

A BARLANGI BESZIVÁRGÓ VIZEK ÖSSZEHASONLÍTÓ MONITORING VIZSGÁLATA A PÁL-VÖLGYI-BARLANGRENDSZER KÉT MINTAVÉTELI PONTJÁN

LONG-TERM MONITORING OF CAVE DRIP WATER AT TWO SAMPLING LOCATIONS IN PÁLVÖLGY CAVE

FEHÉR KATALIN¹ – BORBÁS EDIT²

¹ ELTE TTK FFI Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék

² ELTE TTK FFI Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék
1112 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c

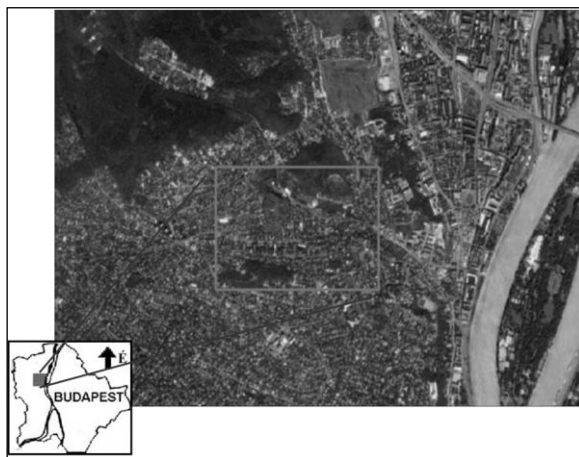
Abstract: We have been investigating the chemical composition of drip water in Pálvölgy Cave for several years. According to our measurements, one of the most polluted point of the cave is located in the Térképész-ág. At this sampling point a long-term monitoring was carried out from 8/2011. Electrical conductivity, pH and water temperature were measured continuously by an Odeon Range monitor. A new measurement point was established in the Y-folyosó in 2013. Our major goal was to determine the different contamination of the two sampling locations. The results of the chemical examination of drip water indicate the permanent anthropogenic effects on the water in the Térképész-ág, and natural karstic processes at the sampling point in the Y-folyosó.

Bevezetés

Földtani értékeink védelme az egyre nagyobb emberi beavatkozás miatt fontos cél napjainkban. Az egyik leginkább sérülékeny terület a karszt és rajta keresztül felszín alatti vizeink. Világhírű gyógyforrásaink a Duna jobb partján, Budapest beépített területén fakadnak. Beszivárgási területük egy részét képezi a Rózsadomb, ahol számos fokozottan védett barlangot tartanak nyilván (*I. ábra*).

Az erősen urbanizált terület megváltoztatja a természetes hidrológiai viszonyokat. A természetes növénytakaró helyett kertvárosi jellegű, családi házas beépítettség jellemző, az utóbbi időben egyre több lakópark kiépülésével. A burkolt felületek, a közműhálózat, a megváltozott növény-, ill. talajtakaró (pl. kertek) mind magában hordozzák nemcsak a beszivárgás mennyiségének, hanem a minőségének változását is. Az emberi tevékenységből származó számos szennyező anyag megváltoztathatja a természetes karsztos oldódási folyamatokat, de a legnagyobb veszélyt a forrásokban való megjelenésével okozhatja. A folyamat nyomon követését a barlangok becsepegő vizeinek vizsgálatával tudjuk elérni. Ezt több kutató is felismerte és egyre több helyszínen zajlanak mérések (*SÁRVÁRY et al. 1992, FEHÉR*

1995, *TAKÁCSNÉ BOLNER* et al. 1989, *MARI-FEHÉR* 1999, *MAUCHA* 2001, *MÁDLNÉ SZÓNYI* et al. 2007, *FEHÉR* 2009, *KISS* 2012).



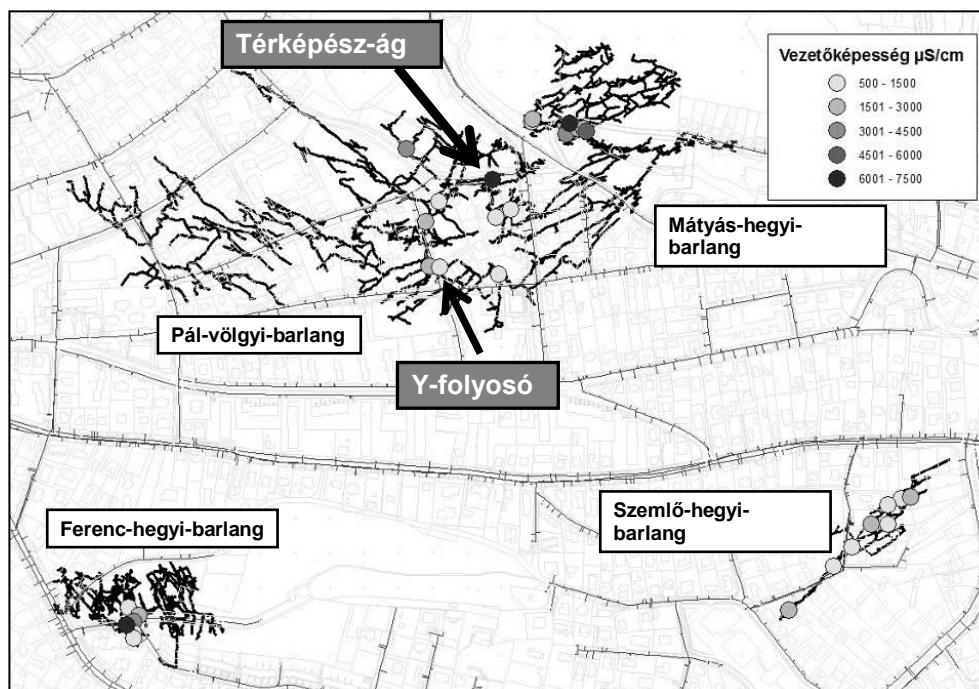
1. ábra: A vizsgált barlang területi elhelyezkedése.
Fig.1: Area of the cave.

A beszivárgó víz minőségi változásait a Pál-völgyi-barlangrendszer, a Szemlő-hegyi- és a Ferenc-hegyi-barlang különböző időintervallumokban történő vízmintavételek segítségével vizsgálták (*FEHÉR* et al. 2009, *KISS* 2009, *VIRÁG* et al. 2009, *FEHÉR* 2011, *VIRÁG* et al. 2011). A mérőpontok közötti különbségeket a fajlagos vezetőképesség értékével (ami az összes oldott sótartalomra utal) tudjuk a legjobban szemléltetni (2. ábra). A két mérési helyszín kiválasztásánál az volt a szempont, hogy egy szennyezettebb (Térképész-ág), ill. egy, az antropogén hatásoktól kevésbé zavart pontot (Y-folyosó) tudjunk összehasonlítani. 2011 óta adatgyűjtő segítségével végzünk folyamatos mérést a Pál-völgyi-barlangrendszer Térképész-ágában (*BORBÁS-FEHÉR* 2013), 2013 óta pedig az Y-folyosóban is.

A Pál-völgyi-barlang felső-eocén Szépvölgyi Mész-kő Formációban alakult ki, mely fölé felső-eocén – alsó-oligocén Budai Márga Formáció települt. Járatainak nagy része követi a kőzet D-DK-i, 25-30°-os rétegdőlését, melyek a Pál-völgy és a Szépvölgy között, a Látó-hegy lankás hegyláb-felszíne alatt húzódnak. Ebben a zónában található az Y-folyosó 60 méter mélységben. Az ÉK-i járatok megközelítik, ill. átszelik a Szépvölgy erősen összetöredezett területét. Ezen a részen helyezkedik el a Térképész-ág 40 méter mélységben.

Jelen tanulmányunkban a 2013 júliusa és 2014 áprilisa között gyűjtött adatok eredményeit szeretnénk bemutatni. A folyamatos műszeres mérést időszakos vízkémiai-, és csepegés-intenzitás mérésekkel egészítettük ki.

A mérési adatok feldolgozásához és értelmezéséhez többváltozós adatelemző módszereket alkalmaztunk.

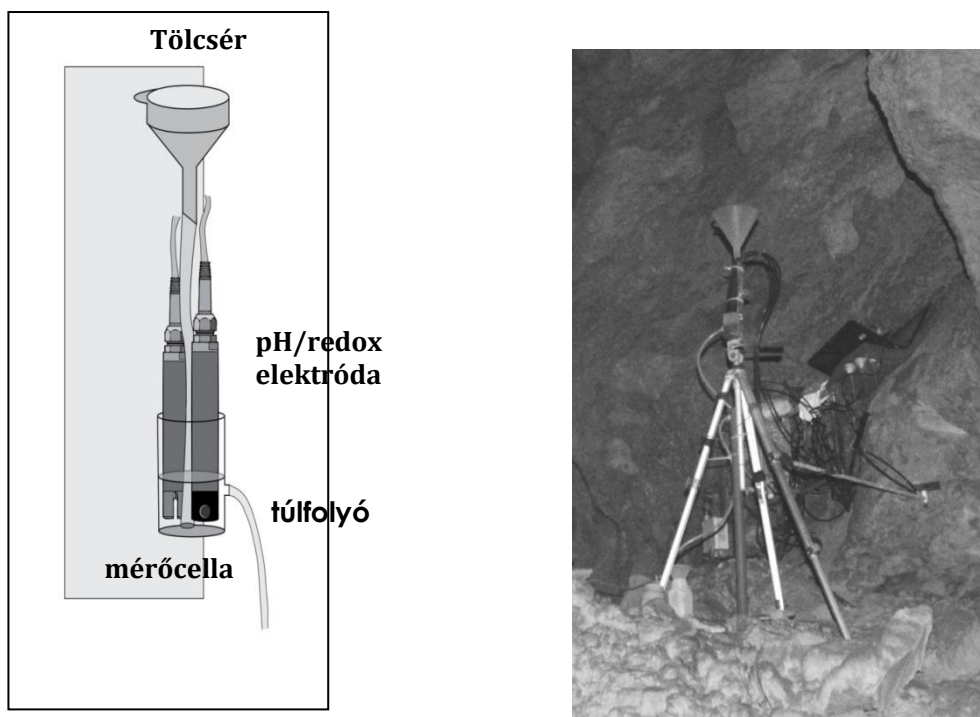


2. ábra: A vizsgálatok helyszíneinek, a Pál-völgyi-barlang Térképész-ágának és Y-folyosójának elhelyezkedése, a budai barlangokban tapasztalt vezetőképesség medián értékek feltüntetésével (saját mérések 2009-2011).

Fig. 2: Location of Pálvölgy Cave and the measuring points with the values of electrical conductivities measured in the period 2009-2011.

Anyag és módszer

Mindkét mérőponton Odeon Range típusú, Neotek-Ponsel gyártmányú adatgyűjtő műszert helyeztünk el. A műszer egyik elektródja méri a vezetőképesség értékét (0-20 mS/cm méréshatár, 0,1 felbontás, +/- 1 % pontosság), a másik a pH, redoxpotenciál és víz hőmérséklet (méréshatár: pH: 0-14, redoxpotenciál: -1000-tól +1000 mV-ig, felbontás: 0,01 pH, 0,1 mV, 0,01 °C, pontosság ±0,1 pH, ±2 mV, ±0,5 °C) adatokat. A mérőrendszer felépítése az alábbi módon foglalható össze: a csepegő víz tölcserén és műanyag csövön keresztül jut a mérőcella aljába; majd mikor a cella megtelik, a víz egy túlfolyón keresztül gyűjtőpalackba távozik (3. ábra). Ezzel a megoldással biztosítható a vízcseré, és az elektródák folyamatos vízzel borítása. A műszerből kéthetente olvastuk ki a percnként rögzített adatokat, ekkor került sor csepegés-intenzitás mérésre és vízmintavételre is.



3. ábra: A mérőrendszer felépítése és az Y-folyosóban kialakított mérőpont (Grafika: Bradák B., fotó: Takács F.)
 Fig. 3: Measuring equipments in the Pálvölgy Cave (Graph.:B. Bradák, photo:F. Takács)

A felhasznált adatelemző módszerek tekintetében a leíró statisztikákon túl főkomponens analízist használtunk. Módszertanilag fontos megjegyezni, hogy látszólag nagyon összetett időfüggő véletlen folyamatokat is gyakran csupán néhány – általában lényegesen egyszerűbb dinamikus struktúrával rendelkező – háttérhatás vagy tényező vezérel. Ezek becslésére dinamikus faktoranalízis használata ajánlott (KOVÁCS et al. 2004). Esetünkben azonban a vízkémiai célú mintavételezések időben olyan távol voltak egymástól, hogy azok függetleneknek tekinthetők, így a főkomponens analízis használata megalapozott. Vizsgálataink során arra kerestük a választ, hogy milyen háttér folyamatok alakítják a mérőpontok vízkémiai összetételét. A háttérváltozók meghatározása során a többdimenziós adatsorban a változók számát csökkentjük a bennük rejlő jelentős információ vesztesége nélkül (KOVÁCS et al. 2012). Mivel a főkomponens analízis matematikai háttere sokkal kidolgozottabb és eredményei is könnyebben értelmezhetőek mint a faktoranalízisé, így ezen módszer használata mellett döntöttünk (MAGYAR et al. 2013).

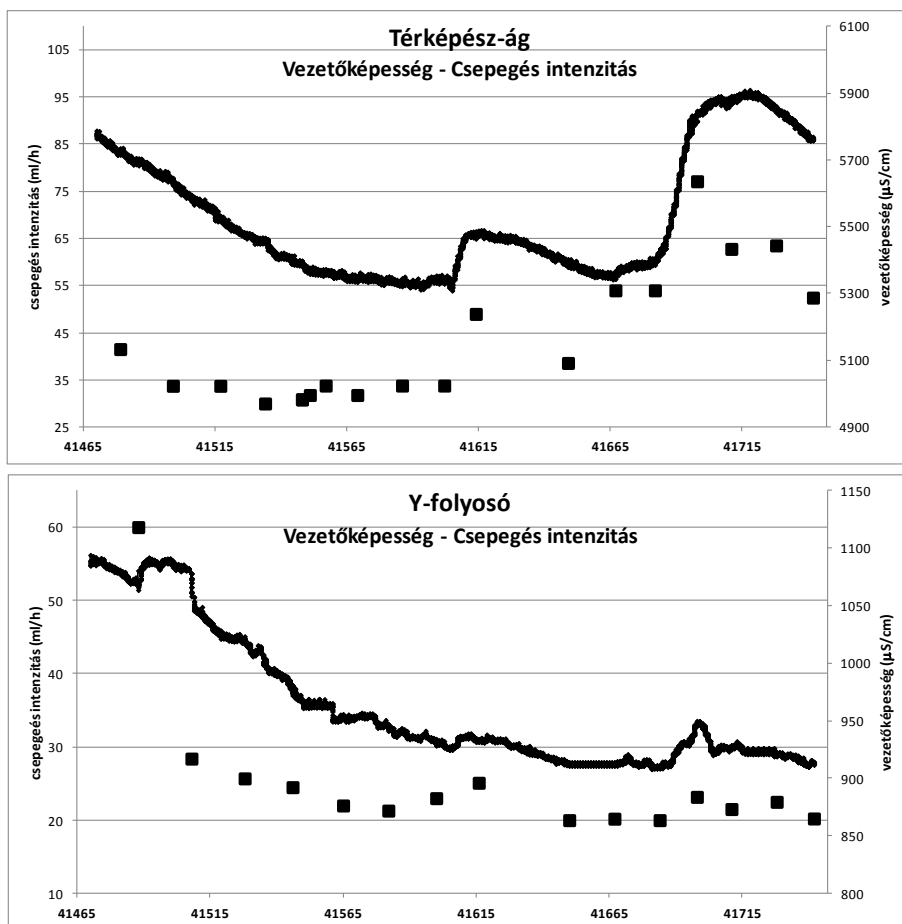
A főkomponens analízissal az eredeti változók számánál kevesebb független változóval lehet genetikai elemzést végezni (*SIMEONOV* et al. 2003, *HATVANI* et al. 2014), feltárni az eredeti változók és háttérváltozók kölcsönhatásait. Fontos megjegyezni, hogy a módszer nem ad általános választ arra, hogy mit tekint nagy, vagy kis főkomponens súlynak, továbbá hány főkomponens változó jelentős. Ezekre a kérdésekre javaslatokat, illetve szakmai szempontokat fogadunk el.

Eredmények és diszkusszió

A vizsgálat több mint nyolc hónapja alatt a fajlagos vezetőképesség a Térképész-ágban 5300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ és 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, míg az Y-folyosóban 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ és 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ között mozgott (4. ábra). A csepegés-intenzitás értékénél is megfigyelhető a két mérőpont közötti különbség, bár ez a különbség kevésbé jelentős, mint a vezetőképességnél tapasztalt (Térképész-ág 30-80 ml/h, Y-folyosó 20-60 ml/h).

Mindkét mérőpontnál megfigyelhető, hogy a vezetőképesség érték és a csepegés-intenzitás változásai szoros összefüggést mutatnak. Ha csökkent a csepegés intenzitása, akkor a vezetőképesség értéke is csökkent, míg a csepegés-intenzitás növekedésekor nőtt a vezetőképesség értéke. A vizsgált időszakban két olyan időpontot tudunk bemutatni, amikor a mérőpontokon érdemben növekedés volt tapasztalható mindkét paraméter esetében. Az első a novemberi jelentős csapadék hatására, a másik pedig a téli, minimális hó olvadása után következett be. Itt kell megjegyeznünk, hogy a Térképész-ág előző, 2011 nyara és 2013 tavasza közötti vizsgálati időszakában nem tapasztaltunk nagyobb csapadék-esemény hatást, csak a hóolvadást (*BORBÁS-FEHÉR* 2013). A változás mértéke jelentősen eltér a két mérőpontnál. A vezetőképesség értékeinél a Térképész-ágban jelentősebb, 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ill 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, míg az Y-folyosónál mindössze 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ill 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a növekedés mértéke a két időpontban. A csepegés-intenzitásnál szintén a Térképész-ágban tapasztalunk nagyobb mértékű változást, itt 15 ml/h és 25 ml/h, míg az Y-folyosóban csupán 5 ml/h.

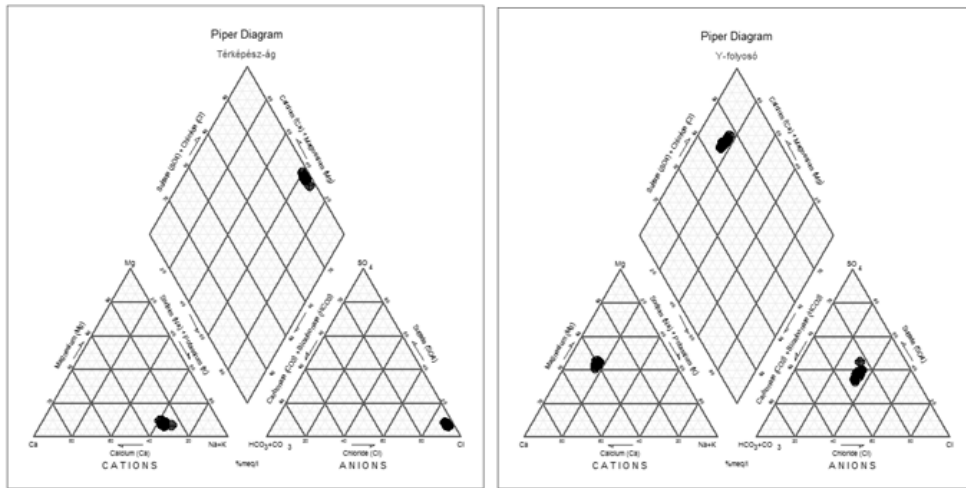
A felvázolt tendenciák oka feltehetően a mérőpontok eltérő mélységben és tektonikai környezetben való elhelyezkedése lehet. A Térképész-ág a felszín alatt 40 m mélységben található a Szépvölgy összetöredezett zónájának a szélén, ezáltal gyorsabban, nagyobb mennyiségű víz lejutását biztosítva a felszínről beszivárgó vizeknek. Az Y-folyosó mélyebben, 60 m mélységben helyezkedik el lankás hegyláb felszín alatt. Itt a kevésbé összetöredezett közettömeg lassabb, egyenletesebb, kisebb mennyiségű beszivárgást tesz lehetővé.



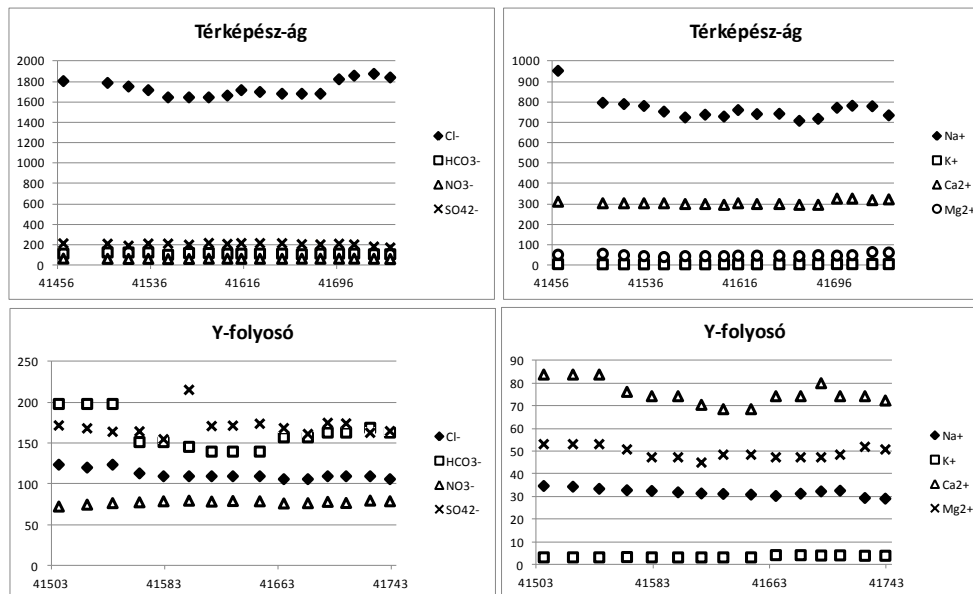
4. ábra: A csepegés-intenzitás és a fajlagos vezetőképesség összefüggése. Jelmagyarázat: Folytonos vonal = vezetőképesség értékek, négyzet = csepegés intenzitás értékei

Fig. 4: Connection between dripping intensity and electrical conductivity. Legend: solid line = electrical conductivity, quadrant = values of dripping intensity

A két mérőpont csepegő vizeiből vett vízminták főion összetételét Piper diagramon (PIPER 1944) ábrázolva jelentős különbségeket figyelhetünk meg (5. ábra). BACK (1966) alapján a Térképész-ág beszivárgó vizei a nátrium-kalcium, ill. a klorid-szulfát, míg az Y-folyosóból gyűjtött minták a kalcium-nátrium és a klorid-szulfát-hidrogénkarbonát vízkémiai fáciesbe sorolhatók.



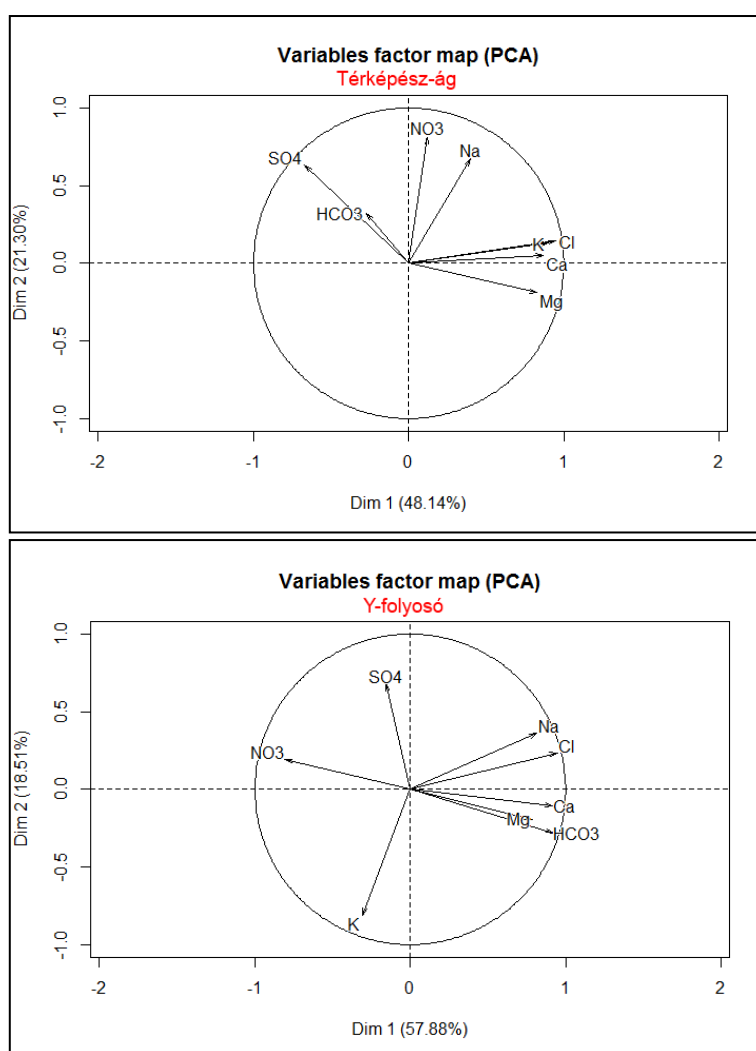
5. ábra: A két mérőponton vett minták vízkémiai fáciese Piper diagramon
 Fig.5: Piper diagrams indicating the facies types of the two sampling points



6. ábra: A két mérőpont ionösszetétele
 Fig. 6: Ionic composition of the drip water

Részletesebben vizsgálva a mérőpontok ionösszetételének alakulását a Térképész-ágnál a kationok közül a nátrium, míg az anionoknál a klorid a domináns, ezek vannak a legnagyobb koncentrációban jelen a mérőpont csepegő vizeiben (6. ábra). Az Y-folyosónál kiegyenlítettebb az ionok koncentrációinak aránya. A kationok közül a kalcium és a magnézium, míg az

anionoknál a szulfát és a hidrogén-karbonát van legnagyobb mennyiségben jelen. Jelentős különbség a két mérőpont között, hogy mind a kationok, mind az anionok esetén lényegesen nagyobb koncentráció-értékekkel találkozunk a Térképész-ágban, ami a vezetőképesség értékek ismeretében érthető is. A magas nátrium és klorid értékek ezen a mérőponton nagyfokú szennyezésre utalnak. Az Y-folyosónál vett minták összetételében a klorid és a nitrát mennyisége mutatja az antropogén hatások jelenlétét (FEHÉR 1995). A többi ion jelenléte és mennyisége feltehetően természetes folyamatok eredménye.



7. ábra: A Térképész-ág és az Y-folyosó főkomponens analízisének eredménye
 Fig.7: 1st and 2nd principal components of the PCA results of the two sampling locations

A két mérőpont beszivárgó vizeinek kémiai összetétele közötti jelentős eltérés miatt a mért adatokon főkomponens analízist végeztünk. Ennek segítségével kíséreljük meg meghatározni azokat a háttértényezőket, folyamatokat, melyek a csepegő vizek összetételét befolyásolják. Az analízis eredményét a 7. ábra szemlélteti. A kördiagramokon azt láthatjuk, hogy az első (vízszintes tengely), és a második (függőleges tengely) főkomponens milyen arányban határozzák meg az egyes paraméterek. Az első főkomponens a Térképész-ág esetében az összes adat varianciájának a 48 %-át, míg a második csak 21 %-át magyarázza. Az Y-folyosónál ezek az értékek 58 %, ill. 19 %. Az alacsony százaléértékek miatt a második főkomponens esetén nem tudunk felelősen nyilatkozni a háttér folyamatokról.

A Térképész-ágban az első főkomponensben a klorid, kálium, kalcium és magnézium, míg az Y-folyosóban a hidrogén-karbonát, kalcium és a klorid a meghatározó paraméterek. Lényeges eltérés a két mérőpont között, hogy míg az Y-folyosóban a természetes karsztos folyamatokra utaló kalcium és hidrogén-karbonát jelentős súllyal vesz részt a főkomponensben, addig a Térképész-ágban ez a két paraméter ellentétes előjellel szerepel, valamint a hidrogén-karbonát súlytényezője jóval alacsonyabb. Az értelmezés szempontjából fontos megjegyezni, hogy a főkomponens analízisben a háttértényezőket próbáljuk azonosítani, esetünkben a természetes, ill. antropogén hatásokat. Ez a vizsgálat a sztochasztikus kapcsolatokon alapul, aminek nincs „hatása” az adott ionok mennyiségi viszonyaira.

Az első főkomponens ionjainak azonosítása alapján arra következtethetünk, hogy a Térképész-ág esetén a csepegő vizek kémiai összetételét elsősorban, alapvetően a szennyeződés alakítja, természetes folyamatok jelentős szerepéről itt nem beszélhetünk. Az Y-folyosó mérőpontján a természetes karsztos folyamatok a jelentősek, emellett kisebb mértékben ki lehet mutatni antropogén hatást is.

Összefoglalás

Beépített, erősen urbanizált felszín alatt húzódó Pál-völgyi-barlangrendszerben két mérőponton vizsgáltuk folyamatos mérésekkel, ill. időszakos vízmintavételekkel a felszínről bejutó vizek minőségének, összetételének változásait. A két mérőpont eltérő mélységben és tektonikai környezetben helyezkedik el, ami alapvető szerepet játszik a beszivárgás minőségében és mennyiségében. A Térképész-ág kisebb mélységben, a Szépvölgy összetördezett zónájának a szélén, míg az Y-folyosó mélyebben, tektonikailag kevésbé zavart, homogénebb kőzet összetételű, lankás hegyláb felszín alatt található. A vezetőképesség és a beszivárgás intenzitása eltérő nagyságú a

két mérőponton. A Térképész-ágban az előbbi 5300-6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ között változik és intenzívebb csepegést tapasztaltunk, mint az Y-folyosó mérőpontján. Ez a pont kevésbé szennyezett, 900-1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vezetőképesség érték és lassabb beszivárgás jellemzi. Nagyobb csapadékeseménynél, ill. hóolvadásnál mindkét helyszínen növekedést tapasztaltunk mind két paraméter esetében, de a változások eltérő mértékűek. A Térképész-ágban nagyobbak voltak a változások, míg a másik helyen kiegyenlítettebbek. Jelentős eltérés figyelhető meg a két mérőponton mind a csepegő vizeinek kémiai összetételének, mind az összetételt alakító háttér folyamatok tekintetében is. A Térképész-ágban a szennyezés dominál, míg az Y-folyosóban a természetes karsztos folyamatokhoz adódik hozzá a kisebb mértékű szennyeződés.

Köszönetnyilvánítás

Munkánkhoz nyújtott segítségükért köszönetünket szeretnénk kifejezni a Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság Barlangüzem vezetőségének, az ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszékének, az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Földrajzi Intézetének, a Bekey Imre Gábor Barlangkutató Csoportnak és a Pagony Barlangkutató Csoportnak.

IRODALOM

- BACK W. (1966): Hydrochemical facies and ground-water flow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain. – U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 498-A, 42.
- BORBÁS E. – FEHÉR K. 2013. Monitoring vizsgálatok a Pál-völgyi-barlangrendszerben. – Karsztfejlődés XVIII, pp. 23-36.
- FEHÉR K. (1995): Vízkémiai vizsgálatok a Szemlő-hegyi-barlangban. – Környezeti Ártalmak és a Légzőrendszer V. Konferenciája, Hévíz. pp.47-52.
- FEHÉR K. (2009): A Rózsadombi-termálkarszt szennyeződés-veszélyeztetettségi vizsgálata. – Diplomamunka, Budapest. ISBN 978-963-06-7311-2.
- FEHÉR K.–KISS K.–KOVÁCS J.–KISS A. (2009): Beszivárgás vizsgálatok a Rózsadombi-termálkarszton. – Karsztfejlődés XIV, pp. 45-55.
- FEHÉR K. (2011): Újabb adatok a budai termálkarszt beszivárgó vizeinek minőségéről. – Karsztfejlődés XVI, pp. 203-221.
- HATVANI I.G. – CLEMENT A. – KOVÁCS J. – SZÉKELY KOVÁCS I. – KORPONAI J. (2014): Assessing water-quality data: the relationship between the water quality amelioration of Lake Balaton and the construction of its mitigation wetland – Journal of Great Lakes Research 40:(1) pp. 115-125.

- KISS K.* (2009): A felszíni szennyezés hatása a barlangi beszivárgó vizekre a Mátyás-hegyi-barlang példáján. – Geográfus Doktoranduszok IX. Országos Konferenciája, Szeged. www.geography.hu
- KISS K.* (2012): Beszivárgó vizek vizsgálata a harcsaszájú-barlangban – Karsztfejlődés XVII, pp. 79-88.
- KOVÁCS J. – MÁRKUS L. – HALUPKA G.* (2004): Dynamic Factor Analysis for Quantifying Aquifer Vulnerability – *Acta Geologica Hungarica* 47(1) pp. 1-17.
- KOVÁCS, J. – TANOS, P. – KORPONAI, J. – KOVÁCSNÉ, S. I. – GONDÁR, K. – GONDÁR-SOREGI, K. – HATVANI, I. G.* (2012): Analysis of Water Quality Data for Scientists. *Water Quality and Water Pollution: Evaluation of Water Quality Data.* – In Tech Open Access Publisher, Rijeka, pp. 65-94.
- MÁDLNÉ SZŐNYI J.–VIRÁG M.–ERŐSS A.* (2007): A Szemlő-hegyi-barlang csepegővizeinek vizsgálata a budai márga törmeléktakarón át történő beszivárgás értékelése céljából. – *Földrajzi Közlemények CXXXI (LV.)* 4. pp.371-388.
- MAGYAR, N. – HATVANI, I. G. – SZÉKELY, I. K. – HERZIG, A. – DINKA, M. – KOVÁCS, J.* (2013): Application of multivariate statistical methods in determining spatial changes in water quality in the Austrian part of Neusiedler See. – *Ecological Engineering*, 55, pp. 82-92.
- MAUCHA L.* (2001): Lakott területek alatt húzódó, fokozottan védett barlangok vizeinek vizsgálata – Jelentés. A Duna-Ipoly Nemzeti Park megbízásából készítette a Magyar Karszt és Barlangkutató Társulat, kézirat: Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság Adattár Budapest. pp. 1-20.
- MARI, L.–FEHÉR, K.* (1999): The impacts of land use change on the Buda thermal karst: a study of Szemlő-hegy cave. – In: BÁRÁNY-KEVEI I.–GUNN, J. (eds.): *Essays in the ecology and conservation of karst.* Spec. Issue of *Acta Geographica Szegediensis*. Szeged. pp. 104–111.
- PIPER AM.* (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. – *Trans Am Geophys Union* 25 pp. 914–923.
- SÁRVÁRY I.–MAUCHA L.–IZÁPY G.* (1992): Vízkémiai, mikrobiológiai és izotóp vizsgálatok, VII. feladat. Beszámoló jelentés. – In: PHARE PROJECT, 134/2. Komplex geológiai vizsgálatok és fúrások a Rózsadomb környezetében. Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium, Budapest.
- SIMEONOV, V. – STRATIS, J. A. – SAMARA, C. – ZACHARIADIS, G. – VOUTSA, D. – ANTHEMIDIS, A. – KOUIMTZIS, T.* (2003): Assessment of the surface water quality in Northern Greece. – *Water research*, 37(17), pp. 4119-4124.
- TAKÁCSNÉ BOLNER, K. – TARDY, J. – NÉMEDI, L.* (1989): Evaluation of the environmental impacts in Budapest's caves on the basis of the study of

the dripping waters. – 10th International Congress of Speleology, UIS pp. 634-639.

VIRÁG M. – MÁDLNÉ SZŐNYI J. – MINDSZENTY A. – ZIHNÉ PERÉNYI K. – LEÉL-ŐSSYSZ. – ERŐSS A. – SIKLÓSY Z. (2009): Az urbanizáció hatása a budai barlangok csepegő vizeire. – *Karsztfejlődés XIV*, pp. 57-82.

VIRÁG M. – MÁDLNÉ SZŐNYI J. – MINDSZENTY A. (2011): Természetes és antropogén hatások a Szemlő-hegyi barlang csepegő vizeiben. *Geotudományok. – A Miskolci Egyetem Közleménye. A sorozat. Bányászat. Miskolc* pp. 387-700.