

CSEPEGŐVIZEK VIZSGÁLATA A MOLNÁR JÁNOS- BARLANGBAN

DRIP WATER ANALYSIS IN MOLNÁR JÁNOS CAVE

REHÁK ANDRÁS MIKLÓS¹ - SZIEBERTH DÉNES²

¹BME Vízépítés és Vízgazdálkodási Tanszék, 1111 Budapest Műegyetem
rkp. 3. rehak.andras@epito.bme.hu

²BME Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék, 1111 Budapest
Szt. Gellért tér 4.

Abstract: Drip waters were investigated in the dry passages of the Molnár János cave, an active hypogenic cave situated underneath a built-up area of Budapest, the capital of Hungary. Drip rates were recorded both by manual methods and data loggers providing superior time resolution. A 24 hour periodicity in the discharge was observed at one drip site, contributed to the changing volume of the rock fissures due to tidal cycles. Water chemistry was also monitored, determining the extent of anthropogenic pollution reaching the cave. Drip sites farther from the cave entrance contained less anthropogenic indicators and more ions originated from the dissolution of the host rock, hinting at longer infiltration routes. Direct correlation between recharge events and drip rates was observed only at one drip site.

Keywords: Molnár János Cave, Tidal effect, Water quality, Drip water, Anthropogenic pollution, Infiltration

Bevezetés

A Molnár János-barlang, mint a budai karszt egyetlen, ma is aktív termálvizes, hipogén barlangja nagy lehetőségeket biztosít és komoly kihívásokat is állít a barlangkutatók elé. Bár Budapest szívében jól megközelíthető helyen található, de kutatása meglehetősen nehézkes, mert járatai szinte mind vízzel kitöltöttek.

A kutatásban a korábbi, vízkémiai vizsgálatok folytatása mellett a csepegővizek hozammérését is elvégeztük. A hozam folyamatos, nagy időfelbontású regisztrálása lehetőséget adott a hozamok részletesebb vizsgálatára, így az árapály jelenség hatásának kimutatására. A hozamok és a vízkémiai adatsorok összevetése a felszíni csapadékokkal fontos információt szolgáltatnak a barlang emberi eredetű szennyeződéseknek való kitettségéről, a szennyező anyagok bemosódásának csapadékfüggő változásairól.

A barlangban a csepegővizek vizsgálatának kiemelt fontosságot ad, hogy az városi környezetben, sűrűn beépített terület alatt található. Jóllehet a környék közművel való ellátottsága kielégítő, azonban az előforduló köz-műhibáknak, szivárgásoknak végzetes következményei lehetnek a karsztvíz készletre. A vizsgálatok különös aktualitása, hogy a barlang felett található SZOT üdülő bontása és átépítése tavaly megkezdődött, ami új szennyezési forrást, illetve a beszivárgó vizek útjának megváltozását is eredményezheti.

A Molnár János-barlang a Budai-hegységben, Budapest II. kerületében a Frankel Leó utcában a József-hegy lábánál, a Rózsadomb területén található (FARKAS 2015, 1. ábra). A barlang 1982 óta fokozottan védett természeti értéket képez. Eleinte csupán 420 m hosszan volt ismert, azonban egy 2002-ben végrehajtott áttörés után (KALINOVITS 2006) napjainkra már körülbelül 7,5 km hosszú a barlangrendszer feltárt szakasza (LEÉL-ŐSSY *et al* 2011). Ez feltehetően a járatrendszernek még nem is a teljes terjedelme. Az újabb járatok utáni kutatást a barlangi búvárok folyamatosan végzik.

A barlang a Budai Termálkarszt része, ami Európa egyik legnagyobb ma is aktív termálkarsztos rendszere, és a Dunántúli-középhegység fő karsztvíz tárolójának a része. A termálkarszt és a középhegység többi része között a középhegységben felhalmozott néhány kilométer vastagságú mezozoos karbonátos réteg biztosítja a litológiai folytonosságot és a hidrodinamikai kapcsolatot a termálkarszt és a középhegység többi része között. (MÁDLNÉ-SZŐNYI 1996, BODOR 2014).

Ennek a karbonátos vízvezető egységnek az egyik regionális megcsapolódási területe a Budai Termálkarszt, ami egy kiemelt karbonátos egység és egy üledékes medence határán kifejlődött hipogén karsztrendszer (ERŐSS 2010, MÁDLNÉ-SZŐNYI, ERŐSS 2013).

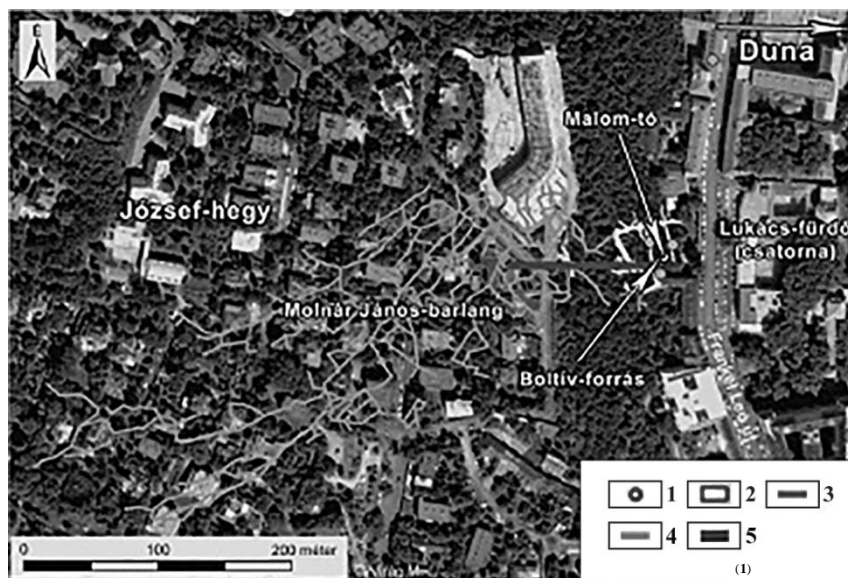
Természetes állapotok mellett a Rózsadomb előterében a Dunához közel hévforrások (>36,7°C) fakadtak magas oldott anyag tartalommal (800-1350 mg/l). A hegy lábához közelebb langyos források (20-36,7 °C) fakadtak alacsonyabb oldott anyag tartalommal (770-980 mg/l). A két forráscsoport között É-D irányú vető húzódik (ERŐSS *et al.* 2008).

A hévforrások regionális áramlási rendszerek megcsapolódási jelenségei, míg a langyos források egy hideg vizes komponens jelenlétére engednek következtetni, mely lokális/intermedier áramlási rendszerből származik. Az utánpótlódási területet a Budai-hegység és a Pilis fedetlen karbonátos kőzetei jelenthetik. Hidrogeokémiai vizsgálatok alapján medence eredetű

fluidumok hozzáadódása is valószínűsíthető (ERŐSS 2010, ERŐSS *et al.* 2012a).

A barlangrendszer vizét a mélyből feltörő meleg és a Budai-hegységből érkező langyos karsztvíz adja (KALINOVITS 2010). Az öt nagy rózsadombi barlang közül ez az egyetlen, napjainkban is aktív hévizes barlang, melynek vize a Malom-tavat tápláló Boltív- és Alagút források vízvezető járatát képezi (KALINOVITS 2006, LEÉL-ŐSSY *et al.* 2011).

A barlangot felfedezőjéről Molnár Jánosról nevezték el, aki az Orvosi hetilap 1858 évi 33. számában tesz róla említést (KORDOS *et al.* 1984). A Malom-tó és a Boltív-forrás vízvizsgálatát Molnár János 1859-ben végezte el (MOLNÁR 1859).



1. ábra: A vizsgált terület földrajzi elhelyezkedése a Molnár János-barlang poligonjával
Jelmagyarázat: 1. barlangbejárat, 2. 2002 előtt ismert víz alatti szakasz, 3. 2002-2010 között beúszott barlangrészek, 4. Szent Lukács-ág, 5. József-hegyi táró (Virág és Szabó 2013, Bodor 2014)

Fig. 1. Location of the study area with the polygon of the Molnár János cave

Legend: 1. cave entrance, 2. underwater section known before 2002, 3. explored cave passages between 2002 and 2010, 4. St. Lukács passage, 5. József Hill tunnel (Virág and Szabó 2013, Bodor 2014)

A barlangnak sokáig csak két járható bejárata volt: egy a Malom tó feletti hegyoldalon, és egy pedig az Alagút-forráson keresztül, ahova csak búvárkészülékkel lehet bejutni. 1977-ben hajtottak egy vízszintes 3 m széles és 180 m hosszú alagutat, hogy a hegyoldalon álló SZOT szállóhoz lifter építsenek (ami később nem valósult meg). 2008-ban a táró 83. méterénél

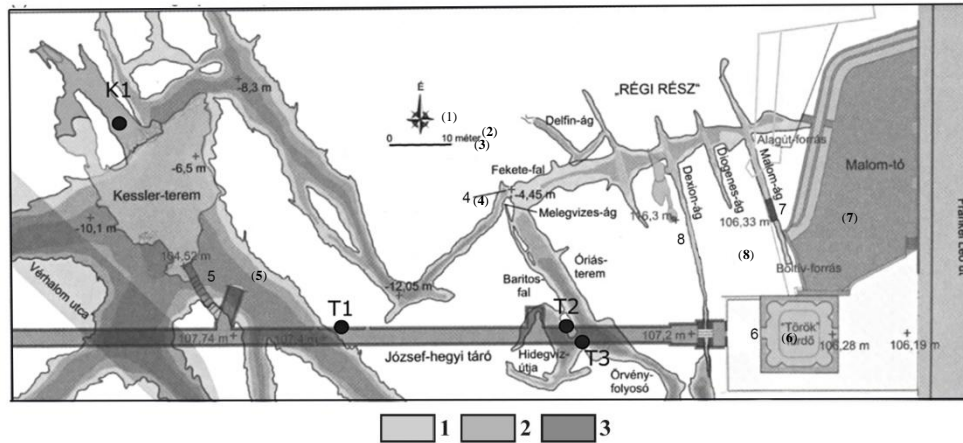
egy keresztfolyosóból egy 9 m hosszú segédtróát hajtottak a Kessler Hubert-terembe, ezáltal a barlang belső járatainak megközelítése könnyebb lett (LEÉL-ŐSSY *et al* 2008). A munkálatok elkezdése előtt szeizmológiai méréseket végeztek, hogy a segédtróa pontos helyét és irányát meghatározzák. A mérések eredményét egy fúrással ellenőrizték (SURÁNYI *et al.* 2010).

A csepegő vizek vízkémiai paramétereinek vizsgálata közvetlenül a Kessler-terem felfedezése után megkezdődött, a csepegés intenzitását azonban a mintavételezés bonyolultsága miatt (pl. vízfelszín fölöttől, úszva történő mintavétel) legfeljebb becsülni tudták. A csepegővizeket a barlangban három helyszínen: a táróban, a Kessler-teremben és a cseppkőfalnál (Kessler-terem mögötti száraz járat jobb oldali végpontja) gyűjtötték (BERGMAN 2011).

A vízkémiai vizsgálatokból arra a következtetésre jutottak, hogy a cseppkőfalnál a víz jelentős része csapadék eredetű, ezt alátámasztották stabilizotóp vizsgálatokkal, ahol a mintát összehasonlították a budapesti eső $\delta^{18}\text{O}$ értékeivel. A csepegés intenzitása a nagy havi csapadékintenzitással összefüggést mutat, melyet a vezetőképesség és számos ion koncentrációjának csökkenése (hígulás) jelez. A Kessler-teremben és a táróból származó víz főként a közműhálózatból származik, ezt a Duna vizével hasonló stabil izotóp összetétellel támasztják alá. Illetve magas a nitrát, szulfid, klorid koncentrációjuk (BERGMAN 2011).

Jelenlegi vizsgálatok

A táróban és a Kessler-teremben a csepegés nem pontszerűen, hanem egyes területeken (pl. repedések mentén) csoportosulva, de szétszórtan jelentkezik. A nagyobb volumenű mintavétel, illetve a csepegési intenzitások rögzítésének egyszerűsítése érdekében a táro plafonjára felszereltünk egy 1x0,5 m-es műanyag lemezt, aminek a végét meghajlítva a csepegő vizet tudjuk egy ponton gyűjteni. Itt először gyűjtőedényt rendszeresítettünk. A hozamokat néhány naponta köbözéssel állapítottuk meg. Később egy adatrögzítővel ellátott billenőedényes csapadékmérőt helyeztünk a gyűjtőedény elé. Ezáltal nemcsak a napi átlagos csepegés mennyiségéről, hanem a csepegés pillanatnyi intenzitásáról is kapunk pontos adatot. A táróban 3 ponton gyűjtöttük a csepegő vizeket (T1, T2, T3: 2. ábra). A Kessler-terem száraz oldalágában, a bejárattal szemben létesítettünk egy negyedik csepegés gyűjtő helyet (K1).



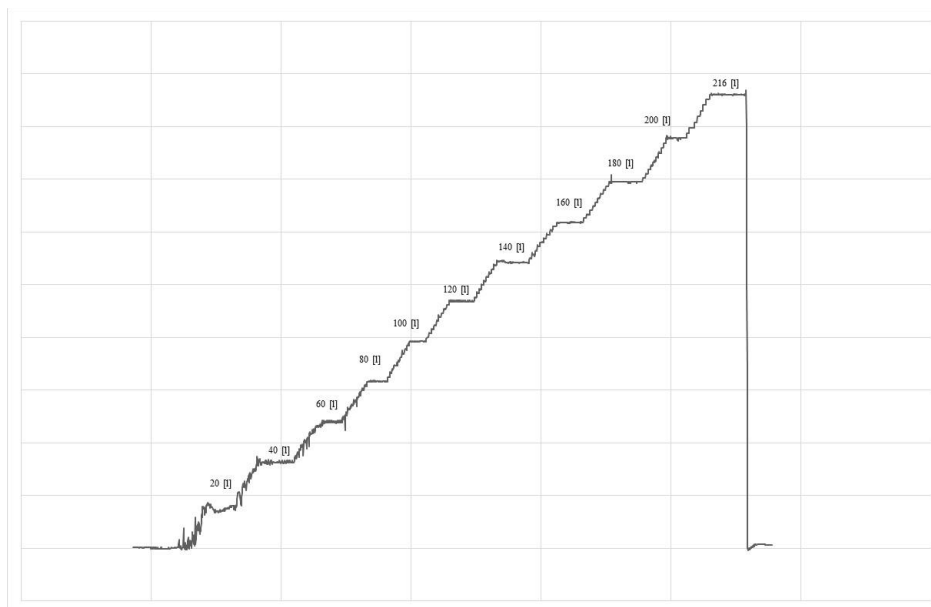
2. ábra: Jelenlegi csepegővíz mintavételi helyek a Molnár János-barlangban (T1, T2, T3, K1)
(Virág és Szabó in Mindszenty 2013 után módosítva)

Legend: 1. víz alatti járat, 2. nyílt vízfelszínű járat, 3. száraz barlangjárat, 4. 2002-ben feltárt szakasz bejárata, 5. 2008-ban létesített áttörés, segédjáró, 6. táró bejárat, 7. mesterséges bejárat, 8. felfedező bejárat (Molnár János 1858) felső „száraz” bejárat

Fig. 2. Current sample of drip water in Molnár János cave (T1, T2, T3, K1)

Legend: 1. underwater path, 2. open cave path, 3. dry cave path, 4. entrance of the passage explored in 2002, 5. breakthrough in 2008, side tunnel, 6. entrance of tunnel, 7. artificial entrance, 8. entrance of exploration (Molnár János 1958) upper „dry” entrance (Virág and Szabó 2013, modified)

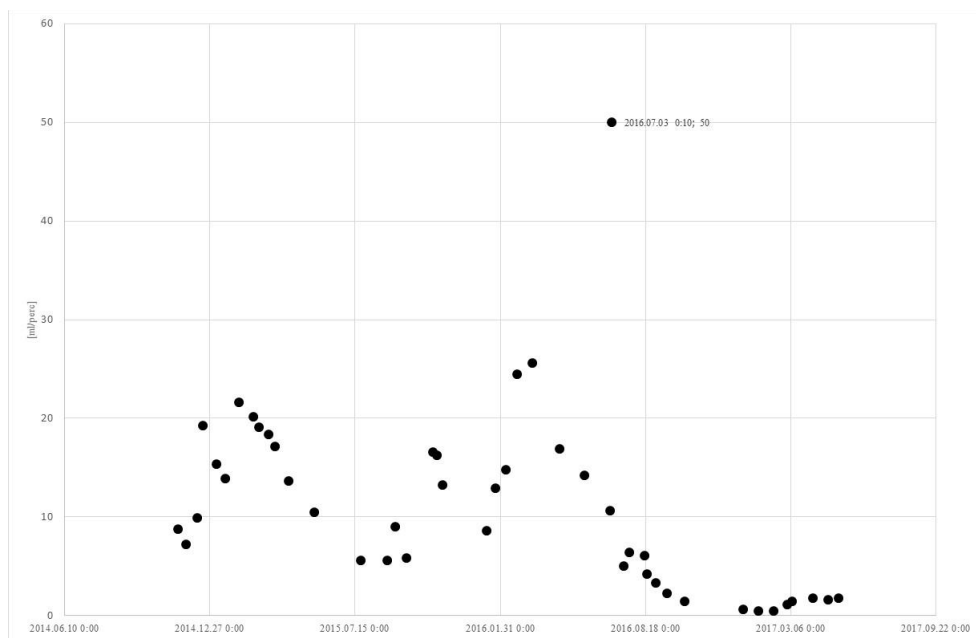
Kessler-termi csepegésgyűjtő (K1)



3. ábra: Hordó csepegés gyűjtő kalibrálása (K1)
Fig. 3. Calibrating the drip collector called Hordó (K1)

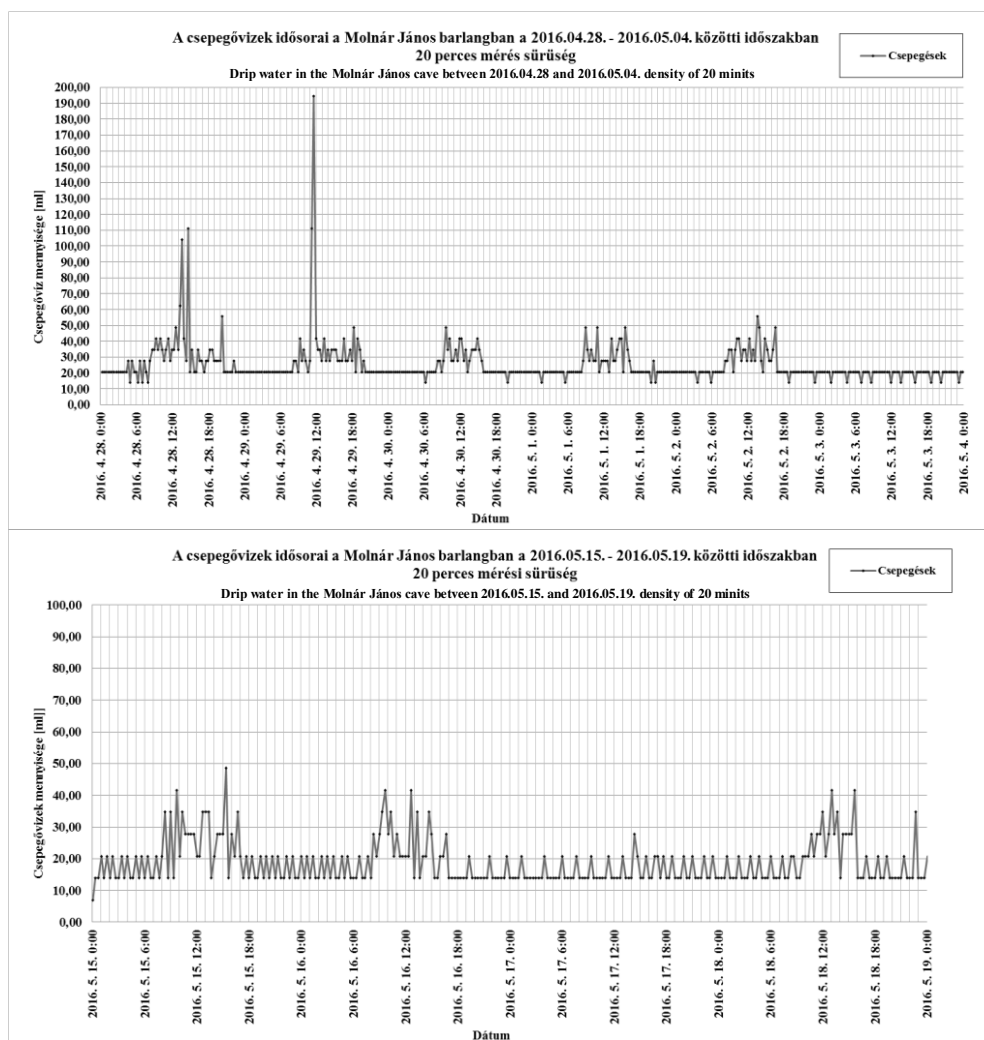
Ezen a ponton kezdtük el először mérni a csepegés intenzitását. A legintenzívebb csepegési zóna alá kifeszítettünk egy 2X3 m-es ponyvát, ami a csepegővizet egy hordóba vezette. A hordóban egy Dataqua típusú DA-LTRB 122 hőmérséklet- és nyomás érzékelő, regisztráló műszert építettünk be. A hordó vizének kényelmes, könnyebb mintázását, illetve leeresztését a Kessler-terem tavanak szintjéig levezető és ott csappal ellátott tömlő segítségével oldottuk meg. A kihelyezés előtt a hordót kalibráltuk (3. ábra), ismert mennyiségű víz beöntésével és a hozzá tartozó vízszint regisztrálásával. A hordóba történő víz beöntéseknél minden 20 liter beöntött vízmenyiség után tartottunk egy pár perces szünetet, hogy jól elkülöníthető legyen az ahhoz tartozó vízoszlopmagasság.

A csepegésméréseket 2014-ben kezdtük el, és a mai napig is folyamatosan mérjük kisebb nagyobb szünetekkel. A 4. ábrán megfigyelhető, hogy a csepegés a téli hónapokban intenzívebb, mint a nyári hónapokban, illetve hogy a csepegés intenzitása folyamatosan csökken. A csökkenés oka feltehetően az utánpótlódás csökkenése. A vizsgált időszakban a Budapestre hulló éves csapadék mennyisége is csökkent (665-ről 569 mm-re) (www.ksh.hu)



4. ábra: K1 havi csepegés átlag
Fig. 4. K1 monthly average dripping

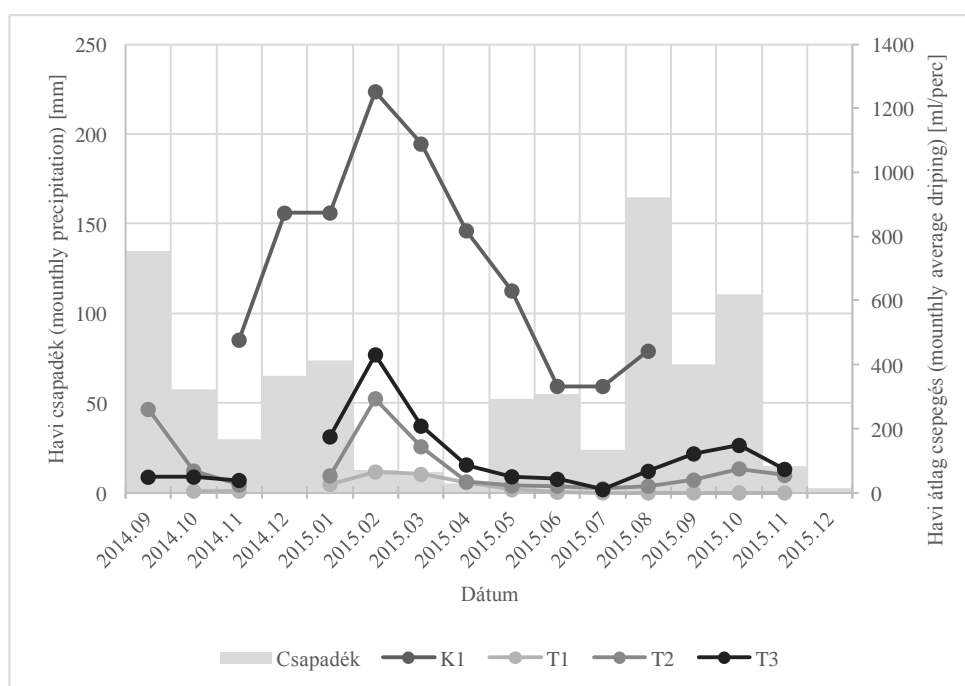
Táróban lévő csepegésgyűjtők (T1,2,3)



5. ábra: a „T2.” csepegési hely csepegés intenzitása
 Fig. 5: Drip intensity of „T2”

A táróban eddig egy csepegésgyűjtőt (T2) sikerült lecserélnünk billenő-edényes csapadékmérő berendezésre, amit elláttunk adatrögzítővel is, de tervezzük a többi helyen is a billenő-edényes csapadékgyűjtő beépítését, hogy ezáltal pontosabb adatot kapjunk a csepegés intenzitásról a különböző csepegési zónákban.

A folyamatosan regisztrált mérőhelyen (T2) 20 percenként összegeztük a csepegéseket, majd ábrázolva (5. ábra) sikerült kimutatnunk, hogy a csepegés intenzitása periodikusan megnő, ami összefüggésbe hozható a korábban Maucha által leírt jelenséggel, miszerint a karsztos kőzet repedéseinek hézagterfogata a dagály és apály hatására megváltozik (MAUCHA 1998).



6. ábra: Csepegő vizek havi átlaga 2014-15 ben
 Fig. 6. Dripping water monthly average between 2014-15

A 6. ábrán jól látható, hogy a csepegés intenzitás mind a négy csepegés gyűjtő helyen hasonlóan változik, és rövidtávon a csapadék intenzitása nem befolyásolja a csepegés intenzitását. Ellenkezőleg: az alábbi ábrán jól látszik, hogy a csapadékmaximumok akkor voltak, amikor a csepegés intenzitása a legkisebb volt, és fordítva. A csapadékeseményekre történő nem észrevehető illetve késleltetett reakció kétségessé teszi a közvetlenül a barlang fölötti hegyoldalból történő beszivárgást.

Vízkémia

A csepegő vizek kémiájának vizsgálatát részben a BME Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék laborjában végeztük, részben (2014-2015 egyes mintái) a Bálint analitika, majd (2017) a Wessling vízkémiai laboratóriuma segített az analízisben. A vízmintákat havi rendszerességgel vettük.

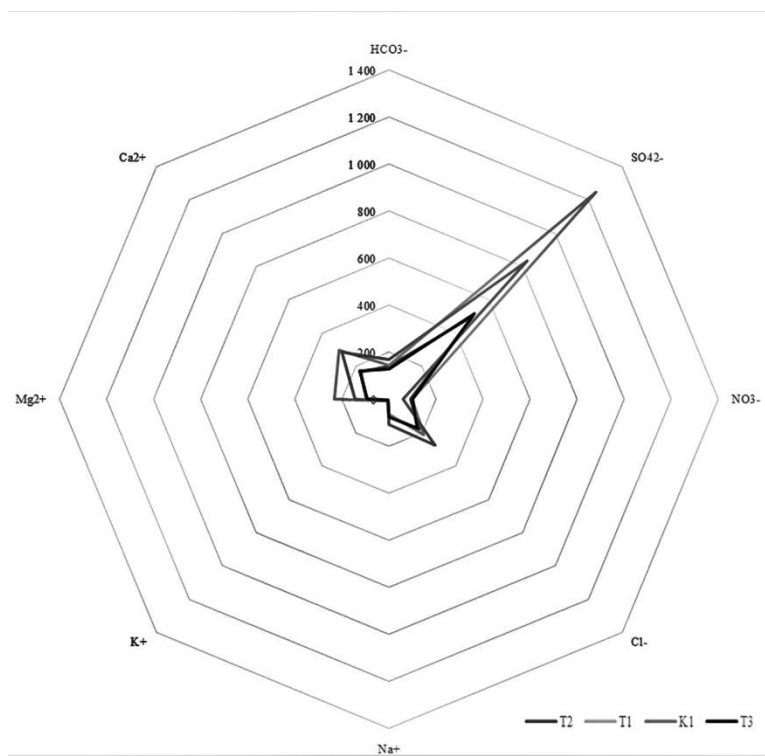
A vizsgált mintákban a szulfát és klorid a fő komponensek (7. ábra), amik lehetnek emberi eredetűek is, de a szulfát származhat a budai márgában települő pirit oxidációjából (VIRÁG *et al.* 2009) illetve gipsz oldódásából is, vagy pedig bomló szerves anyagok szulfidjának oxidációjából (HEM 1985). A víz alatti járatokban gyakori a pirit. A gipsz és piritminták kénizotópos vizsgálata azt mutatta, hogy a gipsz létrejötte is a pirit oldódásához köthető. A magas koncentráció jelentős szennyezésre utalhat. A foszfát (<0,05 mg/l), ammónia (<0,01 mg/l) és nitritionok (<0,01 mg/l) alacsony koncentrációja arra utal, hogy a beszivárgás messzebb történik, a foszfát megkötődik, az ammónia és a nitrit nitráttá oxidálódik.

A T2 és T3 csepegési helyek, ugyan hozamukban eltérően változtak, a vízkémiai vizsgálatok során nagyon hasonló értékeket mutattak. Ebből arra következtethetünk, hogy az egyes repedések ugyanazt a beszivárgást mintázhatják. A későbbiekben a T3 csepegő vizsgálatával felhagytunk.

A K1 mintavételi hely mintáiban magasabb a szulfát (729,6-935 mg/l) és klorid (243,76-317,6 mg/l), alacsonyabb a nitrát (53-62 mg/l) jelenléte, ami a közzel való hosszabb kontaktidőre, illetve kevesebb felszíni beemosódásra utalhat.

Az egyes ionok koncentrációi nem egyformán változnak a csepegési helyszínek között: míg a szulfationok koncentrációja a T2 és T3 helyeken kisebb (500-515 mg/l), a T1 és K1 helyszíneken nagyobb (729-1245 mg/l), a nitrát ionok koncentrációja pont fordított módon változik (T1, K1: 92-100 mg/l, T2, T3: 53-100 mg/l). Minthogy a T1 és K1 helyszínek a barlangban beljebb helyezkednek el, arra következtethetünk, hogy ezek a csepegések távolabb beszivárgott vizekből származnak.

Néhány alkalommal volt lehetőségünk mintát venni a „cseppköfal” helyszínről (BERGMAN 2010). Megfigyeltük, hogy a barlangban az itt befolyó víz a felszíni változásokra késleltetés nélkül reagál. A SZOT üdülő bontásakor beszivárgó locsolóvíz gyakorlatilag azonnali vízhozam növekedést okozott, az ionkoncentrációk pedig kb. felére hígultak a korábban mértékhez képest. Az építkezést megelőzően a vízben az átlagos klorid koncentráció 70mg/l volt, a bontási folyamatok ideje alatt pedig 37 mg/l-re csökkent. A befolyó víz hozamát nem mértük, a falon lefolyó víz szélességét, mélységét figyeltük.



7. ábra: Csepegő vizek vízkémiajának átlagai
 Fig. 7: Dripping water chemistry average

Összefoglalás

A táróban lévő billenő-edényes csapadékregisztráló segítségével 24 órás periodicitást mutattunk ki több időszakban is a táró csepegés intenzitásai-ban. Megállapítottuk, hogy a csepegési intenzitások jelentős éves változást mutatnak. A hozamok egy helyszínen (cseppkőfal) kivételével nem reagálnak közvetlenül a felszíni csapadékeseményekre, ami távolabbi beszivárgást valószínűsít. Ezt a következtetést erősíti a csepegővizek kémiai összetétele is, melyből hiányoznak a talajban megkötődő illetve a feloxidálható ionok. Ugyanakkor a nitrát-ionok magas, de a csepegési intenzitással változó koncentrációjú jelenléte emberi eredetű szennyezésre utal, ami a vízkémia további követését és részletesebb vizsgálatát igényli a szennyező források felderítése céljából.

Későbbiekben a Molnár-János barlang vizeinek vizsgálatával kapott eredményeket más barlangi csepegővizekkel is szükséges összehasonlítani, továbbá a törmeléktakaró csepegővizekre gyakorolt kémiai hatását is részletesen fel kell tárnunk.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az NKFIH K124497 számú pályázata támogatta.

IRODALOM

- BERGMANN, CS., LEÉL-ŐSSY, SZ., FEHÉR, K., FÓRIZS, I.* (2011): Vízvizsgálatok a Molnár János barlangban. – Karsztfejlődés XVI. pp. 223-245.
- ERŐSS, A., MÁDL-SZŐNYI, J., CSOMA, É. A.* (2008): Characteristics of discharge at Rose and Gellért Hills. Budapest. Hungary. – Central European Geology. 51 (3) pp. 267-281.
- 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, 171 p.
- ERŐSS, A., MÁDL-SZŐNYI, J., CSOMA, É. A.* (2012a): Hypogenic karst development in a hydrogeological context, Buda Thermal Karst, Budapest, Hungary. – In: Maloszewski, P., Witczak, S., Malina, G. (eds.): Groundwater Quality Sustainability, IAH Selected Papers on Hydrogeology, 17, London, CRC Press – Taylor and Frances Group. pp. 119-133.
- FARKAS D., HAJNAL G., SZIEBERTH D., REHÁK A.* (2015) A Molnár János-barlang térségének hidrológiai vizsgálata – In: Török Ákos, Görög Péter, Vásárhelyi Balázs (szerk.), Mérnökgeológia - Kőzetmechanika pp. 61-74.
- HEM J. D.* (1985) Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. – U. S Geological Survey Water-supply paper 2254
- KALINOVITS, S.* (2000): Molnár János-barlang. – In: Korpás L.: Milleniumi Barlangnap Budapest, a barlangok fővárosa. Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat a Milleniumi Kormánybiztosítási Hivatal támogatásával. 65 p.
- KALINOVITS, S.* (2006): Molnár János-barlang új szakaszainak felfedezése. – Karszt és Barlang. 1995-1996. pp. 3-8
- KORDOS, L., JAKUCS, L., GÁDOROS, M., TARDY, J.* (1984): Magyarország barlangjai. – Gondolat Kiadó. Budapest. 326 p.
- LEÉL-ŐSSY SZ., ADAMKÓ P., KALINOVITS S.* (2008): Víz- és földalatti csodavilág: a budapesti Molnár János barlang. – Környezetvédelem, XVI(6), pp. 30-31.
- MÁDLNÉ SZŐNYI, J.* (1996): Vízartó rendszerek sérülékenységi vizsgálata. Elméleti háttér és gyakorlat. – Egyetemi doktori disszertáció. ELTE TTK Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék. Budapest. 138 p.

MÁDL-SZŐNYI J., ERŐSS A. (2013): Effects of regional groundwater flow on deepcarbonate systems focusing on discharge zones. – Proceedings of the International Symposium on Regional Groundwater Flow: Theory, Applications and Future development. 21-23 June Xi'an, China. China Geological Survey, Commission of Regional Groundwater Flow, IAH, pp. 71-75.

MAUCHA L. et al. (1998): Az Aggteleki-hegység karszthidrológiai kutatási eredményei és zavartalan hidrológiai adatsorai. – VITUKI Rt., Budapest

MOLNÁR J. (1859): A Lukácsfürdő Budán természettudományi tekintetben. – A Királyi Magyar Természettudományi Társulat Évkönyve IV. kötet 1857-59. Pest, pp. 143-175.

SURÁNYI G., DOMBRÁDI E., LEÉL-ŐSSY SZ. (2010) Contributions of geophysical techniques to the exploration of the Molnár János Cave (Budapest Hungary) – Acta Carsologica Postojna 39/3 pp. 565-576

TÓTH D. (2016): Hidrológiai vizsgálatok a Molnár János-barlangban, – BSc diplomamunka, BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

VIRÁG M., MÁDLNÉ SZŐNYI J., MINDSZENTY A., ZIHÉNÉ PERÉNYI K., LEÉL-ŐSSY SZ., ERŐSS A., SIKLÓSY Z. (2009): Az urbanizáció hatása a Budai barlangok csepegő vizeire a Szemplőhegyi barlang példáján. – Karsztfelődés XIV. pp.57-81.

VIRÁG M., SZABÓ Z. (2013): Molnár János-barlang – a rendszer jelenleg is aktív tagja. – In: Mindszenty A. (szerk.): Budapest: földtani értékek és az ember. Városgeológiai tanulmányok („In urbe et pro urbe”). – ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, pp. 228-232.

http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/evkonyv/evkonyv_2016.pdf