

A Boltív-forrás radon tartalmának lehetséges eredete

Hogyan jut a Boltív-forráshoz radon?

TDK DOLGOZAT



Készítette: Csondor Katalin

Témavezetők: Dr. Erőss Anita, Tudományos munkatárs (ELTE TTK)

Dr. Horváth Ákos, Docens (ELTE TTK)

Dr. Szieberth Dénes, Docens (BME SZAKT)

**Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék**

Budapest, 2016

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. A Rózsadombi megcsapolódási terület bemutatása	4
2.1. Földtani felépítés	4
2.2. Szerkezetföldtani fejlődés	7
2.3. Hidrogeológiai jellemzők.....	7
2.4. A Molnár János-barlang, Boltív-forrás, Malom-tó, Lukács fürdő bemutatása	9
2.5. Korábbi kutatások eredményei.....	11
2.5.1. Vízkémiai kutatások.....	11
2.5.2. Radon kutatások.....	13
3. Mintavételi helyszín bemutatása.....	15
4. A radon, mint természetes nyomjelző a felszín alatti vizekben.....	18
5. Vizsgálati módszerek bemutatása	19
5.1. Terepi mérések	19
5.2. Laboratóriumi mérések	20
5.2.1. Általános vízkémiai vizsgálatok	20
5.2.2. Radon tartalom meghatározása szcintillációs módszerrel.....	22
5.2.2.1. Radon exhalációs mérések	23
6. Mérési eredmények bemutatása.....	23
6.1. Az egyes mintavételi pontok eredményeinek bemutatása	23
6.2. Mintavételi pontok összehasonlítása	24
6.3. Radon exhalációs mérések	28
6.4. Eredmények értékelése a korábbi mérések tükrében.....	29
7. Diskusszió	30
7.1. A fiziko-kémiai paraméterekből levonható következtetések	30
7.2. A radon eredményekből levonható következtetések	31
7.2.1. Mesterséges nyomjelzés	32
7.3. Általános következtetések.....	33
8. Konklúzió	34
9. Köszönetnyilvánítás	36
Irodalomjegyzék.....	37
10. Ábra- és táblázatjegyzék	41
11. Melléklet	43

1. Bevezetés

A Budai Termálkarszt területén fakadó források már a római idők óta szolgálják az embereket. Az itt felszínre bukkanó vizeket főként balneológiai célokra hasznosítják. A Rózsadomb előterében található Boltív-forrás egyike a ma is természetesen megcsapolódó forrásoknak. Langyos vizének (21 °C) egy részét a Lukács-fürdő hasznosítja, túlnyomórészt azonban hasznosítás nélkül folyik a Dunába (CSORDÁS J.-PATAKI L. 2012).

Dolgozatomban a Boltív-forrás vizében mérhető radon eredetének hidrogeológiai azonosítása a célom. A forrás a Malom-tóval és a Molnár János-barlanggal közös hidrogeológiai rendszert alkot: a forrás a barlang egy hasadékán keresztül tör a felszínre és a Malom-tavat táplálja. A területen zajlott korábbi vizsgálatok alapján (BARADÁCS et al. 2002, VÁRHALMI M. 2004, ERŐSS A. et al. 2012a; NAGY H. É. 2012, CSORDÁS J.-PATAKI L. 2012; BODOR P.-LOVRITY V. 2014; BODOR P. 2014; RESTÁS-GÖNDÖR A. 2015) a Boltív-forrás jóval magasabb radon tartalommal rendelkezik (átlagosan 44 Bq/l), mint a többi vizsgált barlangi mérési pont (átlagosan 18,6 Bq/l). Feltételezhető tehát, hogy a magasabb radontartalom eredete a korábbi mintavételi pontok és a forráskilépés közötti barlang szakaszon keresendő. Mivel a radon egy olyan radioaktív elem a felszín alatti vizekben, amely rövid felezési idővel rendelkezik és nemesgázként nem lép reakcióba sem a vízzel, sem a víztartóval, kitűnően használható természetes nyomjelzőként. Mindezek alapján a dolgozat célja az, hogy a Boltív-forrásból és a Molnár János-barlang forráshoz közelebb részén olyan térbeli eloszlásban vegyünk mintát, hogy a forrás magas radontartalmának eredetét a barlang járatrendszerében is követni tudjuk, illetve annak hidrogeológiai áramlási eredetének útvonalát meghatározhassuk. A radon mellett még a felszín alatti vizekben természetes konzervatív nyomjelzőként megjelenő elem, a klorid-ion eloszlását is vizsgáltam, melynek segítségével szintén a rendszerben megmutatkozó különbségek mutathatók ki.

A radon tartalom lehetséges forrásaként korábbi vizsgálatok (ERŐSS 2010; ERŐSS ET AL., 2012A) a barlangban lokálisan megjelenő vas-oxihidroxidos biofilmet azonosították, mely jó rádium adszorbensként működik. A biofilm előfordulása a különböző áramlási pályákon mozgó, eltérő hőmérsékletű, oldott anyag tartalmú és redox állapotú vizek keveredéséhez köthető, mely egyúttal az aktív barlangképződési

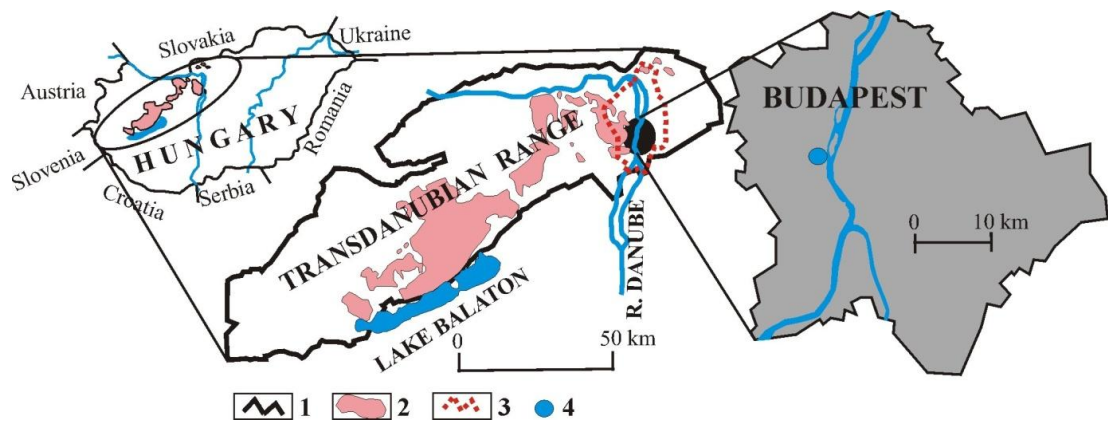
zónák indikátora is (ERŐSS 2010). A magasabb radon koncentrációjú helyek tehát az aktív keveredési korróziós zónákra is utalnak.

A vizsgálatokhoz összesen 42 mintavétel történt, melyeknél a helyszínen mértem a pH-t, a hőmérsékletet, a fajlagos elektromos vezetőképességet, laboratóriumban a radon tartalmat illetve általános vízkémiai elemzés is készült. Mindezeket túl nyomjelzéses kísérlettel igazoltuk két mintavételi helyszín kapcsolatát.

A vizsgálatok az ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszékén az OTKA NK 101356 pályázathoz (MÁDLNÉ SZŐNYI, 2012) kapcsolódóan folytak.

2. A Rózsadombi megcsapolódási terület bemutatása

A dolgozatom kutatási területe, a rózsadombi megcsapolódási terület a Budai Termálkarszt területén helyezkedik el (*1. ábra*). A Budai Termálkarszt magába foglalja Budapesten a budai oldal természetes forrásait, azonban az én kutatási területem ennek csak egy részét képezi, így a részletes földtani és hidrogeológiai felépítést a rózsadombi megcsapolódási területre fókuszálva mutatom be a dolgozatban.



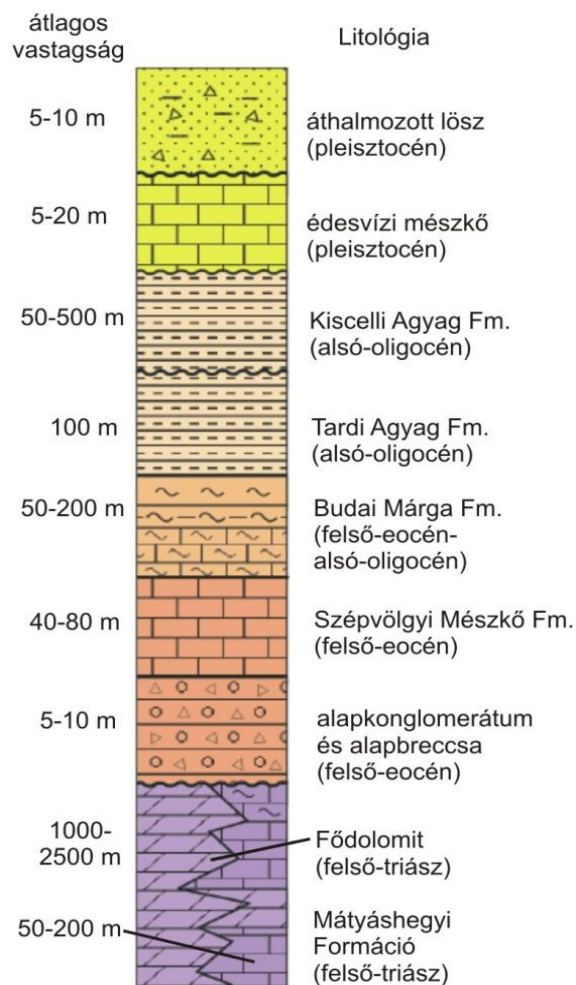
1. ábra: A Budai Termálkarszt és a rózsadombi megcsapolódási terület elhelyezkedése (ERŐSS 2010 után módosítva BODOR 2014)

1. meozoikumi karbonátok felszín alatti elterjedése; 2. fedetlen meozoikumi karbonátok; 3. Budai Termálkarszt, 4. rózsadombi megcsapolódási terület

2.1. Földtani felépítés

A vizsgált terület a Budai-hegység részét képezi, azonban ebben a dolgozatban csak a szűkebb, rózsadombi megcsapolódási terület földtani viszonyaira koncentrálna mutatom be a rétegsort (*2. ábra*).

A Budai—hegység ismert legidősebb kőzetei triász korú karbonátok (WEIN, 1977). Legnagyobb részben a hegységet ezek a karbonátos kőzetek építik fel. A ladin és karni idején folyó karbonát platform képződés révén jöttek létre az itt megjelenő, nagy vastagságú 1000-1200 méteres legidősebb kőzetek (**Budaörsi Dolomit Formáció**) (HAAS, 1994). A késő triász folyamán két eltérő képződési környezet jött létre, így azon időszakra több fácies kialakulása tehető. Egyik a karbonát platformok területén, karbonát platform szedimentáció révén kialakított nagy vastagságú dolomit (**Fődolomit Formáció**), illetve hasonló környezetben kialakuló biogén mészkő (**Dachsteini Mészkő Formáció**) (WEIN 1977; HAAS, 1994; HAAS ET AL., 2000). A másik környezet a platformok között úgynevezett intraplatform medencékben létrejövő, a platformokról beszállított klasztokból felépülő rétegeket tartalmazza (**Mátyáshegyi Formáció**) (HAAS ET AL., 2000). Ez a formáció a Rózsadomb területén 50-200 méteres vastagságban fordul elő.



2. ábra: A Rózsadomb elvi rétegsora (LEÉL-ÖSSY 1997 után módosítva in MINDSZENTY 2013)

Jura és kréta időszi üledékek nem ismertek a Budai- hegységben. Azonban ez nem jelenti azt, hogy a teljes időszakban szárazulati kitétség volt. A Gerecse, illetve a Bakony területén felállított tézisek alapján csak a késő-krétától volt szárazulat, előtte a jurában kondenzált üledékképződés folyhatott. A kainozoikum elején több tengerelőntés következett be, de csak a harmadik előntés során, a késő—eocén folyamán rakodtak le üledékek (BÁLDI ÉS BÁLDINÉ BEKE, 1986). Ekkor keletkezett az a sekélytengeri környezetben kialakuló mészkő, melyben a rózsadombi barlangok is kialakultak (*Szépvölgyi Mészkő*). Ebből folyamatosan fejlődik ki, a már mélyebb környezetre utaló márga (*Budai Márga*) (BÁLDI, 1983; NAGYMAROSY ÉS BÁLDINÉ BEKE, 1988), melyben a Molnár János-barlang egyes járatai is megtalálhatók. A középső eocéntől kezdődően a miocénig a Budai- vonal meghatározó szerepet tölt be a hegység fejlődéstörténetében, ami egy ÉÉK- DDNY-i határ felület (FODOR ET AL., 1994). A hegység ÉNy-i része az oligocén alatt kiemelkedett, így itt az úgynevezett infraoligocén denudáció, a triász kőzetekig lepusztította az üledék rétegeket (TELEGDI-ROTH, 1927; JASKÓ 1979). A Budai—vonaltól keletre anoxikus környezetben a Budai Márgából folyamatosan kifejlődve agyag (*Tardi Agyag*) keletkezett, ami csak a Budai-voltól keletre található meg (BÁLDI, 1983). Ezek után a Tardi Agyag folyamatos átalakulásával jön létre a *Kiscelli Agyag* (FODOR ET AL., 1994) és a vonaltól nyugatra képződött sekélytengeri, normál sós vízi *Hárshegyi HOMOKKŐ* (BÁLDI ÉS NAGYMAROSY, 1976). A Kiscelli Agyagból fejlődik ki aztán a sekélytengeri *Törökbálinti Homokkő*, majd erre települ a *Budafoki Formáció*, amit a *Rákosi Mészkő Formáció* követ. A késő miocén során a hegység DK-i részén agyag illetve homok rakódott le (WEIN, 1977) illetve a források mentén megkezdődött a travertínó kiválás (MÜLLER ÉS MAGYAR, 2008). A negyedidőszaki képződési környezeteket erősen befolyásolta az éghajlatváltozás és az erős felszínformálás. A képződmények főként valamely korábbi időszakban keletkezett formáció feldarabolódott, átalakított törmelékei. Ilyenek a durva és apró kavicsok melyek anyagukat tekintve triász, eocén illetve oligocén korúak. Ez helyenként kiváló édesvízi mészkő, vagy a Budai Márga és a Kiscelli agyag átalakult mállástermékei. Jó éghajlatjelzőként sok helyen található lösz, a Duna teraszán pedig folyóvízi kavics. Antropogén eredetű törmelék is jelentős mértékben fordul elő (KLEB ET AL., 1993).

A következő részben a termálvizek szempontjából fontos képződmények hidrogeológiai besorolását mutatom be Mindszenty (2000, 2013) munkája alapján. A

termálvizek tároló kőzete főként triász korú karbonát, leginkább a már korábban említett *Fődolomit* és *Mátyáshegyi Formáció*. Erre települt az eocén *Szép völgyi Mész kő*, a *Budai Márga* illetve a *Kiscelli Agyag* (BÁLDI 1983). Jó vízvezető és jól karsztosodó kőzetek közé tartozik a *Mátyáshegyi Formáció* mész kő tagozata, a *Dachsteini* illetve a *Szép völgyi Mész kő*. Utóbbi esetében a tektonikai folyamatok hatására kialakult repedéseknek fontos szerepük van, ezek révén jó vízvezetővé válik a kőzet. Közepesen jó vízvezető képződmények a *Budaörsi Dolomit*, a *Mátyáshegyi Formáció* dolomit tagozata, a *Fődolomit* illetve a *Budai Márga*. Vízrekesztő tulajdonságúak a különböző agyagok, mint a *Tardi* és a *Kiscelli Agyag*.

2.2. Szerkezetföldtani fejlődés

A Budai-hegység röviden összefoglalt szerkezeti fejlődése négy nagy tektonikai szakaszra tagolható (FODOR ET AL.,1994).

Az első szakaszban, a középső-kréta folyamán a triász képződményekben kialakuló feszültségek hatására redők és feltolódások alakultak ki ÉK-DNYI-i irányban.

A második, a késő-paleogén és kora-miocén folyamán egy NyÉNy-KDK-ÉNy-DK-i kompresszió és az arra merőleges tenzió hozta létre az ÉK-DNy-i és ÉNy-DK-i szinklinális-antiklinális szerkezeteket. A Dunántúli-Középhegységi Egység is ekkor mozdult ki keletre az Északi- és Déli-Alpok közül (Kovács, 1992).

A harmadik szakaszban a középső-miocén és pliocén alatt a már korábban létrejött vetők egy ÉK-DNy-i kompresszió és egy K-Ny – DK-ÉNy irányú extenzió hatására újabb normál vetős szerkezeteket hoztak létre.

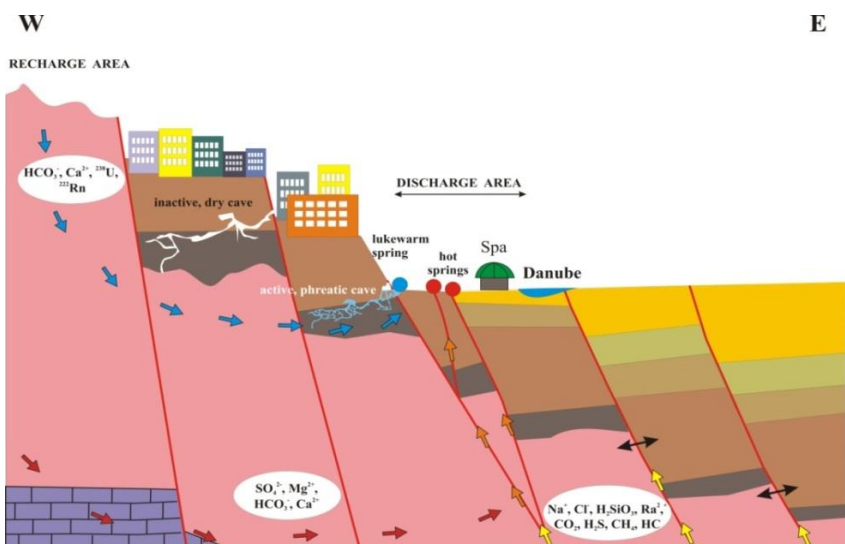
A pleisztocén folyamán kezdődő negyedik tektonikai folyamat ÉNy-DK irányú vetőket hozott létre. Ezekkel a folyamatok hatására kialakult vetők, törések azok, amik meghatározzák a felszín alatti vizek áramlását illetve megcsapolódását.

2.3. Hidrogeológiai jellemzők

A Budai Termálkarszt Európa egyik legnagyobb, ma is aktívan működő hipogén karsztja, jelentős hozamú termálvíz megcsapolódással. Ez a terület a Dunántúli-

középhegység karbonátos víztartójának regionális megcsapolódási területénél található, ahol egy karbonátos egység és egy üledékes medence találkozásánál törnek a források a felszínre. Alapvetően a Dunántúli-középhegység vizeinek áramlását a gravitáció vezérli (ALFÖLDI 1979,1981). Ennek a nagy karsztrendszernek az erózióbázisa a Duna, így Budapesten a Duna jobb partján törnek a források a felszínre, az úgynevezett Budai-forrásvonal mentén. A Budai Termálkarszt forrásai három nagy csoportot alkotva törnek a felszínre Békásmegyertől a Gellért-hegyig (ALFÖLDI ET AL., 1968). A leghidegebbek a Békásmegyertől Óbudáig tartó kb. 20 °C-os vizek. A következő csoportba a József-hegy lábánál, a rózsadombi megcsapolódási területen található források sorolhatók, melyek ezen belül még két csoportra oszthatóak, egy langyos, 22-25 °C-os és egy meleg, 30-60 °C-os forráscsoportra, ahol a langyos és a hévforrások egymás mellett, földtani szerkezetek által meghatározottan törtek felszínre. Itt a regionális eredetű melegebb vizek 800-1350 mg/l TDS-el a Dunához közelebb csapolódtak meg, míg a langyosabb források 770-980 mg/l TDS-el a hegylábhoz közelebb, melyeknél feltételezhető a lokális, hideg vizek hozzákeveredése is (PAPP, 1942; ERŐSS ET AL., 2008). Ma már a kitermelés miatt itt kevert vizek találhatóak (DÉRI-TAKÁCS ET AL., 2015). A Gellért-hegy lábánál fakadó 40-45 °C-os vizek alkotják a harmadik csoportot (PAPP, 1942; ALFÖLDI ET AL., 1968; IZÁPY ÉS SÁRVÁRY, 1993).

A Budai Termálkarszt áramlási rendszereire irányuló legfrissebb kutatások (ERŐSS, 2010, ERŐSS ET AL. 2012B, MÁDL-SZÖNYI ÉS TÓTH, 2015) finomították a már évtizedek óta felállított koncepcionális áramlási modellt (KOVÁCS ÉS MÜLLER, 1980). A korábbi modell a Budai Termálkarszt áramlási rendszerét egységesen kezelte, azonosnak vélte az egész területre. Ezután ERŐSS (2010) és ERŐSS ÉS MUNKATÁRSAI (ERŐSS ET AL., 2012) állították fel az új modellt, miszerint a Gellért-hegyi és a rózsadombi megcsapolódási terület különbözik egymástól (3. ábra). A megcsapolódási területekben rejlő különbséget geokémiaiilag, többek között radionuklidok segítségével mutatták ki (ERŐSS ET AL., 2012). Eszerint a Gellért-hegyi térségben a mélyből érkező termálvizek keveredés nélkül törnek a felszínre, míg a rózsadombi térségben kimutatható volt lokális, hideg vizek és regionális, meleg vizek keveredése. A radionuklidok segítségével a hideg szélső tag 775 mg/l TDS-el 12 °C-al volt jellemezhető, a termális szélső tag esetében ezen értékek 1440 mg/l TDS-t és 76,5 °C-ot mutattak.



3. ábra: A Rózsadombi megcsapolódási területen található különböző áramlási ágak koncepcionális modellje (ERŐSS ET AL. 2012,B)

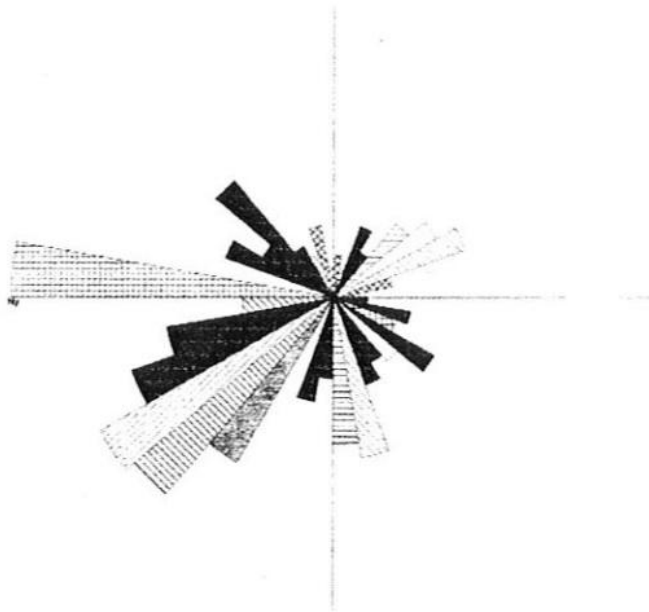
2.4. A Molnár János-barlang, Boltív-forrás, Malom-tó, Lukács fürdő bemutatása

A Molnár János-barlang (4. ábra) a Malom-tó és a hozzá tartozó források (Boltív-forrás, Alagút-forrás) aktív vízvezető járata, Budapest egyetlen nagy hosszban feltárt aktív hévizes barlangja. Hossza eléri a 6000 métert, vertikális kiterjedése pedig a 130 métert (ORSZÁGOS BARLANGNYILVÁNTARTÁS). Megközelíteni a Boltív-forással és a Malom-tóval együtt a Frankel Leó út 48. szám felőle lehet. A barlang első kutatója Molnár János patikus volt, aki az 1860-as évektől foglalkozott a barlang kutatásával, vízkémiai elemzést készített és nagy barlangrendszer feltételezett a források mögött. A barlang első felmérésének publikálása 1937-ből származik Papp F. és Tarics S. tollából. Ezután hosszú évtizedek kutatómunkájával tárta fel a barlangot több barlangkutató- és bűvár egyesület. Ma már egy mesterséges tárón keresztül lehet megközelíteni a Kessler-termet, ahova bűváruha nélkül is be lehet menni. Természetes járaton keresztül ez egészen a 2000-es évig lehetetlen volt, amikor is geofizikai mérések segítségével készítettek egy mesterséges bejáratot (SURÁNYI ET AL. 2010).



4. ábra: Búvárok a Molnár János-barlangban (fotó: R. Husek)

A barlang járatai legnagyobb részben alsó-oligocén korú *Budai Márgában* kisebb részben pedig felső-eocén *Szép völgyi Mészköben* húzódnak (LEÉL-ŐSSY 1997). A barlangjáratok ezeknek a kőzeteknek a hasadékainak tágulásával alakultak ki, vagy ezen két kőzet határán helyezkednek el (KALINOVITS 2006). A barlang kialakulásában a legnagyobb szerepet a különböző hőmérsékletű és telítettségű vizek keveredési korróziója illetve a kőzetek tektonikus preformáltsága játszotta (LEÉL-ŐSSY 1995). Az ilyen jellegű barlangokat, melyek kialakulásánál a mélységi fluidumoknak alapvető szerepe van, hipogén barlangoknak nevezzük (PALMER, 1991; KLIMCHOUK, 2007). A területen zajlott tektonikai folyamatok is nagyban hozzájárultak a járatok fejlődéséhez és a források felszínre bukkanásában. Mint már a korábbi fejezetekben szó volt róla, a késő-eocéntól a kora miocénig a területen NYÉNY-KDK irányú kompresszió és erre merőleges tágulás volt a jellemző. A kora miocén után NYÉNY-KDK irányú tágulás lett a jellemző É-D-i és ÉK-DNy-i vetők kíséretében, amik segítették a vizek kőzetbe való jutását és azok keveredését (KALINOVITS 2006). Ezek a tektonikai folyamatok határozzák meg a barlangjáratok irányát is (5. ábra). A diagram alapján a leginkább DNY-ÉK irányú hasadékok vannak, amit a barlang térképezésekor készített poligon térkép alaprajza is igazol (7. ábra).



5. ábra: A Molnár János-barlang járatainak irány diagramja (KALINOVITS 2006)

A Malom-tavat manapság már semmire sem használják, a zsilipen kifolyó vize hasznosítás nélkül folyik ki a Dunába. A Lukács fürdő egy, a barlangba beépített csövön keresztül nyeri ki a vizet a Molnár János-barlangból.

2.5. Korábbi kutatások eredményei

2.5.1. Vízkémiai kutatások

A Molnár János-barlangnak és a vele hidrogeológiai kapcsolatban álló Boltív-forrásnak, Alagút-forrásnak és a Malom-tónak évszázadokra visszanyúló kutatási előzményei vannak.

A legkorábbi vízkémiai eredmények Molnár János patikustól származnak, melyben a Boltív-forrás kémiai összetételét vizsgálta (MOLNÁR J. 1851). Ezeket az eredményeket az alábbi táblázat mutatja be:

<i>Ion</i>	<i>Mennyiség [mg/l]</i>
Na⁺+K⁺	50,16
Ca²⁺	132,7
Mg²⁺	41,6
Cl⁻	58,6
HCO₃⁻	528,1
SO₄⁻	90,4

1. táblázat: Molnár János vízkémiai eredményei a Boltív-forrásból

Ezen értékek alapján a forrás összes oldott anyag tartalma 901,56 mg/l-nek adódik. Papp Ferenc 1942-es Budapest meleg gyógyforrásai című munkájában hőmérséklet és hozam adatokat közöl. Eszerint a Boltív-forrás hőmérséklete 23,5-24,4 °C volt. Ebben a munkában ő is megemlíti a hideg és meleg vizek keveredéséből létrejövő langyos vizeket. Nem sokkal később Alföldi és munkatársai 1968-ban kiadott munkájában (Budapest hévizei) az alábbi vízkémiai adatok szerepelnek:

	<i>Na+K</i> [mg/l]	<i>Ca</i> [mg/l]	<i>Mg</i> [mg/l]	<i>Cl</i> [mg/l]	<i>HCO₃</i> [mg/l]	<i>SO₄</i> [mg/l]	<i>TDS</i> [mg/l]
Boltív-forrás	40,8	123,4	41,3	34,7	471,6	123,6	835,4
Alagút-forrás	53,90	127,19	42,05	54,36	486,04	127,11	893,65

2. táblázat: Alföldi és munkatársai (1968) által a Boltív-forrásra és az Alagút-forrásra közölt vízkémiai eredmények

Az újabb kutatások eredményeit is táblázatban összesítve mutatnám be (3.-4. táblázat). Ezek az elmúlt 3-4 év eredményei, melyek a Budai Termálkarszt kutatására irányuló OTKA projekt (MÁDLNÉ SZÖNYI 2012) keretében készültek úgy, mint jelen dolgozat is. Ennek a projektnek az egyik célja a Budai Termálkarszt, mint aktív hipogén karsztrendszer viselkedésének a minél részletesebb tanulmányozása és a rendszer alapos megismerése és megértése.

<i>Ion</i>	<i>Mennyiség [mg/l]</i>
Na⁺+K⁺	28,13
Ca²⁺	118
Mg²⁺	43,6
Cl⁻	30,9
HCO₃⁻	452
SO₄⁻	134

3. táblázat: A Boltív-forrás általános vízkémiai paraméterei (ERŐSS ET AL. 2012)

<i>Szerző</i>	<i>Mintavételi helyszín</i>	<i>pH</i>	<i>T [°C]</i>	<i>Vezetőképesség [μS/cm]</i>
Erőss et al. 2012	Boltív-forrás	6,94	21,7	932
Csordás J.-Pataki L. 2012	Lukács fürdő mintavételi csap	7,2	21,1	967
	Boltív-forrás	-	21,4	1055
Bodor P. 2014	Malom-tó, Boltív-forrás	-	21,35	1000
Restás-Göndör A. 2015	Boltív-forrás	6,71-6,99	19,3-22,5	855-1010

4. táblázat: A Boltív-forrás archív fiziko-kémiai paramétere

A Boltív-forrásra és a Malom-tóra irányuló korábbi kutatások eredményei között van némi eltérés. Az eltérés oka könnyen lehet, hogy a mintavételezés mikéntjében keresendő, ugyanis saját tapasztalatok igazolják, hogy a Boltív-forrásból bailer segítségével nagyon nehéz pontosan ugyan arról a helyről mintát venni. Ez alapján könnyen előfordulhat, hogy ugyan azt a helyszínt mintázva sem kapjuk ugyan azt az eredményt, tehát ezek a különbségek a mintázás hibájából származnak. A vezetőképesség értékek 855 μS/cm és 1055 μS/cm között alakulnak, így a fent említett paraméterek közül ez a legváltozékonyabb. A hőmérséklet értékek 19,3-22,5 °C-al nem mutatnak nagy változékonyságot. Az elmúlt pár év kutatási eredményei között még kisebb a változékonyság az egyes paraméterek között. A rendszer változékonyságára irányuló korábbi kutatás eredményeképp megállapították, hogy a csapadékvizeknek elhanyagolható szerepe van a rózsadombi megcsapolódási terület langyos forrásainak paraméter változásaiban (BODOR ET AL. 2015).

2.5.2.Radon kutatások

A vizsgált területen történő első radon vizsgálatokat BARADÁCS et al. 2002-es munkájában találjuk a Boltív-forrásra vonatkozóan. Nem sokkal később VÁRHALMI 2004-es munkájában már a Molnár János-barlang több pontján és a Lukács fürdőben

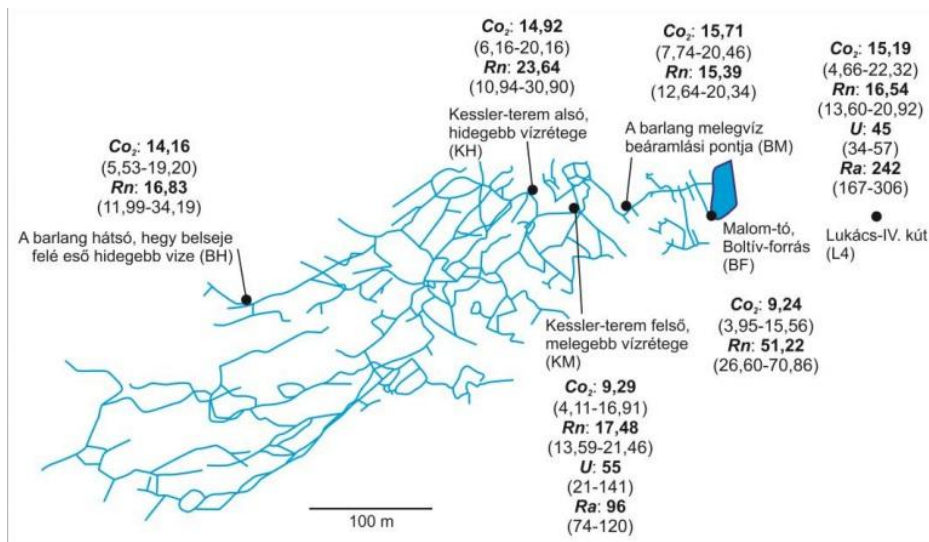
történtek mintavételezések a radon vizsgálatokhoz. Itt a Molnár János-barlangnál sajnos nincsenek megadva a dolgozatban a pontos mintavételi helyszínek, ahonnan a búvárok hozták a mintát. ERŐSS 2010-ben a Boltív-forrás radon tartalmát vizsgálta. Később több szakdolgozati munka keretében történtek radon vizsgálatok a Boltív-forrásban és a Molnár János-barlangban is (BODOR 2014, RESTÁS-GÖNDÖR A. 2015). Ezeknek a korábbi méréseknek az eredményét az 5. táblázat mutatja be. A táblázat adatai az adott munkákból csak azokat a mérési pontokat tartalmazzák, melyek ebben a kutatásban is mintázásra kerültek.

<i>Szerző</i>	<i>Boltív-forrás [Bq/l]</i>	<i>Malom-tó [Bq/l]</i>	<i>Molnár János-barlang [Bq/l]</i>
Baradács et. al 2002	18	-	-
Várhalmi M. 2004	-	18,5	3,2-18
Eröss A. 2010	58	-	-
Bodor P. 2014	-	27,39	17,33 (Kessler-terem)
Restás-Göndör A. 2015	26,60-70,86	-	10,94-34,19

5. táblázat: A vizsgált terület korábbi radon kutatásainak eredményei

Az egyes szerzők által közölt adatok alapstatisztikai eltérő adatmennyiségből számítottak. A Molnár János-barlangra vonatkozóan VÁRHALMI M. 2004 értéke 9 mérés alapján állt össze, BODOR P. 2014 munkájában 13 mérési adatból, RESTÁS-GÖNDÖR A. 2015 dolgozatában 65 mérési adatból kapták meg az átlagos illetve a minimum, maximum értékeket. A Boltív-forrás esetében RESTÁS-GÖNDÖR A. 2015 alapján 17 értékből kapta ezt a tartományt. A Molnár János-barlangban található mintavételi pontok nem esnek egybe azokkal a mintavételezési pontokkal, melyeket ennek a kutatásnak a keretében mintáztunk (6. ábra), azonban érdemesnek gondolom feltüntetni ezeket az eredményeket is, hogy egy teljesebb képet kaphassunk az egész rendszerrel kapcsolatban, továbbá ezen adatok fontosak a dolgozat fő kérdésének szempontjából is.

Az archív adatok alapján az egyes pontok közti különbségeket az általános vízkémiai paraméterek kevésbé, azonban a radon koncentrációk eredményei már jobban igazolják.



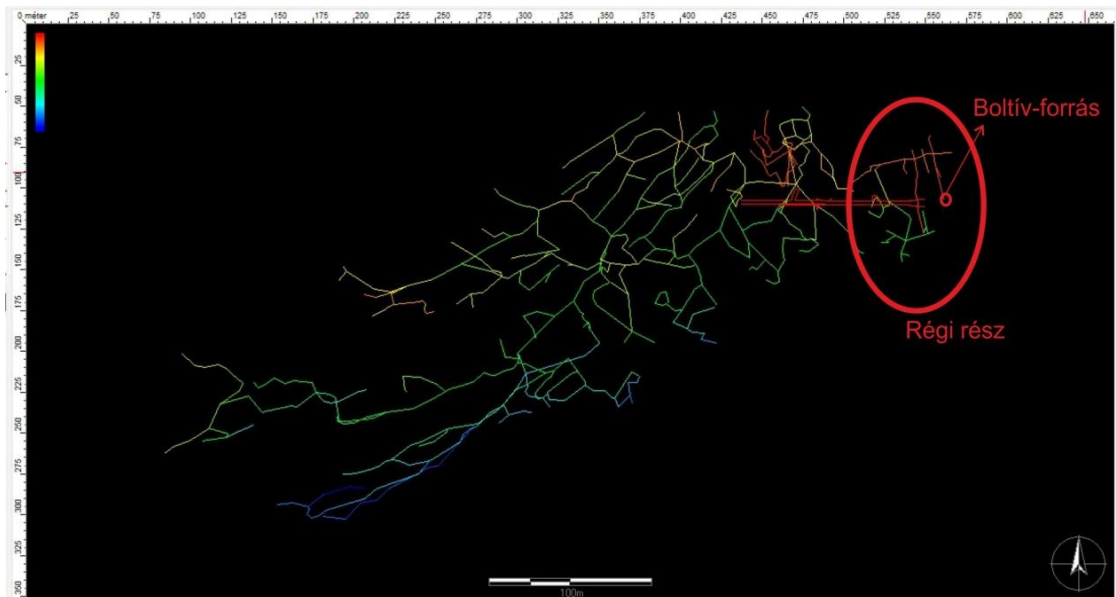
6. ábra: RESTÁS-GÖNDÖR A. 2015 mintavételi helyei a Molnár János-barlangban illetve a Boltív-forrásban

3. Mintavételi helyszín bemutatása

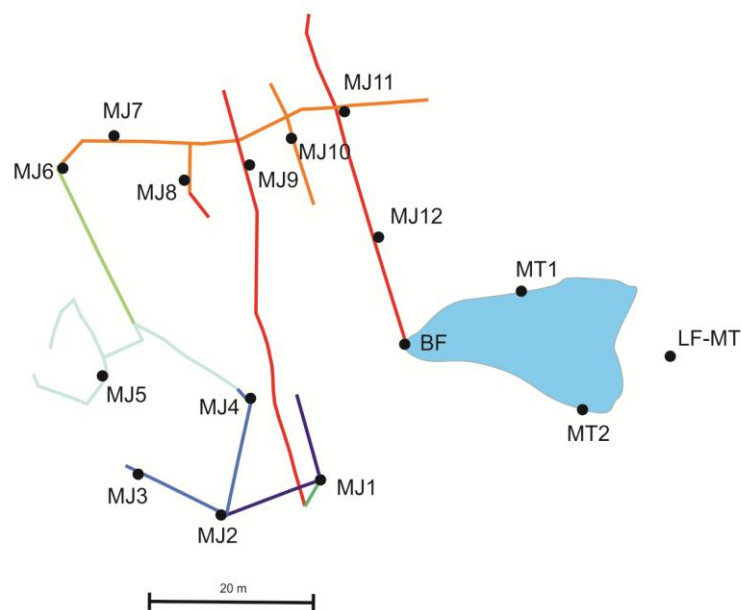
A kutatás során a Molnár János-barlangból, a Boltív-forrásból, a Malom-tóból és a Lukács fürdőből 4 alkalommal, összesen 42 darab mintát vettem, 19 különböző helyről (I. számú melléklet).

Mivel az alapvető kérdés az volt, hogy a Boltív-forrás honnan nyeri a magasabb radon tartalmat úgy láttuk jónak, ha először a barlang forráshoz közel eső részét vizsgáljuk, ezért csak az úgynevezett régi részről vettünk mintákat, ami a teljes barlang hosszának csak egy kis részét teszi ki (kb. 360 méter a barlang poligon alapján) (7. ábra). A barlangon belül arra törekedtünk, hogy körülbelül azonos közönként legyenek a pontok, hogy megfelelő térbeli eloszlást kaphassunk.

A 19 mintavételi helyből 12 található a barlangon belül (MJ jelű minták), négy a Boltív-forrásban (BF jelű minták), kettő a Malom-tóban (MT jelű minták) és egy a Lukács fürdőben (LF-MT jelű minta), mely a barlangból jövő csövet mintázza meg (8. ábra).



7. ábra: A Molnár János-barlang poligonjának alaprajza (forrás: Magyar Állami Természetvédelem, Barlang- és Földtani Osztály) a régi rész és a Boltív-forrás feltüntetésével (a színek a mélység függvényében vannak feltüntetve, pirossal a legsekélyebb, kézzel a legmélyebb pontok)



8. ábra: Mintavételi pontok a Molnár János-barlangba és a Boltív-forrásban (alaprajzi nézet a barlang poligonja alapján). *Jelmagyarázat: MJ: Molnár János-barlang, BF: Boltív-forrás, MT: Malom-tó, LF-MT: Lukács fürdő, Malom-tó csap, Megjegyzés: a Malom-tó és a Lukács fürdő mérési pontja nem mérethelyesen van feltüntetve a barlangi pontokhoz képest, illetve a színek a mélység függvényében értendők, pirossal a legsekélyebb, kézzel a legmélyebb részek*

A Boltív-forrásban kettő mintavételi pont a forrás sekélyebb vizének mintázására, kettő pedig a mélyebb vizek mintázására irányult (9. ábra). A forrás egy hasadékon keresztül áramlik felfelé, amit mesterségesen felduzzasztottak zsillippel, így létrehozva a Malom-tavat.



9. ábra: A Boltív-forrás mélyebb részének mintázása búvárok segítségével

A Malom-tóból (10. ábra) a tó két oldaláról, a Lukács fürdőből pedig a barlangban elhelyezett csővezetéket termelő mintavételi csapról vettem a mintát. A tó vizét nem csak a Boltív-forrás táplálja, hanem az Alagút-forrás is, ami a Molnár János-barlang víz alatti bejárata. A tó illetve a források vizének egy részét a Lukács fürdő felhasználja fürdőzési célokra, azonban a másik része hasznosítatlanul folyik ki a Duna vizébe (CSORDÁS J.- PATAKI L. 2012).



10. ábra: A Malom-tó és a vizét elvezető zsillip

4. A radon, mint természetes nyomjelző a felszín alatti vizekben

A radon a természetben előforduló, radioaktívan bomló anyag. A ^{238}U bomlási sorában található, a ^{226}Ra leányeleme. Ezek a radionuklidok megtalálhatók a felszín alatti vizekben (HOEHN 1998, SWARZENSKI 2007) és eltérő geokémiai viselkedésük alapján más-más szakaszain lesznek jellemzőek az áramlási pályáknak. Az áramlási pálya mentén kialakuló redox viszonyoktól függően lesznek mobilisak, vagy halmozódnak fel. A rádium esetében a redukív viszonyok kedveznek a mobilitásnak, így ez az elem a megcsapolódási területeken lesz jellemző. Ezzel ellentétben az urán az oxidatívabb, utánpótlódási területeken lesz számottevőbb. A radon vízben való oldhatósága nagyon jó, de esetében nem a vizek redox állapota határozza meg a jelenlétét, hiszen nemesgáz. Ezeknek a radionuklidoknak a segítségével jellemezhetők illetve mutatható ki a különböző áramlási pályákon mozgó vizek a keveredése is (EISENLOHR-SURBECK 1995, HOEHN 1998, GAINON ET AL. 2007, ERŐSS ET AL. 2012, ERŐSS ET AL. 2015). Az urán, a rádium és a radon eltérő felezési idővel bomlik, így segítségükkel különböző idejű és távú folyamatokat tudunk vizsgálni. Jelen dolgozatban a kutatási területen ezen radionuklidok közül a radon alkalmazása a legoptimálisabb, hiszen 3,6 napos felezési idejével a rövid távú és időben röviden lezajló folyamatokat tudjuk vizsgálni. A radon a ^{226}Ra bomlásából származik, mennyisége attól függ, hogy mennyi tud a pórusokból kiszabadulva szállítódní. A radon koncentrációt befolyásolja még a szállító víz milyensége is. Ha egy zárt rendszerben, felszín alatti vízben vizsgáljuk a radon tartalmat magasabb értékekre számíthatunk, mint egy nyílt rendszer (pl. tó) esetében, mivel a radon a nyílt vízfelszínen könnyen kigázosodik a víz és a levegő határán és eldiffundál a rendszerből. Radont tehát a lokális rendszereknél várhatunk nagyobb koncentrációban, ahol a rövid áramlási pálya végére még nem tud elbomlani és van is utánpótlása, így ez a lokális karsztrendszereknél jól teljesül (EISENLOHR-SURBECK 1995). Ritkább esetekben találkozhatunk regionális megcsapolódási pontoknál is magas radon koncentrációval, ha jelen vannak vas-mangán-oxihidroxidok, amik lokális radon forrásként működnek a rádium adszorpciója által (Gainon et al., 2007, Erőss et al., 2012).

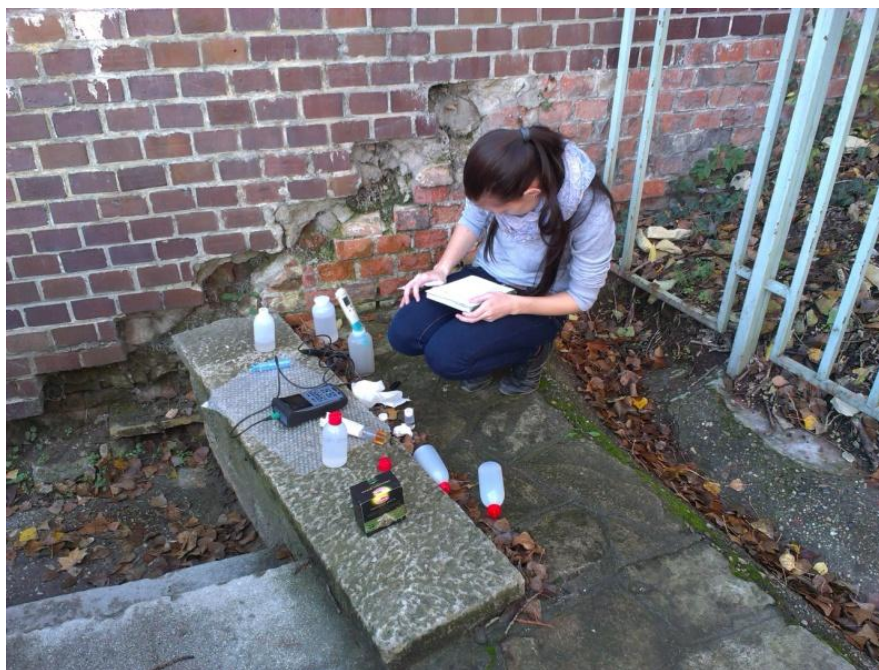
A radon mellett a másik „alkalmazott” természetes nyomjelző a klorid-ion volt. Ez az ion egy konzervatív nyomjelző, melynek viselkedése hasonlít a víz molekuláéra, emellett nem lép reakcióba sem a vízzel, sem pedig a kőzetvázalattal illetve a környezettel

sem. Alapvetően minden felszíni és felszín alatti vízben megtalálható, azonban mivel az áramlási rendszerek alapvetően a különböző pontjaikon jellegzetes kémiai összetevőkkel bírnak, nem minden ponton ugyanazok az ionok lesznek jellemzőek. A beáramlási területtől a kiáramlási területig eljutva különböző kémiai jelleg lesz a jellemző (CHEBOTAREV 1955). A kloridion főként a kiáramlási területen lesz domináns, a regionális rendszerek jellemző anionja, illetve esetenként mélységi fluidumok jelenlétét is jelezheti. Mivel a Boltív-forrásnál és a Molnár János-barlangnál, egy regionális megcsapolódási területen fekszik, a kloridion jelenléte valószínűsíthető illetve feltételezhetjük a mélységi fluidumoknak a jelenlétét is, tehát a klorid-ion jól alkalmazható természetes nyomjelzőként ezen a területen.

5. Vizsgálati módszerek bemutatása

5.1. Terepi mérések

Számos paraméter rögzítése már a helyszínen megtörtént. Ezek a paraméterek a hőmérséklet, a pH és a fajlagos elektromos vezetőképesség (referencia hőmérséklet 25 °C). Ezekhez a mérésekhez WTW multi 3430 SET G, Dataqua DA-DTK típusú műszerek álltak a rendelkezésünkre, illetve egy Testo 206 pH mérő (11. ábra). A fajlagos elektromos vezetőképességet mérő műszer a WTW multi 3430 SET G referencia hőmérséklete 25 °C és 1 %-os hibával dolgozik. A Dataqua DA-DTK a vezetőképesség mérésnél +1,5 %-os hibával dolgozik. A Testo 206 pH mérő pontossága 0,02. A terepi mérések előtt minden alkalommal a műszerek kalibrálása megtörtént a megfelelő referencia oldatok segítségével. A radon mérésekhez 23 ml-es küvettába 10 ml vízmintát vettünk, melyekbe előzetesen 10 ml szerves koktélt (Optifluor O) töltöttem.. A terepi paraméterek és az általános vízkémiai elemzésekhez 0,25 l-es PP palackokat használtam.



11. ábra: A WTW műszer használata terepen

5.2. Laboratóriumi mérések

5.2.1. Általános vízkémiai vizsgálatok

Az általános vízkémiai paraméterek meghatározásának a célja, hogy ezeknek az értékeknek az ismeretével meg tudjuk állapítani a vizek alapvető kémiai összetételét, illetve információt kaphatunk a különböző vizek tulajdonságairól. A minták általános vízkémiai elemzéseit az ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszékének kémiai laboratóriumában végeztem az érvényben lévő magyar szabványok alapján. Összesen 7 főelem került meghatározásra: nátrium (Na^+), kálium (K^+), kalcium (Ca^{2+}), magnézium (Mg^{2+}), klorid (Cl^-), hidrogén-karbonát (HCO_3^-), szulfát (SO_4^{2-}).

A kalcium, magnézium, hidrogénkarbonát és klorid mennyiségének meghatározására titrimetriás méréseket használtam. Minden esetben adott térfogatú vízmintához meghatározott mérőoldatot csepegtetünk, így ennek pontos fogyásából és ismert koncentrációjából tudunk következtetni a vízben található ionok mennyiségére. A titrálás során indikátorokat használunk, melyek jól jelzik a változásokat. A hidrogén-karbonátnál keverék indikátort brómkrezolöld-metilnarancs, a kalcium esetében murexid, a magnézium esetében pedig eriokróm fekete-T indikátort használtunk.

A vizek HCO_3^- és Ca^{2+} koncentrációja az alábbi képlet alapján számítható ki:

$$A = \frac{x \cdot c \cdot f \cdot M \cdot 1000}{V}$$

ahol, A: a keresett ion koncentrációja mg/l-ben; x: a mérőoldat fogyása a titrálás során ml-ben; c: a mérőoldat koncentrációja mol/dm³-ben; f: a mérőoldat faktora (dimenzió nélküli); M: az adott ion moláris tömege g/mol-ban; V: a bemért minta térfogata ml-ben.

A HCO₃⁻ esetében sósav, míg a Ca²⁺ esetében EDTA a mérőoldat.

A Mg²⁺ koncentrációja az alábbi képlet alapján határozható meg:

$$A = \frac{(a-b) \cdot c \cdot f \cdot M \cdot 1000}{V}$$

ahol, A: a keresett ion koncentrációja mg/l-ben; (a-b): a kalcium mérőoldat fogyásának és a magnézium mérőoldat fogyásának a különbsége ml-ben; c: a mérőoldat koncentrációja mol/dm³-ben; f: a mérőoldat faktora (dimenzió nélküli); M: az adott ion moláris tömege g/mol-ban; V: a bemért minta térfogata ml-ben.

A klorid titrálása során ezüst-nitrát mérőoldatot és kálium-kromát indikátort használunk és az alábbi egyenlet alapján számítható ki a klorid ion mennyisége:

$$A = \frac{x \cdot f \cdot 1000}{V}$$

ahol, A: a keresett ion koncentrációja mg/l-ben; x: a mérőoldat fogyása a titrálás során ml-ben; f: a mérőoldat faktora (dimenzió nélküli); V: a bemért minta térfogata ml-ben.

A nátrium és kálium tartalmat lángfotometriás méréssel határoztuk meg, FLAMOM típusú lángfotométer segítségével. Lángfotometriás mérések során az anyagot először gőz halmazállapotba visszük (porlasztó-cső segítségével a lángba juttatjuk), majd gerjesztjük és az ehhez kapcsolódó fényelnyelést mérjük. A mérések elvégzése előtt a műszert kalibrálni kell standard oldatokkal a nátrium és a kálium esetén is. A fény intenzitása egyenesen arányos a vizsgált elem koncentrációjával (Scheibe-Lomakin egyenlet alapján), így leolvassuk a standard oldatok értékeit és a többi eredményt ehhez viszonyítjuk.

A szulfát-tartalom meghatározásához spektrofotometriás méréseket alkalmaztunk Spektromom 195 D típusú műszer segítségével. Spektrofotometria során az anyagok fényelnyelő képességét vizsgáljuk. Az anyagok elnyelési színe jellemző érték, így

mennyiségi meghatározásra alkalmas a módszer. A mérés elvégzéséhez szükséges a vízminták előkészítése, melynek során minden 5 ml vízmintához 0,005 M-os bárium-kromátot adunk, fél óra elteltével 2 ml Ca-oxid szuszpenziót teszünk hozzá, majd centrifuga csőbe tesszük és lecentrifugáljuk. A centrifugálás után tudjuk lemérni spektrofotométerrel 420 nm-es hullámhosszon, amit előre bekalibrálunk ismert koncentrációjú oldatok segítségével, amikhez viszonyítva határozzuk meg a vizsgált minta értékeit.

5.2.2. Radon tartalom meghatározása szcintillációs módszerrel

A radon rövid felezési idejű izotóp, a ^{226}Ra leányeleme, így jelenléte a vízben olyan áramlási folyamatokról adhat nekünk információt, amik rövid idejűek. A radon koncentráció meghatározásához folyadék szcintillációs módszert alkalmaztunk. Ehhez szükséges, hogy a terepen a vízmintákat (10 ml) erre kialakított küvettába tegyük (23 ml), amikbe már előzőleg Opti-Fluor O szerves koktél kerül. Ez az anyag vízzel nem képes elegyedni, így a küvettában két fázis lesz. A küvettába kerülés után bizonyos idő elteltével (5 óra, felrészve 3 óra) a radon a szerves koktélba diffundál és beáll az egyensúly a rendszerben. Nagyon fontos a mintavételkor a küvettán feltüntetni a mérés idejét percre pontosan, ugyanis a későbbi számításoknál ez elengedhetetlen információ. A mérési módszer lényege, hogy a vízben lévő radioaktív anyag bomlása során kibocsátott α részecske a szerves koktél molekuláit gerjeszteni fogja, mellyel fényfelvillanást okoz. A fényfelvillanást fotoelektron- sokszorozó detektálja, majd ezekből az impulzusokból kapott amplitudó eloszlás gyakoriságot tudjuk kiértékelni. A mérést TriCarb 1000 típusú szcintillációs készülékkel végeztük az ELTE TTK Atomfizika Tanszékén. A mérések előtt egy ismert ^{14}C radioaktív izotóppal történt a kalibrálás. A mérés után egy excel táblázat és előre kalibrált egyenlet alapján határoztuk meg a vízminták radon tartalmát Bq/l-ben,

$$c = \frac{CPM - 12,6}{1,98}$$

ahol a CPM a percenkénti detektált elektromos jelet jelenti és a c a vízminta radon koncentrációja Bq/l-ben.

5.2.2.1. Radon exhalációs mérések

A radon exhaláció szilárd anyagokra jellemző mennyiség, amely megadja, hogy az adott minta egységnyi tömegéből hány darab radon atom lép ki időegység alatt. Ezen dolgozatban a Malom-tóból vett iszapminta radon exhalációját határoztuk meg folyadék szcintillációs módszerrel, TriCarb 1000 műszer segítségével. Ehhez az iszapmintát szobahőmérsékleten kiszárítottam, majd 2,1010 g-nyi mennyiséget egy üres 23 ml-es üveg küvettába tettem. Az iszap pontos tömegének mérését egy Swiss Quality Precisa 205A analitikai mérleggel végeztem el. Az iszapra ezután 8 ml desztillált vizet fecskendeztem, majd erre 10 ml Optifluor O szerves koktélt. A Tricarb 1000 műszerrel ezt 9 napig mértük folyamatosan, az eredményeket pedig az előbbi (5.2.2) fejezetben leírtak szerint értékeltem ki.

6. Mérési eredmények bemutatása

A kutatás során a Molnár János-barlangból, a Boltív-forrásból, a Malom-tóból és a Lukács fürdőből 4 alkalommal, összesen 42 darab mintát vettem, 19 különböző helyről. Az eredmények összesített táblázatát az I. melléklet tartalmazza. Ezekből a mintákból fajlagos elektromos vezetőképesség értékeket, pH-t, hőmérsékletet és a 7 fő iont, kalciumot, magnéziumot, hidrogénkarbonátot, kloridot, szulfátot, nátriumot és káliumot határoztam meg.

Elsőként az egyes mintavételi pontokon mért paramétereket jellemzem leíró statisztikájuk alapján, ezután pedig az egyes pontokat vizsgálom meg egymáshoz viszonyítva paraméterenként.

6.1. Az egyes mintavételi pontok eredményeinek bemutatása

A mintavételi alkalmakkor nem mindig nyílt lehetőség arra, hogy ugyan azokat a pontokat mintázzuk, így vannak olyan mérési pontok ahol több adatunk is van, azonban vannak olyan pontok is, ahol csak egy. Ezért megvizsgáltam, hogy az egyes mintavételi pontokon különböző időpillanatban vett minták paraméterei mennyire változnak, annak

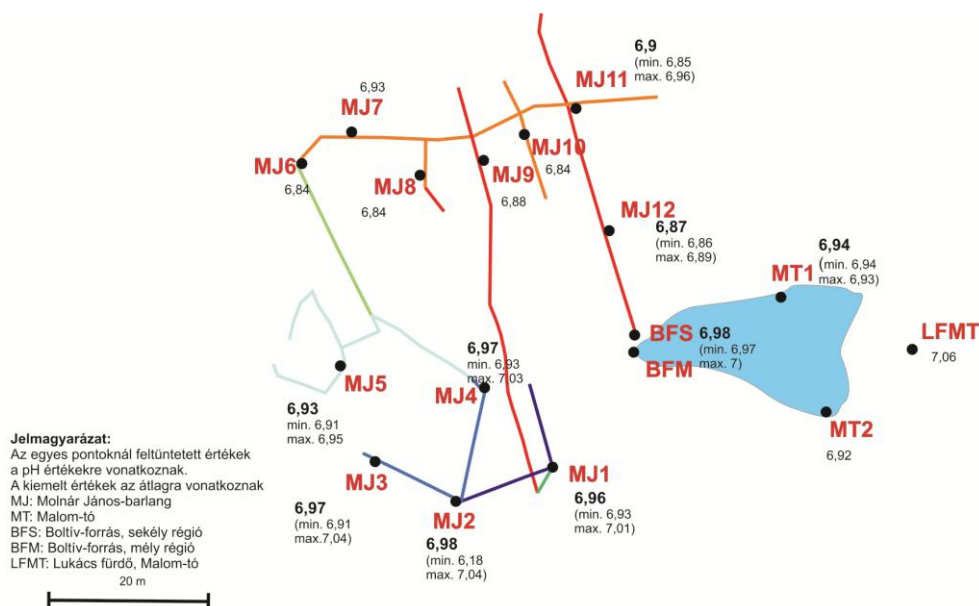
érdekében, hogy megítéljem, hogy az különböző mintavételi alkalmakkor mért paraméterek mennyire hasonlíthatók össze.

A terepen a legkönnyebben rögzített paraméterek a hőmérséklet, a fajlagos elektromos vezetőképesség és a pH. Bár a terepen a hőmérséklet értékeket is rögzítettem, azonban a barlangból búvárok által hozott mintáknál a hőmérséklet értékek már nem a valóságot mutatják, hiszen némelyik minta palackozása és a felszíne érése között egy óra is eltelt, így ezek értelmezése nem valós helyzetet reprezentálna, így ezt a dolgozathoz kihagytam. A búvároknak sajnos nem nyílt lehetősége a helyszíni hőmérséklet adatok rögzítésére.

Az egyes mintavételi pontok bemutatásához elkészítettem minden mérési pont leíró statisztikáját, minden mért paraméterre, amit a II. számú melléklet tartalmaz. A leíró statisztikák alapján elmondható, hogy azoknál a mintavételi pontoknál, ahol nem csak egy időpontban volt mintavétel, hanem több esetben is, ott a szórás és relatív szórás értékek nagyon kicsik (0,004 és 0,1 között alakulnak). Ez azt bizonyítja, hogy az egyes pontoknál időben nem történik változás az egyes paraméterek koncentrációiban. Erre azért volt szükség, hogy a pontok egymáshoz hasonlításánál használhatjuk-e a különböző időpontokban mért értékeket, illetve ott, ahol több mérési eredmény van, használhatunk-e átlagot. A leíró statisztikák eredménye alapján a későbbiekben az azonos helyen mért értékeket átlagolni tudjuk.

6.2. Mintavételi pontok összehasonlítása

A mintavételi pontok összehasonlítását a pH-val és a fajlagos elektromos vezetőképességgel kezdem. A legkisebb mért pH érték 6,77 a legnagyobb 7,06. A pH értékek változékonysága nagyon kicsi az egyes pontok között, 2,8 %. Az egyes pontokhoz tartozó pH értéket a *12. ábra* mutatja be. A leíró statisztika alapján is a pH szórása és relatív szórása a legkisebb (*6. táblázat*).



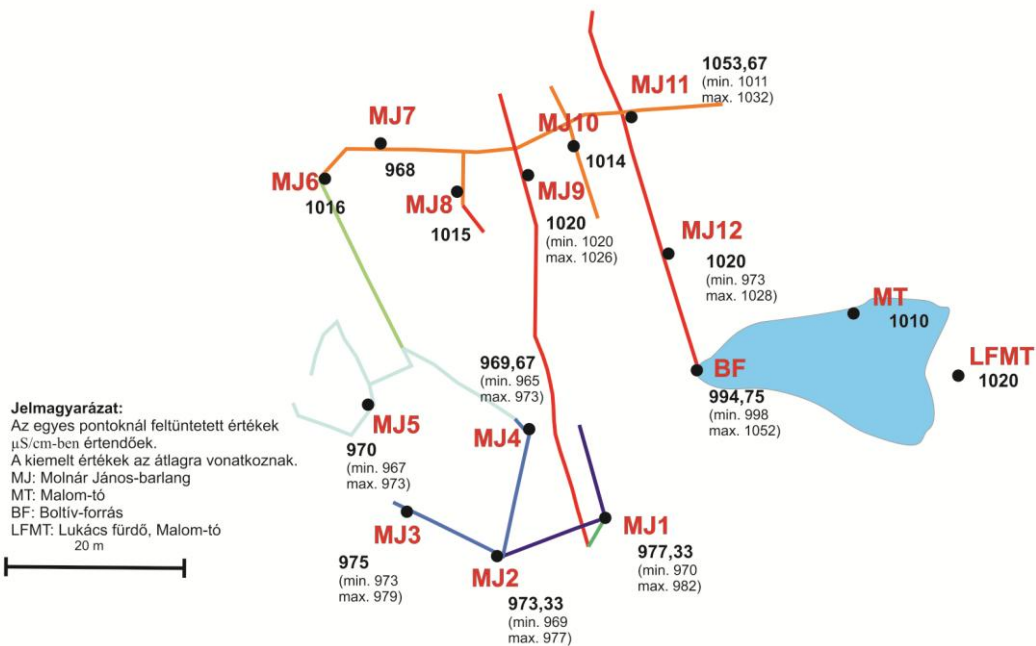
12. ábra: Az egyes mintavételi pontokhoz tartozó átlagos pH értékek a minimum és a maximum feltüntetésével (a színek a mélység függvényében vannak feltüntetve, pirossal a legsekélyebb, késsel a legmélyebb pontok, alaprajz), *Megjegyzés: a Malom-tó és a Lukács fürdő mérési pontja nem mérhetően van feltüntetve a barlangi pontokhoz képest, illetve a színek a mélység függvényében értendőek, pirossal a legsekélyebb, késsel a legmélyebb részek*

	Vez.kép. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	pH
Várható érték	998,9	6,9
Standard hiba	0,04	0,01
Szórás	35,70	0,07
Minimum	965	6,8
Maximum	1118	7,1
Darabszám	34	35

6. táblázat: A pH és a fajlagos elektromos vezetőképesség leíró statisztikai adatai (azoknál a pontoknál, ahol több mérés történt, átlag értékekkel számoltam)

A fajlagos elektromos vezetőképességek 965 $\mu\text{S}/\text{cm}$ és 1118 $\mu\text{S}/\text{cm}$ között alakultak. Hasonlóképpen a pH-hoz a különböző mérési időpontokban az egyes mintavételi helyeknél a vezetőképesség értékeknél nem volt nagy változás. Azonban egymáshoz viszonyítva a különböző pontokat 14 %-os eltérés volt a legnagyobb, így itt az látszik, hogy a mintavételi pontok között a fajlagos elektromos vezetőképesség értékekben vannak különbségek. A barlang magasabban fekvő járataiban (MJ6, MJ7, MJ8, MJ9, MJ10, MJ11) és a Malom-tóban (MT1, MT2, LF-MT) 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ feletti értékeket mértünk, míg a barlang alacsonyabban fekvő járataiban (MJ1, MJ2, MJ3, MJ4, MJ5) és

a Boltív-forrásban (BF) átlagosan ezen érték alatt maradtak a fajlagos elektromos vezetőképesség értékek (13. ábra).

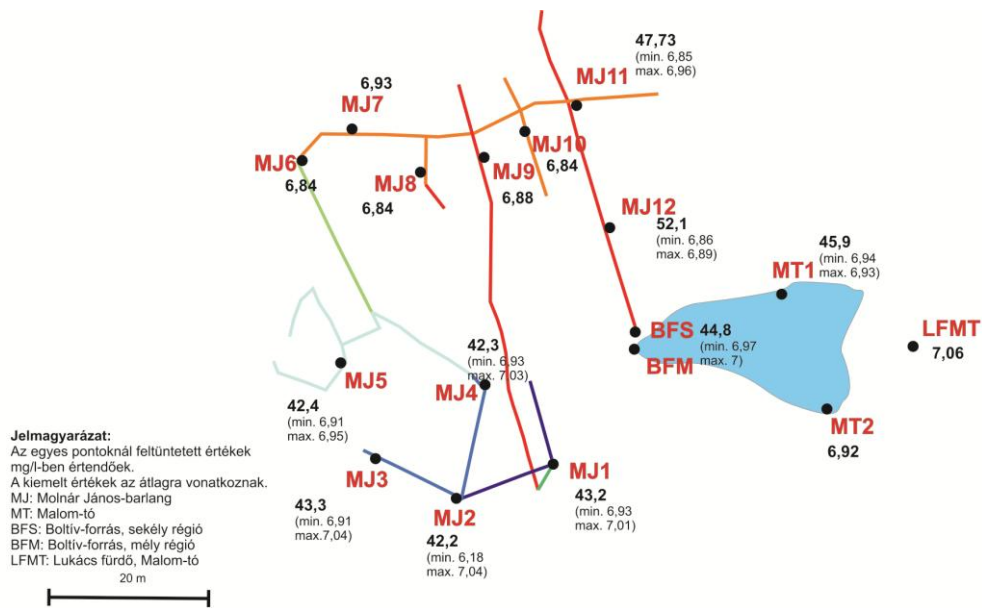


13. ábra: Fajlagos elektromos vezetőképesség értékek $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ben az egyes mintavételi pontoknál (a színek a mélység függvényében vannak feltüntetve, pirossal a legsekélyebb, kézzel a legmélyebb pontok, alaprajz), Megjegyzés: a Malom-tó és a Lukács fürdő mérési pontja nem mérhető helyesen van feltüntetve a barlangi pontokhoz képest, illetve a színek a mélység függvényében értendőek, pirossal a legsekélyebb, kézzel a legmélyebb részek

A klorid ion térbeli eloszlását a 14. ábra mutatja be. A felsőbb járatokban magasabbak az értékek, az átlag felett (7. táblázat) alakulnak, ugyanúgy, mint a vezetőképességnél, hiszen az, az összes oldott anyag tartalomtól függ, így nem meglepő, hogy az egyes elemek koncentrációja is magasabb. A klorid ion koncentrációk minimum értéke 41 mg/l, a maximum érték 62 mg/l. A legalacsonyabb és legmagasabb értékek között 18%-os eltérés van, relatív szórása 0,09.

	<i>Cl⁻</i> [mg/l]
Átlag	45,70
Relatív szórás	0,09
Szórás	4,29
Minimum	41
Maximum	62
Darabszám	37

7. táblázat: A klorid-ion leíró statisztikája



14. ábra: Az egyes mintavételi pontokhoz tartozó klorid-ion értékek mg/l-ben (a színek a mélység függvényében vannak feltüntetve, pirossal a legsekélyebb, kékkel a legmélyebb pontok, alaprjz), *Megjegyzés: a Malom-tó és a Lukács fürdő mérési pontja nem mérethelyesen van feltüntetve a barlangi pontokhoz képest, illetve a színek a mélység függvényében értendőek, pirossal a legsekélyebb, kékkel a legmélyebb részek*

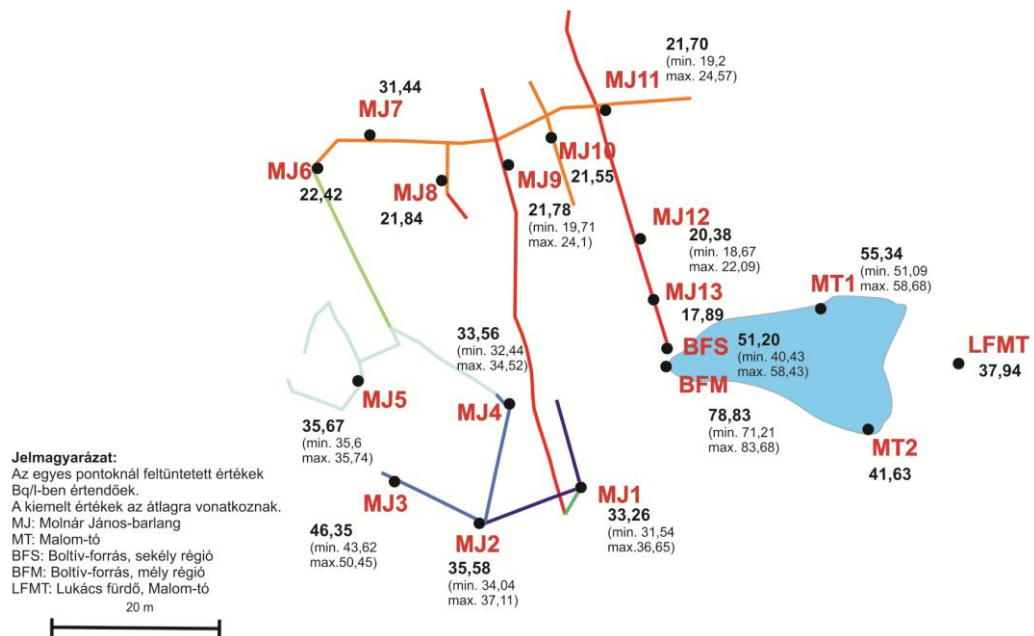
A terepi paramétereken és a klorid ion elemzésén túl a radon koncentrációk értékeit ismertetem. A radon mérések eredményeként a legkisebb radon koncentrációt a Boltív-forráshoz közel mértem 12,71 Bq/l-el, a legnagyobbat pedig a Boltív-forrásban 83,68 Bq/l-el. A radon koncentráció relatív szórása a legmagasabb az összes általam mért paraméter közül 0,48 %-al (8. táblázat).

	Rn^{222} [Bq/l]
Átlag	39,66
Relatív szórás	0,48
Szórás	19,22
Minimum	12,71
Maximum	83,68
Darabszám	41

8. táblázat: A radon mérések leíró statisztikája

A barlang poligonját szemléltető 15. ábra alapján - ahol a piros és narancssárga színek a magasabban fekvő járatokat, míg a zöld és kék színek a mélyebb járatokat jelölik – a barlang mélyebb régiói (MJ1-MJ5), a Malom-tó (MT1,MT2) és a Boltív-forrás (BFS,BFM) rendelkeznek magasabb radon tartalommal (31,54 Bq/l-83,68 Bq/l). A Boltív-forrásnál az is szembeűnő, hogy a BFS, mint Boltív-forrás sekély rész értékei alacsonyabbak a BFM, mint Boltív-forrás mély rész értékeinél. A sekélyebb rész körülbelül 2-3 méteres mélységben van, innen bailer segítségével vettem a vízmintákat,

míg a mély részeken, amik 8-10 méteres mélységet jelentenek, a búvárok vettek mintát. Érdekes még, hogy a legalacsonyabb és a legmagasabb radon koncentrációjú pontok egymás mellett helyezkednek el, egymástól körülbelül 5-10 méteres távolságban. Ennek az eredménynek a magyarázatát a diszkusszió fejezetben tárgyalom.

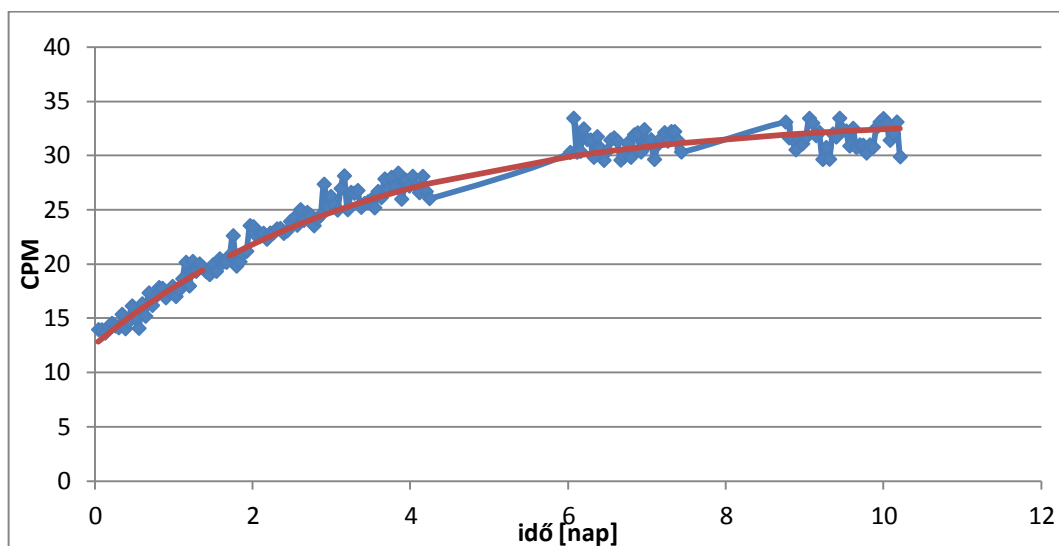


15. ábra: Az egyes mintavételi pontok radon koncentrációi Bq/l-ben (a színek a mélység függvényében vannak feltüntetve, pirossal a legsekélyebb, kézzel a legmélyebb pontok, alaprajz), *Megjegyzés: a Malom-tó és a Lukács fürdő mérési pontja nem mérethelyesen van feltüntetve a barlangi pontokhoz képest, illetve a színek a mélység függvényében értendőek, pirossal a legsekélyebb, kézzel a legmélyebb részek*

6.3. Radon exhalációs mérések

Mivel a radon koncentrációk nem csak a Boltív-forrás sekélyebb részén és az István-teremben (MJ3) voltak magasabbak, hanem a Malom-tóban is, ezért felmerült annak a lehetősége, hogy a tó iszapja működik radonforrásként. Ennek vizsgálatára a tó iszapjából vettek a búvárok mintát, amit aztán radon exhalációs mérésekkel vizsgáltam. A két hetes mérés eredményeként azt kaptam, hogy a bemért ~2 g iszap minta aktivitása 0,11 Bq/l (16. ábra). Ez azt jelenti, hogy az iszap fajlagos aktivitása 50 Bq/kg. Ahhoz, hogy megtudhassuk, hogy a tóban levő összes iszap mennyi radont bocsájt ki tudni kellene mennyi iszap van a tóban és az hány m³ vízbe adja le a radon részecskéket. A

dolgozat elkészültéig sajnos ezeknek az információknak nem sikerült a birtokába kerülni, így ennek a meghatározása további kutatást igényel.



16. ábra: A radon exhalációs mérések eredménye

6.4. Eredmények értékelése a korábbi mérések tükrében

A saját méréseimen túl archív adatok is a rendelkezésemre álltak a Boltív-forrásról, melyeket összevettem a saját méréseimmel (9. táblázat). Ennek alapján, főként az elmúlt pár év fiziko-kémiai paramétereinek mérési adatai közel hasonlóak voltak a vezetőképesség tekintetében a saját mért értékeimhez képest.

	<i>Vez.kép. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]</i>	<i>TDS [mg/l]</i>	<i>Hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]</i>
Molnár J.	-	901,56	-
Alföldi et al.1968	-	770-880	-
Eröss et al. 2012	932	806,63	21,7
Csordás J.-Pataki L. 2012	1055	-	21,4
Bodor P. 2014	1000	-	21,35
Restás-Göndör A. 2015	855-1010	-	19,3-22,5
Csondor K. 2016	988-1002	771-781	20-21

9. táblázat: A Boltív-forrás archív és saját fiziko-kémiai paramétereinek mérési adatai

A radon eredmények tekintetében a saját értékeim magasabbak a korábbi radon koncentrációknál (10. táblázat). Ennek egyik oka az lehet, hogy a Boltív-forrás célzott kutatása érdekében próbáltunk a Boltív-forrásból minél mélyebbről mintát venni a búvárok segítségével. A legmagasabb radon koncentrációkat a forrás legmélyebben megmintázott pontján mértük. Ebből arra következtethetünk, hogy a magas radon tartalom valóban a barlang felől, a forrás hasadékán keresztül érkezik.

	<i>Boltív-forrás [Bq/l]</i>	<i>Malom-tó [Bq/l]</i>	<i>Molnár János-barlang [Bq/l]</i>
Baradács et. al 2002	18	-	-
Várhalmi M. 2004	-	18,5	3,2-18
Eröss A. 2010	58	-	-
Restás-Göndör A. 2015	26,60-70,86	-	10,94-34,19
Csondor K. 2015	40,43-83,68	41,63-55,34	20,26-46,35

10. táblázat: Archív és saját radon koncentrációk

Az archív adatokkal csak a Malom-tavat és a Boltív-forrást tudtam összehasonlítani, mivel a Molnár János-barlangban történt korábbi kutatások során nem ugyanannak a szakasznak a mintázása zajlott a barlangban, így az általam valamivel magasabb mért értékek eredetére nem vonhatunk le messzemenő következtetést.

7. Diszkusszió

A dolgozat alapvető célja az volt, hogy a Boltív-forrás magas radontartalmának hidrogeológiai/áramlási eredetét meghatározzuk.

7.1. A fiziko-kémiai paramétereiből levonható következtetések

A terepen rögzített paraméterek és a klorid eredményeiből levonható következtetéseket tárgyalom először. Mint ahogy azt a korábbi fejezetben (6.1) is

említettem már, a fajlagos elektromos vezetőképesség értékek a barlang magasabban fekvő járataiban illetve a Boltív–forrásban és a tóban voltak jellemzőek. Természetesen a klorid koncentrációi is itt voltak a legmagasabbak. Mivel a barlangban különböző hőmérsékletű vizek találhatóak és a barlangjáratok nagy mérete miatt szabad konvekció zajlik, ennek következtében a kisebb sűrűségű meleg víz a nagyobb sűrűségű hideg víz fölé rétegződik. A meleg vizek—melyek regionális áramlási pályákról származnak—oldott anyag tartalma nagyobb, ezáltal a fajlagos elektromos vezetőképességek értékei is, tehát ezért található magasabb vezetőképességű vizeket a felsőbb járatokban. A klorid, mint konzervatív elem, szintén dúsul a regionális áramlási pályák mentén (lásd Chebotarev-sorozat, TÓTH 1999), tehát a meleg vizekben találjuk magasabb koncentrációkban. Az egyes paraméterek a különböző időpontokban az egyes helyeken nem változtak (pl. MJ1 vezetőképesség értékei: 970-980-982 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ebből arra következtethetünk, hogy a rendszer fiziko-kémiai paraméterei időben nem nagyon változnak. Erre a megállapításra jutottak Bodor és munkatársai (2015) is a rendszer időben hosszabb távú vizsgálata során.

7.2. A radon eredményekből levonható következtetések

A radon koncentrációk eloszlásából azt a következtetést tudjuk levonni, hogy a legmagasabb értékek a Boltív-forrásban, a Malom-tóban és a barlang legmélyebb pontján az István-teremnél (MJ3) voltak. A Malom-tó értékei közel azonosak a Boltív-forrás sekély részének mintáival (41,63-55,34 Bq/l a tóban és 44,75- 57,66 Bq/l a Boltív-forrás sekély részén). Ezek az értékek alatta maradnak a Boltív-forrás mély régiójában mért 76,12-81,71 Bq/l-es értékeknek. Ennek okaként azt feltételezhetjük, hogy a radon a nagy vízfelszínen kigázosodik, tehát a magas értékhez képest már jóval kisebb értékeket fogunk kapni. Az István-terem (MJ3) koncentrációja 33,26-46,35 Bq/l-es értékkel megközelíti a tó és a forrás sekély részének értékeit. A saját radon eredmények alapján nem csak az archív eredményekkel való eltérés volt szembetűnő, hanem a barlangi mély részek az István-terem (MJ3) környékén is magasabb radon tartalmat mutatnak, mint a barlangi többi pontja, mindemellett a Boltív-forráshoz is közel helyezkedik el. Ezeket alapul véve merült fel az a kérdés, hogy az István-terem

(MJ3) és a Boltív-forrás kapcsolatban állnak-e egymással, nyerheti-e a Boltív-forrás az István-terem (MJ3) felől a magasabb radon tartalmat.

7.2.1. Mesterséges nyomjelzés

A kapcsolat vizsgálatára mesterséges nyomjelzőt használtunk. Régebbi bűvár beszámolók alapján olvashatjuk azt a tapasztalati megfigyelést, hogy az István-teremben felkevert iszap megjelent a Boltív-forrásban. Ennek a kapcsolat a bizonyítására mesterséges nyomjelző anyagot használtunk. A víznyomjelzéses vizsgálatok segítségével információt szerezhetünk arról, hogy két kérdéses pont között van-e hidrogeológiai kapcsolat, illetve ami a dolgozatban is kérdés volt, honnan érkezik a víz egy adott ponthoz, esetünkben a Boltív-forráshoz. A nyomjelzés során egy nyomjelző anyagot juttatunk a hidrogeológiai közegbe, amely segítségével a víz áramlását követni tudjuk. A nyomjelzésre különféle mesterséges nyomjelző anyagok léteznek. A jó nyomjelző anyagokkal szemben a legfontosabb elvárások, hogy vízben jól oldódjon, de ne legyen jelen a bejuttatás előtt a vizekben, legyen könnyen kimutatható, de ne legyen mérgező és ne lépjen semmilyen reakcióba a víztartóval.

Esetünkben, a kérdés az volt, hogy a barlang mély pontján az István-teremnél (MJ3) mért magasabb radon értékek vajon összefüggésben vannak-e a Boltív-forrás értékeivel, tehát van-e összeköttetés e két pont között. Mivel a Malom-tó vizét a Lukács-fürdő hasznosítja, ezért olyan nyomjelző anyag használata, ami színezi a vizet, nem volt jó. Ezért esett a választásunk a NaCl-ra. Tömény NaCl oldat beinjektálásával a vezetőképesség érték változásokat tudtuk vizsgálni, ami a só megjelenésekor magasabb értéket mutat, mint az alap állapot. Ehhez mi 2 kg konyhasót oldottunk fel 7,5 liter vízben, ehhez másfél literes PET palackokat használtunk. A tömény NaCl oldatot a bűvárok az István-teremben öntötték ki. A két kilogramm feloldott konyhasó másfél literenként 180 000 mg/l kloridiont és 120 000 mg/l nátrium iont tartalmazott. Célunk az volt, hogy az István terem és a Boltív-forrás közötti kapcsolatot ezzel a nyomjelzéssel igazolni tudjuk. A nyomjelzéshez használt só mennyiségét az alapján számítottam ki, hogy a barlang poligon alapján 50 méternyi járatot feltételeztem, amit kitölt a víz. Mivel a járatrendszer pontos méreteit ezen a szakaszon nem ismerjük, hiszen bűvárok által sem járható, maximum 1 méter átmérőt feltételeztem. Ebben a járatrendszerben tehát 50 m³-nyi víz lehet, amihez ha a 2 kg (2 000 000 mg) NaCl-ot

hozzá adjuk, 40 mg/l-el növeljük meg még az eredeti koncentrációt. Ez az érték azonban nem lenne elegendő ahhoz, hogy egyértelműen tudjuk bizonyítani a só megjelenését a forrásban. Azonban mivel a járatban nem férnek el a bűvárok, viszont az egy méter átmérőjűekben igen, ezért a minimum járatszélességet 20 cm-esre vettem. Ez alapján a 2 kg NaCl-al 200 mg/l-es koncentrációt érünk el, ami már bőven elegendő a kimutatásra. Azt is figyelembe vettük, hogy a tömény sóoldat nem fog az egész víztérfogatban hígulni, hanem egy „dugóként” közeledik, így a két kg-os mennyiséggel nyomjeleztünk. A vezetőképesség értékek változásának nyomon követésére a Boltív-forrásba egy Dataqua DA-DTK típusú vezetőképesség mérő műszert eresztettünk. Itt a víz alapvető vezetőképesség értéke 855 $\mu\text{S}/\text{cm}$ volt. A műszerrel észlelt legmagasabb vezetőképesség érték 1052 $\mu\text{S}/\text{cm}$ volt. Ennek a két értéknek a különbségével igazolhatónak véljük az István terem és a Boltív-forrás kapcsolatát. Mindezek alapján elmondható, hogy a Boltív-forrás és az István-terem kapcsolatban állnak egymással.

7.3. Általános következtetések

A radon tartalom lehetséges forrásaként korábbi vizsgálatok (Eröss 2010; Eröss et al., 2012) a barlangban lokálisan megjelenő vas-oxihidroxidos biofilmet azonosították, mely jó rádium adszorbensként működik. A biofilm előfordulása a különböző áramlási pályákon mozgó, eltérő hőmérsékletű, oldott anyag tartalmú és redox állapotú vizek keveredéséhez köthető, mely egyúttal az aktív barlangképződési zónák indikátora is (ERÖSS 2010).

Az István-terem környékén a bűvárok észlelték vas-oxihidroxidos biofilm jelentlétét, igaz csak kis mennyiségben. Feltételezhető tehát, hogy az itt mintázott vizek radon tartalma ehhez köthető. További magyarázatot igényel azonban az, hogy a Boltív-forrásban az István-teremnél kétszer nagyobb koncentrációban fordul elő radon. Feltételezhető tehát, hogy közvetlenül a Boltív-forrás alatti hasadékokban nagyobb mennyiségben van jelen ez a radonforrás.

Mivel a vas-mangán-oxihidroxidos biofilmek magát a karsztos keveredést is jelzik, feltételezhető, hogy a Boltív-forrás hasadékában mélyebben, és az István-terem környékén is ma is zajlik a keveredés, ezáltal az aktív barlangképződés olyan járatokban, amiket ma még nem ismerünk.

A klorid és a radon eredmények alapján az is jól látszik, hogy bár a Boltív-forrás és az Alagút-forrás közel helyezkednek el egymáshoz, sőt egyikből a másikba át lehet látni, mégis teljesen eltérő kémia és radon eredményeket kaptunk. A Boltív-forrás magasabb radon tartalma (44,74-81,75 Bq/l) mellett az Alagút-forrásnál jóval kisebb értékek vannak (19,02-24,57 Bq/l). Ez alapján kizárható, hogy a Boltív-forrás az Alagút-forrás felől nyerje a magas radon tartalmat. A bűvárok végeztek áramlásmérési kísérleteket is a Boltív- és az Alagút-forrás között, azonban ott a víz szinte álló helyzetben van, nincs erőteljes áramlás a két forrás között.

8. Konklúzió

A Budai Termálkarszton felszínre bukkanó források hasznosítása és kutatása hosszú időkre tekint vissza. Világviszonylatban ritkának számító hely, ahol az aktív hipogén karsztos folyamatokat tanulmányozni lehet.

Dolgozatom célja az volt, hogy a Budai Termálkarszt területén található Boltív-forrás radon tartalmának hidrogeológiai eredetét meghatározzam. Ennek bizonyítására a Molnár János-barlangból, a Malom-tóból és magából a Boltív-forrásból vettem vízmintát radonra és kloridra, mint természetes nyomjelzőkre. Ezek természetes nyomjelzőként használhatók a felszín alatti vizekben. A radon egy rövid felezésű idejű radioaktív izotóp, ami természetesen jelen van a felszín alatti vizekben, így segítségével jól vizsgálhatók a rövidtávú folyamatok. A klorid a regionális áramlási rendszerek jellemző ionja, mely magas oldott anyag tartalmú vizekben van jelen, melyek hosszú áramlási utat tettek meg a mélyben. Ezek mellé a természetes nyomjelzők mellé mesterséges nyomjelzőt is használtam, mely kiegészíti a természetes nyomjelzők által kapott eredményeket, azzal, hogy egyértelmű hidraulikai kapcsolatok meglétére vagy hiányára deríthető fény általa.

A korábbi mérésekhez képest a Boltív-forrásra fókuszáló kutatásom eredményeként sikerült az eddigi legmagasabb radontartalmat mérni a forrásban. A radon eredmények alapján kapcsolatot feltételeztünk az István-terem és a Boltív-forrás között, mely kapcsolat igazolása a természetes nyomjelzőkön kívül, mesterséges nyomjelzőkkel is megtörtént. Mindezek alapján elmondható, hogy a Boltív-forrás az István-teremmel összeköttetésben van, azaz aktív karsztos járatrendszer található a forrás felé, ha nem is

járható bűvárok számára. Ezen kívül arra is fény derült, hogy bár kapcsolat van a két pont között, a Boltív-forrás vizét nem csak ebből az irányból nyeri. Mivel az Alagút-forrás felől érkező víz jelenléte kizárható, vagy nagyon csekély, az ott mérhető alacsony radon tartalmak és eltérő vízkémia alapján, ezért a mélyből érkező magas radon tartalmú vizek jelenléte állhat fent. A Boltív-forrás vizének István teremnél magasabb hőmérséklete alapján feltételezhető egy mélyből jövő kevert karsztvíz jelenléte, ami arra utalhat, hogy a Boltív-forrás alatt eddig nem ismert járatokból érkezik a víz, ahol valószínűsíthető az aktív keveredési korrózió. Ennek igazolására azonban még további vizsgálatok szükségesek. A további vizsgálatoknál célszerű lenne még a radon exhalációs mérések pontosítása és több pontra kiterjesztése, hogy egy komplexebb képet kaphassunk a Malom-tóról.

9. Köszönetnyilvánítás

Először is szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek Dr. Erőss Anitának, Dr. Horváth Ákosnak és Dr. Szieberth Dénesnek a lehetőségért, hogy ezzel a témával foglalkozhattam és a sok segítségért a dolgozat elkészülte alatt. Külön szeretnék köszönetet mondani Dr. Erőss Anitának a sok szakmai segítségért, a dolgozat átolvasásáért és annak hibáinak kijavításáért és végtelen türelméért. Dr. Szieberth Dénesnek és két bűvár társának Spanyol Józsefnek és John Róbertnek a merülések alatt nyújtott segítségért és a vízminták felszínre hozataláért. Dr. Horváth Ákosnak a radon mérésekben nyújtott segítségéért és hogy lehetővé tette a Tricarb 1000 radon mérő műszer használatát.

Köszönettel tartozom a Budapest Gyógyfürdői és Hévízei Zrt.-nek, hogy hozzájárultak a mérésekhez és mintavételekhez, biztosították a bejutást a mintavételi csaphoz. Ehhez köszönöm a gépészek segítségét és kedvességét.

Köszönet illeti Hegedűs András a terepen való segítségéért és a dolgozat átolvasásáért.

Köszönöm Szikszay Lászlónak, az ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszékének labor technikusának a vízkémiai mérésekben való segítségét.

Köszönettel tartozom Tóth Ágostonnak a sok segítségéért és építő ötleteiért.

Irodalomjegyzék

- ALFÖLDI L. (1968): Budapest hévizei, *Vituki közlemények*, Budapest, p.365
- ALFÖLDI L. (1979): Budapest hévizei, *Vituki közlemények*, Budapest, p.102
- ALFÖLDI L. (1981): A budapesti geotermikus áramlási rendszer modellje, *Hidrológiai Közlöny* 1981. 9. sz., pp. 397- 403.
- ALFÖLDI, L., BÉLTEKY, L., BÖCKER, T., HORVÁTH, J., KESSLER, H., KORIM, K., ORAVECZ, J., SZALONTAI, G. (1968): Budapest hévizei — Vízgazdálkodási Tudományos Kutatóintézet, Budapest, p. 365
- BÁLDI T. (1983): Magyarországi oligocén és alsó-miocén formációk.— *Akadémia Kiadó*, Budapest, p. 293
- BÁLDI T. ÉS BÁLDINÉ BEKE M. (1986): A Magyar Paleogén Medencék fejlődése, *Őslénytani Viták* 33, pp. 95–145.
- BÁLDI T., BÁLDINÉ BEKE M., HORVÁTH M., KECSKEMÉTI T., MONOSTORI M., NAGYMAROSY A. (1976): A Hárshegyi Homokkő Formáció kora és képződési körülményei. – *Földtani Közlöny* 106/3., pp. 257-275.
- BÁLDI T., NAGYMAROSY A., (1976): A Hárshegyi Homokkő kovásodása és annak hidrotermális eredete. *Földtani Közlöny*, 106/3, pp. 257–275.
- BARADÁCS E., DEZSŐ Z., HUNYADI I., CSIGE I., MÓCSY I., MAKFALVI Z., SOMAY P. (2002): Felszínalatti vizek maratottonyom-detektoros eljárással mért ²²²Rn- és ²²⁶Ra-tartalma – *Magyar Kémiai Folyóirat*, 108/11, 492-500.
- BODOR P. (2014): A rózsadombi megcsapolódási terület felszín alatti vizeiben bekövetkező időbeli változások vizsgálata. – *Diplomamunka*, ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, 96p.
- BODOR P., ERŐSS A., MÁDLNÉ SZÖNYI J., KOVÁCS J. (2015): A csapadék hatása a rózsadombi források utánpótlódási és megcsapolódási területén, *Földtani Közlöny*, 145/4, pp. 385-396
- BODOR P., LOVRITY, V., ERŐSS, A. (2014a): Evaluation of temporal variation of the discharge and physico-chemical parameters of Boltív Spring (Budapest, Hungary). Meeting of Young Geoscientists / Ifjú Szakemberek Ankétja. Balatonföldvár, 2014.03.28-2014.03.29. p. 34.
- CHEBOTAREV, I.I. (1955) Metamorphism of natural water in the crust of weathering. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 8. 22-48, 137-170, 192-212.

- CSORDÁS J., PATAKI L. (2012): Elfolyó kilowattok! A rózsadombi Boltív-forrás langyos vizének vizsgálata és felhasználhatósága. – *Tudományos Diákköri Dolgozat*, ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, 60p.
- DÉRI-TAKÁCS, JUDIT, ERŐSS, ANITA, KOVÁCS, JÓZSEF (2015) The chemical characterization of the thermal waters in Budapest, Hungary by using multivariate exploratory techniques. *Environmental Earth Sciences* DOI 10.1007/s12665-014-3904-3
- EISENLOHR, L., SURBECK, H., (1995): Radon as a natural tracer to study transport processes in a karst system. An example in the Swiss Jura. – C.R. Acad. Sci. Paris, *Sciences de la terre et des planètes*. 321(2a): pp. 761–767.
- ERŐSS A. (2010): Characterization of fluids and evaluation of their effects on karst development at the Rózsadomb and Gellért Hill, Buda Thermal Karst, Hungary. – *Doktori disszertáció*, ELTE, 171p.
- ERŐSS A., MÁDL-SZŐNYI J., CSOMA É. A. (2008): Characteristics of discharge at Rose and Gellért Hills, Budapest, Hungary, *Central European Geology*, Vol. 51/3, pp. 267-281
- ERŐSS A., MÁDL-SZŐNYI J., CSOMA É. A. (2012b): Hypogenic karst development in a hydrogeological context, Buda Thermal Karst, Budapest, Hungary, In: Maloszewski, P., Witzczak, S., Malina, G. (Eds.) *Groundwater Quality Sustainability: IAH Selected Papers on Hydrogeology 17*, London, CRC Press - Taylor and Frances Group, pp. 119-133.
- ERŐSS A., MÁDL-SZŐNYI J., SURBECK H., HORVÁTH Á., GOLDSCHIEDER N., CSOMA A.É., (2012A): Radionuclides as natural tracers for the characterization of fluids in regional discharge areas, Buda Thermal Karst, Hungary. – *Journal of Hydrology* 426-427, pp. 124-137.
- ERŐSS A., SURBECK H., CSONDOR K., HORVÁTH Á., MÁDLNÉ SZŐNYI J., LÉNÁRT L. (2015): Radionuclides in the waters of the Bükk region, Hungary, *J Radioanal Nucl Chem* 303, pp. 2529–2533
- FODOR L., MAGYARI Á., FOGARASI A., PALOTÁS K. (1994): Tercier szerkezetfejlődés és késő paleogén üledékképződés a Budai-hegységben. A Budai-vonal új értelmezése. - *Földtani Közlöny* 124/2, pp.19-305.
- GAINON, F., SURBECK, H., ZWAHLEN, F. (2007): Natural radionuclides in groundwater as pollutants and as useful tracer – in: Bullen T. D., Wang Y. (Eds.): *Water-rock Interaction*: 53
- HAAS J. (1994): Magyarország földtana, Mezozóikum. - *egyetemi jegyzet*, Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, 118p.

- HAAS J., KÖRÖS L., TÖRÖK Á., DOSZTÁLY L., GÓCZÁN F., HÁMOR-VIDÓ M., ORAVECZNÉ SCHEFFER A., TARDI-FILÁCS E. (2000): Felső-triász medence- és lejtőfáciesek a Budai-hegységben – a Vérhalom téri fúrás vizsgálatának tükrében. — *Földtani Közöny* 130/3, pp. 371–421.
- HOEHN, E. (1998): Radionuclides in groundwaters: contaminants and tracers – in: Herbert, M., Kovar, K. (Eds.): *Groundwater Quality: Remediation and Protection*. IAHS Publ. No. 250: 3–9.
- IZÁPY G., SÁRVÁRY I. (1993): Tájékoztató a magyarországi karsztos termálfelvezőfordulások állapotáról, Budapest, Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Rt. Hidrológiai intézete, Budapest, p.12
- JASKÓ S. (1979): Az infraoligocén denudáció nyomai a Budai-hegységben. — *Földtani Közöny* 109/2, pp. 199–210.
- KALINOVITS S. (2006): Molnár János-barlang új szakaszainak felfedezése. – *Karszt és Barlang* 1995—1996. évf. p. 3—8. Budapest
- KLEB B. (szerk.) (1993): Kőzettani, tagoltsági, kőzetfizikai vizsgálatok, földtani reambuláció és paleokarszt elemzés. — Budapesti Műszaki Egyetem, Magyar Állami Földtani Intézet, pp 249.
- KLIMCHOUK A. B. (2007): Hypogene speleogenesis: hydrogeological and morphogenetic perspective. *Special Paper no. 1, National Cave and Karst Research Institute*, Carlsbad, NM, p. 106
- KOVÁCS J., MÜLLER P. (1980): A Budai- hegyek hévizes tevékenységeinek kialakulása és nyomai, *Karszt és barlang* 1980 II. füzet, pp. 93-98.
- KOVÁCS, S. (1992): Tethys „western ends” during the Late Paleozoic and Triassic and their possible genetic relationships. — *Acta Geologica Hungarica* 35, pp. 329-369.
- LEÉL-ÖSSY SZ., (1995): A budai Rózsadomb és környékének különleges barlangjai, *Földtani közöny* 1995 Vol.125. 3-4, pp. 363- 432.
- LEÉL-ÖSSY SZ., (1997): A József-hegyi-barlang (Budapest) termálkarsztos keletkezése és fejlődése. – *Kandidátusi értekezés*, MTA, 114p.
- MÁDL-SZŐNYI J., TÓTH Á. (2015):_Groundwater flow and temperature field simulations in the unconfined carbonate system of the Transdanubian Range, Hungary, *The International Association of Hydrogeologists 42nd Congress of International Association of Hydrogeologists. Paper 70*. 1 p.
- MINDSZENTY A. (2013): Budapest, Földtani értékek és az ember, városgeológiai tanulmányok „IN URBE ET PRO URBE”, *ELTE Eötvös Kiadó*, Budapest, p.311
- MINDSZENTY A., MÁDLNÉ SZŐNYI J., PETHŐ S.L., KOVÁCS J., MÜLLER I., FODOR L., KÁDÁR M., ANGELUS B., ERŐSS A., NYÚL K., POYANMEHR Z., VARGA R. (2000): A Rózsadombi Termálkarszt Monitoring optimalizálása. Zárójelentés a 2000. évben

- végzett munkáról. – *Kézirat, ELTE-TTK Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék*, 111p.
- MOLNÁR J. (1851): A budai melegforrások physikai és vegytani viszonyairól. *Természettudományi Évkönyv*, 1851-1856.
- MÜLLER P. ÉS MAGYARI I. (2008): A budai pannóniai képződmények. — *Földtani Közlöny* 138/4, pp. 345–354
- NAGY H. É. (2012): Radonkoncentráció dinamikájának és forrásainak vizsgálata budai-hegységi barlangokban. – *Doktori Disszertáció*, ELTE, Budapest, 138p.
- NAGYMAROSY A., BÁLDINÉ BEKE M. (1988): The position of the Palogene Formations in Hungary. – *Ann. Univ. Sci. Eötv. Sect. Geol.* 28, pp. 3-25
- PALMER A. N. (1991): Origin and morphology of limestone caves, *Geological Society of America Bulletin*, 1991;103, no. 1, pp. 1-21
- PAPP, F. (1942): Budapest meleg gyógyforrásai (Thermal medicinal springs of Budapest) [in Hungarian]: *A Budapesti Központi Gyógy- és Üdülőhelyi Bizottság Rheuma és Fürdőkutató Intézet kiadványa*, Budapest, p. 252
- RESTÁS-GÖNDÖR A. (2015): Izotóphidrogeológiai vizsgálatok a Molnár János-barlangban, *Diplomamunka*, ELTE TTK, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, p.93
- SURÁNYI G., DOMBRÁDI E., LEÉL-ÖSSY SZ. (2010): Contributions of geophysical techniques to the exploration of the Molnár János Cave (Budapest, Hungary). – *Acta Carsologica* 39/3., pp. 565-576.
- SWARZENSKI P. W. (2007): U/Th series radionuclides as coastal groundwater tracers. – *Chem. Rev.* 107: pp. 663–674.
- TELEGDI-ROTH K. (1927): Infraoligocén denudáció nyomai a Dunántúli-középhegység északnyugati peremén. — *Földtani Közlöny*, pp. 32–41.
- TÓTH J., (1999): Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes, and manifestations, *Hydrogeology Journal* (1999) 7:1–14 Q
- VÁRHALMI M. (2004): A budapesti termálfürdők radonkoncentrációjának vizsgálata. – *Diplomamunka*, ELTE Atomfizikai Tanszék, 52p.
- WEIN GY. (1977): A Budai-hegység tektonikája. – *MÁFI Alk. kiadvány*, Budapest, 76p.

10. Ábra- és táblázatjegyzék

1. ábra: A Budai Termálkarszt és a rózsadombi megcsapolódási terület elhelyezkedése (ERŐSS 2010 után módosítva BODOR 2014) 1. mezozoikumi karbonátok felszín alatti elterjedése; 2. fedetlen mezozoikumi karbonátok; 3. Budai Termálkarszt, 4. rózsadombi megcsapolódási terület	4
2. ábra: A Rózsadomb elvi rétegsora (LEÉL-ÖSSY 1997 után módosítva in MINDSZENTY 2013)	5
3. ábra: A Rózsadombi megcsapolódási területen található különböző áramlási ágak koncepcionális modellje (ERŐSS ET AL. 2012,B)	9
4. ábra: Búvárok a Molnár János-barlangban (fotó: R. Husek)	10
5. ábra: A Molnár János-barlang járatainak irány diagramja (KALINOVITS 2006)	11
1. táblázat: Molnár János vízkémiai eredményei a Boltív-forrásból.....	11
2. táblázat: Alföldi és munkatársai (1968) által a Boltív-forrásra és az Alagút-forrásra közölt vízkémiai eredmények.....	12
3. táblázat: A Boltív-forrás általános vízkémiai paraméterei (ERŐSS ET AL. 2012)	12
4. táblázat: A Boltív-forrás archív fiziko-kémiai paraméterei.....	13
5. táblázat: A vizsgált terület korábbi radon kutatásainak eredményei.....	14
6. ábra: RESTÁS-GÖNDÖR A. 2015 mintavételi helyei a Molnár János-barlangban illetve a Boltív-forrásban	15
7. ábra: A Molnár János-barlang poligonja (forrás: Magyar Állami Természetvédelem, Barlang- és Földtani Osztály) a régi rész és a Boltív-forrás feltüntetésével (a színek a mélység függvényében vannak feltüntetve, pirossal a legsekélyebb, késsel a legmélyebb pontok)	16
9. ábra: A Boltív-forrás mélyebb részének mintázása búvárok segítségével	17
10. ábra: A Malom-tó és a vizét elvezető zsilip.....	17
11. ábra: A WTW műszer használata terepen.....	20
6. táblázat: A pH és a fajlagos elektromos vezetőképesség leíró statisztikai adatai (azoknál a pontoknál, ahol több mérés történt, átlag értékekkel számoltam)	25
13. ábra: Fajlagos elektromos vezetőképesség értékek $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ben az egyes mintavételi pontoknál (a színek a mélység függvényében vannak feltüntetve, pirossal a legsekélyebb, késsel a legmélyebb pontok), <i>Megjegyzés: a Malom-tó és a Lukács fürdő mérési pontja nem mérethelyesen van feltüntetve a barlangi pontokhoz képest, illetve a színek a mélység függvényében értendőek, pirossal a legsekélyebb, késsel a legmélyebb részek</i>	26
7. táblázat: A klorid-ion leíró statisztikája.....	26
14. ábra: Az egyes mintavételi pontokhoz tartozó klorid-ion értékek mg/l -ben (a színek a mélység függvényében vannak feltüntetve, pirossal a legsekélyebb, késsel a legmélyebb pontok), <i>Megjegyzés: a Malom-tó és a Lukács fürdő mérési pontja nem mérethelyesen van feltüntetve a barlangi pontokhoz képest, illetve a színek a mélység függvényében értendőek, pirossal a legsekélyebb, késsel a legmélyebb részek</i>	27
8. táblázat: A radon mérések leíró statisztikája	27

15. ábra: Az egyes mintavételi pontok radon koncentrációi Bq/l-ben (a színek a mélység függvényében vannak feltüntetve, pirossal a legsekélyebb, késsel a legmélyebb pontok), <i>Megjegyzés: a Malom-tó és a Lukács fürdő mérési pontja nem mérethelyesen van feltüntetve a barlangi pontokhoz képest, illetve a színek a mélység függvényében értendőek, pirossal a legsekélyebb, késsel a legmélyebb részek</i>	28
16. ábra: A radon exhalációs mérések eredménye	29
12. táblázat: az MJ1 azonosítójú pont leíró statisztikája	45
13. táblázat: az MJ2 azonosítójú pont leíró statisztikája	45
14. táblázat: az MJ3 azonosítójú pont leíró statisztikája	45
15. táblázat: az MJ4 azonosítójú pont leíró statisztikája	45
16. táblázat: az MJ5 azonosítójú pont leíró statisztikája	46
17. táblázat: Az MJ6,MJ7,MJ8,MJ9,MJ10 azonosítójú pontok statisztikája	46
18. táblázat: az MJ11 azonosítójú pont leíró statisztikája	46
19. táblázat: az MJ12 azonosítójú pont leíró statisztikája	46
20. táblázat: A Boltív-forrás mély részének leíró statisztikája	47
21. táblázat: Az MT1 azonosítójú pont leíró statisztikája	47
22. táblázat: Az MT2 és a Lukács fürdő pontjának leíró statisztikája	47
23. táblázat: A Boltív-forrás (BF1S) sekély részének leíró statisztikája	47

11. Melléklet

I. számú melléklet: A terepen rögzített és a laboratóriumban mért értékek az egyes mintavételi pontoknál

Sorszám	Minta név	Dátum	T [°C]	Vez.kép. [uS/cm]	Vez.kép. Hiba	pH	pH hiba	Rn ²²² [Bq/l]	Rn ²²² hiba[Bq/l]	Cl ⁻ [mg/l]	SO ₄ ⁻ [mg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	Na ⁺ [mg/l]
1	BF1	2015.11.18	21	995	9,95	6,97	+0,02	58,43	4,2	47	130					
2	BF2	2015.11.18	21	994	9,94	7	+0,02	49,06	3,8	-	-					
3	BF3	2015.11.18	20,9	988	9,88	6,99	+0,02	57,2	4,06	46	115					
4	MJ1	2015.11.18	23,8	970	9,7	6,93	+0,02	31,54	2,94	42	113					
5	MJ2	2015.11.18	24,3	969	9,69	6,92	+0,02	37,11	3,28	42	114					
6	MJ3	2015.11.18	24,5	973	9,73	6,91	+0,02	44,98	3,63	42	113					
7	MJ4	2015.11.18	24,3	965	9,65	6,93	+0,02	33,71	3,13	42	111					
8	MJ5	2015.11.18	24,4	967	9,67	6,91	+0,02	35,6	3,2	42	135					
9	MJ6	2015.11.18	25,1	1016	10,16	6,84	+0,02	22,42	2,52	50	124					
10	MJ7	2015.11.18	24,2	968	9,68	6,93	+0,02	31,44	2,99	42	115					
11	MJ8	2015.11.18	25	1015	10,15	6,84	+0,02	21,84	2,5	49	121					
12	MJ10	2015.11.18	24,8	1014	10,14	6,84	+0,02	21,55	2,48	46	121					
13	MJ11	2015.11.18	24,9	1011	10,11	6,85	+0,02	24,57	2,65	46	116					
14	MJ12	2015.11.18	24,9	1012	10,12	6,86	+0,02	22,09	2,51	49	129					
15	MJK13	2015.11.18	24,8	1107	11,07	6,77	+0,02	12,71	1,96	62	130					
16	BF2-1	2015.12.04	20	988	9,88	6,97	+0,02	56,89	4,12	41	123	427	108,6	38,6	29,0	4,6
17	BF2-2	2015.12.04	20	1002	10,02	6,98	+0,02	40,43	3,38	46,4	124	433	108,6	36,4	27,8	4,9
18	MJ1-2	2015.12.04	18,6	980	9,8	6,96	+0,02	31,58	2,95	45	122	415	101,1	38,6	23,7	3,6
19	MJ2-2	2015.12.04	19	974	9,74	6,18	+0,02	-	-	43,4	120	415	104,9	38,6	24,5	3,6
20	MJ3-2	2015.12.04	18,6	973	9,73	6,96	+0,02	43,62	3,53	46,8	122	415	101,1	40,9	27,4	3,5
21	MJ4-2	2015.12.04	17,9	971	9,71	6,96	+0,02	32,44	3	44	120	415	101,1	40,9	24,7	3,5
22	MJ5-2	2015.12.04	18,4	973	9,73	6,95	+0,02	35,74	3,17	42,8	120	415	108,6	36,4	24,1	3,5
23	MJ9-2	2015.12.04	17,7	1020	10,2	6,88	+0,02	19,71	2,33	50,2	124	427	104,9	36,4	31,3	4,2

Sorszám	Minta név	Dátum	T [°C]	Vez.kép. [uS/cm]	Vez.kép. Hiba	pH	pH hiba	Rn ²²² [Bq/l]	Rn ²²² hiba[Bq/l]	Cl ⁻ [mg/l]	SO ₄ ⁻ [mg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	Na ⁺ [mg/l]
24	MJ11-2	2015.12.04	17,2	1118	11,18	6,89	+0,02	19,02	2,3	49,8	130	427	108,6	36,4	31,4	4,2
25	MJ12-2	2015.12.04	16,5	1028	10,28	6,89	+0,02	18,67	2,28	55,2	124	439	104,9	38,6	31,0	4,3
26	MJ-13	2015.12.04	-	-	-	-	+0,02	17,89	2,23	-	-	-	-	-	-	-
					0											
27	MT1	2015.12.09	21,1	1010	10,1	6,94	+0,02	51,99	3,96	45,4						
28	MJ1-3	2015.12.09	17,6	982	9,82	7,01	+0,02	36,65	3,25	42,6						
29	MJ2-3	2015.12.09	16,3	977	9,77	7,04	+0,02	34,04	3,12	41,2						
30	MJ3-3	2015.12.09	16,6	979	9,79	7,04	+0,02	50,45	3,9	41,2						
31	MJ4-3	2015.12.09	16,4	973	9,73	7,03	+0,02	34,52	3,16	41						
32	MJ9-3	2015.12.09	16,4	1026	10,26	6,94	+0,02	24,1	2,62	47,2						
33	MJ11-3	2015.12.09	17,9	1032	10,32	6,96	+0,02	21,5	2,48	47,4						
34	MJ12-3	2015.12.09	17,9	973	9,73	7	+0,02	20,02	2,38	42						
35	BF3-1	2015.12.09	-	-	-	-	+0,02	83,68	5,31	-						
36	BF3-2	2015.12.09	-	-	-	-	+0,02	71,21	4,81	-						
37	BF3-3	2015.12.09	-	-	-	-	+0,02	78,43	5,11	-						
38	LF-MT	2015.12.09	19,2	1020	10,2	7,06	+0,02	37,94	3,33	47						
					0											
39	MT2-4	2015.12.16	21,3	-	-	6,92	+0,02	41,63	3,63	47,8						
40	MT1-4	2015.12.16	20,2	-	-	6,93	+0,02	58,68	4,42	46,4						
41	BF1-4	2015.12.16	-	-	-	-	+0,02	79,82	5,32	43,2						
42	BF1-4	2015.12.16	-	-	-	-	+0,02	81,03	5,38	47						

II. számú melléklet: Az egyes mintavételi pontok leíró statisztikája

	Vez.kép. [uS/cm]	pH	Rn222 [Bq/l]	Cl- [mg/l]
Átlag	977,3	7,0	33,3	43,2
Relatív szórás	0,007	0,006	0,088	0,037
Szórás	6,43	0,04	2,94	1,587
Minimum	970	6,9	31,5	42
Maximum	982	7,0	36,7	45
Darabszám	3	3	3	3

7. táblázat: az MJ1 azonosítójú pont leíró statisztikája

	Vez.kép. [uS/cm]	pH	Rn222 [Bq/l]	Cl- [mg/l]
Átlag	973,3	6,7	35,6	42,2
Relatív szórás	0,0042	0,0694	0,0610	0,0264
Szórás	4,04	0,47	2,17	1,11
Minimum	969,0	6,2	34,0	41,2
Maximum	977,0	7,0	37,1	43,4
Darabszám	3	3	2	3

8. táblázat: az MJ2 azonosítójú pont leíró statisztikája

	Vez.kép. [uS/cm]	pH	Rn222 [Bq/l]	Cl- [mg/l]
Átlag	975	6,97	46,35	43,33333
Relatív szórás	0,004	0,009	0,078	0,070
Szórás	3,464	0,066	3,615	3,029
Minimum	973	6,91	43,62	41,2
Maximum	979	7,04	50,45	46,8
Darabszám	3	3	3	3

9. táblázat: az MJ3 azonosítójú pont leíró statisztikája

	Vez.kép. [uS/cm]	pH	Rn222 [Bq/l]	Cl- [mg/l]
Átlag	969,67	6,97	33,56	42,33
Relatív szórás	0,004	0,01	0,03	0,04
Szórás	4,16	0,05	1,05	1,53
Minimum	965	6,93	32,44	41
Maximum	973	7,03	34,52	44
Darabszám	3	3	3	3

10. táblázat: az MJ4 azonosítójú pont leíró statisztikája

	Vez.kép. [uS/cm]	pH	Rn222 [Bq/l]	Cl- [mg/l]
Átlag	970	6,93	35,67	42,4
Relatív szórás	0,004	0,004	0,003	0,013
Szórás	4,243	0,028	0,099	0,566
Minimum	967	6,91	35,6	42
Maximum	973	6,95	35,74	42,8
Darabszám	2	2	2	2

11. táblázat: az MJ5 azonosítójú pont leíró statisztikája

	Vez.kép. [uS/cm]	pH	Rn222 [Bq/l]	Cl- [mg/l]
MJ6	1016	6,84	22,42	50
MJ7	968	6,93	31,44	42
MJ8	1015	6,84	21,84	49
MJ9	1020	6,88	19,71	50,2
MJ10	1014	6,84	21,55	46

12. táblázat: Az MJ6,MJ7,MJ8,MJ9,MJ10 azonosítójú pontok statisztikája

	Vez.kép. [uS/cm]	pH	Rn222 [Bq/l]	Cl- [mg/l]
Átlag	1053,7	6,9	21,7	47,7
Relatív szórás	0,05	0,01	0,13	0,04
Szórás	56,70	0,06	2,78	1,92
Minimum	1011	6,85	19,02	46
Maximum	1118	6,96	24,57	49,8
Darabszám	3	3	3	3

13. táblázat: az MJ11 azonosítójú pont leíró statisztikája

	Vez.kép. [uS/cm]	pH	Rn222 [Bq/l]	Cl- [mg/l]
Átlag	1020	6,875	20,38	52,1
Relatív szórás	0,011	0,003	0,119	0,084
Szórás	11,314	0,021	2,418	4,384
Minimum	1012	6,86	18,67	49
Maximum	1028	6,89	22,09	55,2
Darabszám	2	2	2	2

14. táblázat: az MJ12 azonosítójú pont leíró statisztikája

	Rn222 [Bq/l]	Cl- [mg/l]
Átlag	78,834	45,1
Relatív szórás	0,06	0,06
Szórás	4,68	2,69
Minimum	71,21	43,2
Maximum	83,68	47
Darabszám	5	2

15. táblázat: A Boltív-forrás mély részének leíró statisztikája

	Vez.kép. [uS/cm]	pH	Rn222 [Bq/l]	Cl- [mg/l]
Átlag	1010	6,9	55,3	45,9
Relatív szórás	0	0,001	0,085	0,015
Szórás	0	0,007	4,731	0,707
Minimum	1010	6,9	52,0	45,4
Maximum	1010	6,9	58,7	46,4
Darabszám	1	2	2	2

16. táblázat: Az MT1 azonosítójú pont leíró statisztikája

	Vez.kép. [uS/cm]	pH	Rn222 [Bq/l]	Cl- [mg/l]
MT2-4	-	6,92	41,63	47,8
LF-MT	1020	7,06	37,94	47

17. táblázat: Az MT2 és a Lukács fürdő pontjának leíró statisztikája

	Vez.kép. [uS/cm]	pH	Rn222 [Bq/l]	Cl- [mg/l]
Átlag	991,5	7,0	57,7	44,0
Relatív szórás	0,005	0,00	0,019	0,096
Szórás	4,95	0,0	1,09	4,24
Minimum	988,0	7,0	56,9	41,0
Maximum	995,0	7,0	58,4	47,0
Darabszám	2	2	2	2

18. táblázat: A Boltív-forrás (BF1S) sekély részének leíró statisztikája

	Vez.kép. [uS/cm]	pH	Rn222 [Bq/l]	Cl- [mg/l]
Átlag	998	7,0	44,7	46,4
Relatív szórás	0,01	0,002	0,14	-
Szórás	5,66	0,01	6,10	-
Minimum	994	6,98	40,4	46,4
Maximum	1002	7	49,1	46,4
Darabszám	2	2	2	1

19. táblázat: A Boltív-forrás (BF2S) sekély részének leíró statisztikája