tisztázott, de kizártnak sem tekinthető (CSONTOS L. szóbeli közlése). A karsztrendszer repedéshálózata szintén elősegítheti az egyéb okokkal magyarázható, meglévő forrásokból származó radon felszínre jutását.



10. ábra. A Gellért-hegy és DK-i előtere fedetlen földtani térképe (KORPÁS et al. 2002 után, módosítva).

Figure 10. Geologic map of Gellért Hill and its southwestern foreground (after KORPÁS et al. 2002, modified).

Következtetések

A Lukács- és a Gellért-fürdő vizeiben mért rádiumkoncentrációk arra engednek következtetni, hogy a rádium a mélységi eredetű hévizekben jóval nagyobb mértékben dúsul a felszíni eredetű, leszálló karsztvizekhez képest.

A rádium felszín alatti vizekbe az áramlási pályákon keresztül történő bejutásának mechanizmusa, a beszivárgó vízzel kölcsönhatásba lépő forrásközetek radioaktivitást befolyásoló jellege egyelőre nem tisztázott. Az alaphegységi képződmények szerepe fűrésok hiányában nehezen értelmezhető. A mélymedencében, nagy tömegű, hosszú tartózkodási idejű (10^5 év nagyságrendű) víztömegről lévén szó (DEÁK 1979), feltételezhetjük, hogy a rádium eloszlása a feláramlási zónaig homogenizálódik. Azaz minden feláramló vízben jelen kellene legyen, és a felezési időnek (~1600 év) megfelelően mennyiségének a kiáramlási terület irányában csökkenni kellene. Ez a József-hegyi források esetében fennáll, a Gellért-hegyi

megcsapolódási területnél azonban a rádium Városliget II. kúthoz viszonyított arányának gyarapodása azt mutatja, hogy egy helyi rádiumforrás jelenlétét kell feltételeznünk.

A radon esetében más a helyzet. Megjelenése a forrásokban, kutakban – néhány napos felezési ideje miatt – a mérési helyhez igen közeli radonforrás létét feltételezi. A mélymedence vizeinek a városligeti adatok alapján feltételezett 10 Bq/l körüli radontartalmát sem vezethetjük le rádiumtartalmából, csupán néhány százalékát. Tehát itt helyi radonforrásnak is működnie kell. A karsztos kőzetekből – analógiák és előzetes eredményeink szerint – nem származtatható a radioaktivitás. Legfeljebb ppb mennyiségnyi radioaktív elemet tartalmaznak. A karsztfedő képződmények szerepe már számottevőbb. A kuta(ka)t a vízadó réteg fedője alatt néhány-tíz méterrel szűrőzték, így a fedő hatása sem zárható ki. Teljesen vízzáró kőzeteket a hidraulikai folytonosság elvének értelmében nem

feltételezhetünk, az átszivárgás lehetősége a vízfogókon keresztül – különösen termelt kutak esetén – nyitott (NEUMAN & WITHERSPOON 1969). Tehát az üledékes fedőképződmények esetleges radioaktív komponensei hozzájárulhatnak akár a mélykarsztos képződmények legfelső zónájának radioaktivitásához is.

A felszínről beszivárgó vizek radontartalmának eredetét a mérési helyhez közel kell keresnünk. A Budai-hegység esetében leginkább az eocén és oligocén képződményekből (pl. eocén alapkonglomerátum, Tardi Agyag stb.) származhat radioaktív anyag; természetesen a rajtuk képződött talaj is működhet radonforrásként. A Tardi Agyagban – előzetes eredményeink szerint – néhány ppm mennyiségben jelenlévő urán-leányelemek radonforrásként való szerepe jelentős lehet.

A József-hegy forrásai általában Szépvölgyi Mészköben vagy Márgában fakadnak, a kutakat is ezekre szűrőzték. Amennyiben ezek a képződmények radioaktív forrásásványokat tartalmaznak, akkor az azokból származó radont a kutakban is ki lehet mutatni. A meleg és a langyos vizű források körülbelül azonos radontartalma a források közvetlen környezetének hasonló jellegei miatt nem meglepő. Kivételt képez a Római-forrás. Tudomásunk szerint a kizárólag erre a forrásra korlátozódó, a környezethez képest 4–5-szörös radontartalom eredetét egy, csak itt ható radonforrással magyarázhatjuk, amely kimutatása további kutatást igényel.

A Gellért-hegy vizeinek kiemelkedő radioaktivitását a budai termálkarszt méreteihez képest lokális okkal magyarázhatjuk. Jelenlegi vizsgálataink ugyan nem terjedtek ki az összes budai forrás, kút vizsgálatára, de WESZELSZKY Gy. 1912-es és 1937-es munkái arról tanúskodnak, hogy a radioaktivitás itt éri el maximumát. A radon lokálisan, kiemelkedően nagy koncentrációban történő megjelenése feltételezi a kiáramlási zónában egy hatásos, koncentrált radonutánpótlást biztosító radioaktív anyagforrás meglétét. A radonanómia Rudas-fürdői csúcsa miatt

ezt az anyagforrást a fürdő környezetében, tehát az áramló víz forrásokba ill. kutakba érése előtti kiáramlási szakasz zónájában feltételezhetjük. Az anomális terület maximuma a források radontartalma alapján a Török-, Rákóczi-, Gül Baba-források zónájában van. Feltételezésünk szerint ebből az anyagforrásból táplálkozhatna a Rudas-fürdő vizeinek radon-, és – a mélymedencebeli koncentrációt meghaladó mennyiségű – oldott rádiumtartalma. A radon rövid felezési ideje megmagyarázza a radonkoncentráció északnyugat ill. délkelet felé való fokozatos (10–20%-os) csökkenését.

Feltételezésünk szerint ennek a radioaktív anyagforrásnak a Rudas-fürdő közvetlen közelében, ezen belül a fent részletezett források zónájában kell elhelyezkednie. Földtani környezetben egy megfelelően irányított felület (sík) jellegű objektumot feltételezhetünk. Három lehetőség állhat fenn: vető, vagy telér, esetleg a kettő együtt.

A Gellért-hegyen és a Rác-fürdőn, az ún. északkeleti peremvető(zóna) halad át (KORPÁS et al. 2002) (10. ábra). A megfigyelt radioaktivitás-értékek maximumának trendje ellentmond annak a feltevésnek, hogy kizárólag ez a vető okozhatná a kiemelkedő radon- és rádiumkoncentrációkat.

Másik felvetésünk szerint olyan telérről van szó, mely nagyjából északkelet-délnyugati csapású, a függőlegeshez közeli dőlésű és a Rudas-fürdő kútjai alatti kiáramlási területe alatt található. Ez a telér nagy mennyiségű radioaktív anyagot képes a rajta, ill. a környezetén átáramló vizek révén szolgáltatni.

Harmadik, meglátásunk szerint legvalószínűbb lehetőségként a forráskilépést előidéző vetők által elvetett lamprofiros telérből származó radon a vetőzónában, megnövekedett koncentrációban a felszínre, a szintén a vető által kontrollált forrásokba. E feltételezett telér(raj) felszínen való megjelenése jelen tudásunk szerint nem elvárható, hiszen ez esetben az eddigi térképező munka során feltehetően dokumentálták volna.

Összefoglalás

A felszín alatti vizek radioaktivitásának kérdése sugáregészségügyi és gyógyászati szempontból kiemelt jelentőségű. A budai termálkarszt területén fakadó langyos és meleg források radioaktivitása WESZELSZKY Gy. (1912, 1937) munkássága nyomán vált ismertté.

Dolgozatunkban a József-hegy és a Gellért-hegy környezetére összpontosítottunk, annál is inkább, mert ez utóbbi terület radioaktivitása a szakirodalomból jól ismert. Összegyűjtöttük az összes elérhető, a források, kutak radon- és rádiumtartalmára vonatkozó adatot. Az értékelésnél figyelembe vettük az alkalmazott mérési módszereket, azok lehetséges hibáit. Néhány kiegészítő vizsgálatot is végeztünk (PALOTAI 2004). Munkánk elsődleges célja az összes rendelkezésre álló

adat ismeretében egy földtani-hidrogeológiai hipotézis-modell felállítása volt a vizek radioaktivitásának okaira vonatkozóan. Ez a modell a továbbkutatás lehetséges irányaira is rávilágít.

Az adatokat összegyűjtve és kiértékelve, a lehetséges földtani-hidrogeológiai tényezőket sorra véve az alábbi következtetésre jutottunk. A vizsgált régióban egy változó mértékben, de szinte mindenütt jelenlévő radioaktív háttérforrás létezését feltételezhetjük. Ez a földtani képződményekből származó forrás a felszín alatti, leszálló és felszálló ágban haladó vizekre egyaránt kifejti hatását. Eredetét az egészen sekély zónában már a talajban, a kőzetvázba érve pedig az üledékes kőzetekben, mérésekkel igazoltan a Tardi Agyagban jelenlévő,

radonforrásként működő ásványoknak tulajdoníthatjuk. Esetleg szerves anyag felszínén adszorbeált uránnak ill. leányelemeinek is szerepe lehet. Az e forrás által szolgáltatott radon mennyisége a talaj és kőzet (mikro)mineralógiai adottságaitól, a hidrogeológiai jellemzőktől, valamint a víz által az áramlási pálya során harántolt talaj és kőzet vastagságától függhet. Ez a forrás magyarázhatja József-hegy langyos ill. meleg vizű forrásainak hasonló radontartalmát: az eltérő eredetű vizek a kiáramlási zónában már hasonló földtani körülmények közt haladva hasonló mennyiségű radont vehetnek fel.

A budai termálkarszt áramlási rendszere analógiák alapján feltételezhető medencealjzatának kőzetei szintén radioaktív forrásként működhetnek. Ennek mechanizmusa ismerethiány miatt nem ítéltethető meg. A mélymedencében mozgó fluidumokba belekerülnek a radioaktív komponensek, így rádium és radon is, ionos formában, illetve oldott gázként. A hosszú áramlási idő miatt a rendszer meleg ágát képező vizek radioaktivitása homogenizálódik. A mélymedencéből származó radon, rövid felezési ideje miatt, a kiáramlási zónába már nem jut el. A hosszú felezési idejű rádium viszont elérheti a felszínt, ill. hosszú ideig részt vehet az áramlásban. Feltételezzük, hogy a medencealjzat hatása a magas hőmérsékletű mélymedence-fluidumokra érvényesül.

A magasabb hőmérsékletű vizek egy egyszerű, a keveredési hőmérsékletekből levezetett modellben, magasabb arányban képviselik a mélymedence vizeit. Így a magasabb hőmérsékletű forrásokban és kutakban

nagyobb mennyiségű rádiumot találunk. A fentiek tükrében megmagyarázható a József-hegy langyos forrásainak kisebb, meleg forrásainak nagyobb rádiumtartalma.

A Római-forrás lokális radonanomáliáját a forrás közvetlen környezetében jelenlévő forrással magyarázhatjuk, a helyzet értékelése rendszeres radonméréseket és további vizsgálatot igényel.

A Gellért-hegyi vizekben tapasztalt radon- és valószínűsíthető rádiumanomáliát tulajdoníthatjuk egy, a Rudas-fürdő környezetében elhelyezkedő felsőkréta korú lamprofiros telérnek, esetleg kisebb telérrajnak. A forrásokat is kontrolláló vetőzóna síkjában történő, a víztömeg átlagához képest gyors áramlás elősegítheti a radon és a rádium dúsulását a felszín alatti vizekben.

A Gellért-hegyi termálvizekre jellemző rádiumanomáliát a mélymedence eredetű („háttér”) rádiumhoz hozzáadódó lokális radioaktív anyagforrás együttes hatásával magyarázzuk. A budai termálkarszt egyéb területein ilyen jellegű lokális forrást nem feltételezünk, így a József-hegy „meleg” vizeinek rádiumtartalmát valószínűsíthetően kizárólag a mélymedence-fluidumok okozhatják.

Végül a leszálló ágból származó rádium, feltételezésünk szerint, töredéke a mélymedence eredetű rádium mennyiségének. Ez megmagyarázza a József-hegy környezetében, a Gellért-hegyen tapasztaltaknál jelentősen kisebb rádiumkoncentrációkat.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondunk MINDSZENTY Andreának és Kovács Józsefnek értékes tanácsaikért. Hálával tartozunk SZABÓ Csabának a szakmai konzultációkért. KALINOVITS Sándor a József-heggyel, KARDOS László

a Gellért-heggyel kapcsolatos tapasztalatait osztotta meg. Köszönjük CSONTOS László, SURÁNYI Gergely és LENKEY László segítségét.

Irodalom

- ALFÖLDI LÁSZLÓ, BÉLTEKY LAJOS, BÖCKER TIVADAR, HORVÁTH JÓZSEF, KESSLER HUBERT, KORIM KÁLMÁN, ORAVECZ JÁNOS, SZALONTAI GERGELY 1968. Budapest hévizei. Vizgazdálkodási Tudományos Kutatóintézet, Budapest.
- BARABÁS, A., SZABÓ, CS., NAGY, B.-NÉ, G. SOLYMOS, K., TÓTH, E. 2003. A Nézsza községben mért beltéri radonanomália eredetének geokémiai vizsgálata és lehetséges földtani vonatkozásai. – Földtani Közönlöny 133/3, 345–362.
- BARADÁCS, E., HUNYADI, I., DEZSŐ, Z., MÓCSY, I., CSIGE, I., SZERBIN, P., VAUPOVIC, J. 1999. ²²⁶Ra in geothermal waters of the Carpathian Basin. – IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Budapest, 23–27 August 1999.
- BARADÁCS, E., HUNYADI, I., DEZSŐ, Z., CSIGE, I., SZERBIN, P. 2001. ²²⁶Ra in geothermal and bottled mineral waters of Hungary. – Radiation Measurements 34, 385–390.
- BARADÁCS, E., DEZSŐ, Z., HUNYADI, I., CSIGE, I., MÓCSY, I., MAKFALVI, Z., SOMAY, P. 2002. Felszínalatti vizek maratontnyom-detektoros eljárással mért ²²²Rn- és ²²⁶Ra-tartalma. – Magyar Kémiai Folyóirat 108/11, 492–500.
- BONOTTO, D.M., ANDREWS, J.N. 1997. The implications of laboratory ²²²Rn flux measurements to the radioactivity in groundwaters. the case of a karstic limestone aquifer. – Applied Geochemistry 12, 715–726.
- BONOTTO, D.M., ANDREWS, J.N. 1999. Transfer of radon and parent nuclides ²³⁸U and ²³⁴U from soils of the Mendip Hills area, England, to the water phase. – Journal of Geochemical Exploration 66, 255–268.
- CHOUBEY, V.M., BARTARYA, S.K., SAINI, N.K., RAMOLA, R.C. 2001. Impact of geohydrology and neotectonic activity on radon concentration in groundwater of intermontane Doon Valley, Outer Himalaya, India. – Environmental Geology 40/3, 257–266.

- DEÁK, J. 1979. Radiocarbon dating of the thermal waters in the Budapest area. – „Isotope in der Natur” Int. Kongr. Leipzig (DDR).
- DUDKO, A. 1984. Magmás képződmények kutatása mágneses módszerrel Nagykovácsi környékén. – MÁFI Évi jelentése 1982-ről, 263–269.
- HAAS, J., GÓCZÁN, F., ORAVECZNÉ SCHEFFER, A., BARABÁSNÉ STUHL, Á., MAJOROS, GY., BÉRCZINÉ MAKK, A. 1986. Permian – Triassic boundary in Hungary. – Mem. Soc. Geol. Ital. 34, 221–241.
- HAKL, J., CSIGE, I., HUNYADI, I., VÁRHEGYI, A., GÉCZY, G. 1996. Radon transport in fractured porous media – experimental study in caves. – Environment International 22, 433–437.
- HARANGI, SZ., SZABÓ, CS., JÓZSA, S., SZOLDÁN, ZS., ÁRVA-SÓS, E., BALLA, M., KUBOVICS, I. 1996. Mesozoic Igneous Suites in Hungary: Implications for Genesis and Tectonic Setting in the Northwestern Part of Tethys. – International Geology Review 38, 336–360.
- HORUSITZKY, H. 1939. Budapest dunajobbparti részének (Budának) hidrogeológiája. – Hidrológiai Közlöny XVIII, különlenyomat, 404 p.
- KASZTOVSZKY, ZS., KUCZI, R., SZERBIN, P. 1996. On the Natural Radioactivity of Waters in Hungary. – Central European Journal of Occupational and Environmental Medicine 2/4, 335–347.
- KORPÁS, L., FODOR, L., MAGYARI, Á., DÉNES, GY., ORAVECZ, J. 2002. A Gellért-hegy földtana, karszt- és szerkezetfejlődése. – Karszt és Barlang 1998–1999 (2002), I–II, 57–93.
- KUBOVICS, I., SZABÓ, CS., GÁL-SÓLYMOS, K. 1989. A new occurrence of lamprophyre in the Buda Mountains, Hungary. – Acta Geologica Hungarica 31/1–2, 149–168.
- KUBOVICS, I., SZABÓ, CS., HARANGI, SZ., JÓZSA, S. 1990. Petrology and petrochemistry of mesozoic magmatic suites in Hungary and adjacent areas – an overview. – Acta Geod. Geoph. Mont. Hung. 25, 345–371.
- LIEB, I. 2004. A Lukács-fürdő bemutatása. Földtani és hidrogeológiai viszonyai, történetének felkutatása és forrásainak retrospektív vizsgálata. Szakdolgozat, ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék.
- MAYNARD, J. B. 1983. Geochemistry of Sedimentary Ore Deposits. Springer Verlag (New York, Heidelberg, Berlin), 305 p.
- NEUMAN, S.P., WITHERSPOON, P.A. 1969. Applicability of current theories of flow in leaky aquifers. – Water Resources Research 5, 817–829.
- PALOTAI, M. 2004. A Gellért-hegy és a Lukács-fürdő vizeiben mért radon- és rádiumtartalom lehetséges forrásai – Tudományos Diákköri dolgozat, ELTE TTK, Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék. Atomfizikai Tanszék, 63 p.
- PAPP, F. 1942. Budapest meleg gyógyforrásai – a Budapesti Központi Gyógy- és Üdülöhelyi Bizottság Rheuma és Fürdőkutató Intézet kiadványa, Budapest, 252 p.
- RAMA, MOORE, W. S. 1984. Mechanism of transport of U–Th series radioisotopes from solids into ground water. – Geochimica et Cosmochimica Acta 48, 395–399.
- ROCK, N. M. S. 1987. The nature and origin of lamprophyres: an overview – in: FITTON, J. G., UPTON, B. J. G. (eds.) Alkaline Igneous Rocks. Blackwell, Edinburgh, 191–226.
- SZABÓ, CS., KUBOVICS, I., MOLNÁR, ZS. 1993. Alkaline Lamprophyre and Related Dyke Rocks in NE Transdanubia, Hungary: The Alcsutdoboz-2 (AD-2) Borehole. – Mineralogy and Petrology 47, 127–148.
- SZERBIN, P. 1994. A Rudas-fürdő légtérben mért radonkoncentráció sugáregészségügyi értékelése. – Balneológia, Gyógyfürdőügy, Gyógyidegenforgalom 1, 13–22.
- SZERBIN, P., GUCZI, J., STÚR, D., SZTANYIK B., L., UGRON, Á. 1997. A Hévízi-tó izotóp tartalmának (összetételének és koncentrációjának) vizsgálata, a gyógyászati hasznosítás során a személyzetet és a betegeket érő járulékos sugárzás dózisának becslése. – Balneológia, Gyógyfürdőügy, Gyógyidegenforgalom, különlenyomat.
- VÁRHALMI, M. 2004. A budapesti termálfürdők radonkoncentrációjának vizsgálata. Diplomamunka, ELTE TTK, Atomfizikai Tanszék, 52 p.
- WESZELSZKY, GY. 1912. A budapesti hévizek radioaktivitásáról és eredetéről. – Matematikai és Természettudományi Értesítő XXX, 340–381.
- WESZELSZKY, Gy. 1937. A budapesti hévizek rádiumemanációtartalmának eredetéről. – Hidrológiai Közlöny 16, 5–16.