

NYITNI VAGY NEM NYITNI? – PILISI BARLANGOK SZELLŐZÖTTSÉGE A GEOKÉMIAI ADATOK TÜKRÉBEN

DEMÉNY ATTILA – BERENTÉS ÁGNES – CZUPPON GYÖRGY
– KOVÁCS RICHÁRD – LEÉL-ÓSSY SZABOLCS – SURÁNYI GERGELY

TO OPEN OR NOT TO OPEN? VENTILATION
IN THE PILIS CAVES IN THE LIGHT OF GEOCHEMICAL DATA

Abstract

Speleothem formations are one of the most important and informative objects in paleoclimatological research. However, in order to interpret the data that reflect environmental conditions, we have to know the operation of the given cave, and it should be determined how the composition of the carbonate formed at the given site is related to the changes in the environmental parameters. The study presents the results of stable isotope geochemical analysis of speleothem formations and carbonate precipitated on glass plates collected in the Vacska Cave (Pilis Hills). The youngest layer of carbonate formations, formed in the last 1-2 decades, shows an isotope fractionation sign indicating strong ventilation, with the exception of a single site farthest from the entrance to the cave. The isotope shift was also accompanied by a change in carbonate fabric. Preceding the fabric change, the carbonate of the speleothem formations did not show ventilation-related shifts in the isotope compositions, suggesting that the exploration and opening of the cave areas may have caused the change. Based on this, we recommend the installation of local closures in the Vacska Cave and in the entire Ariadne cave system. The study provides a good example of how the results of basic research can be utilized in practical environmental protection, in the preservation of a strictly protected cave environment.

Keywords: Pilis caves, speleothems, stable isotope geochemistry, ventilation, environmental protection

Bevezetés

A barlangi karbonátképződmények (cseppkövek és lefolyások) kutatása a múltbeli éghajlati és környezeti viszonyok megállapítására jelentős múltra tekint vissza, a SCOPUS adatbázis csaknem 3700 publikációt tart nyilván a „speleothem or stalagmite” keresés alapján. A képződmények előnye, hogy viszonylag pontosan meg lehet határozni a korukat és hogy változatos adathalmazt lehet belőlük kinyerni, ami a klímára és környezeti feltételekre utaló információt hordoz, és amiket proxiknak nevezünk. A két legfontosabb proxifajta a stabilizotóp-összetétel (a szén és az oxigén stabilis izotópjainak aránya, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ és $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), illetve a karbonátba zárt nyomelemek (pl. Mg, P, Sr, U, stb.) koncentrációja. Az érdeklődők kiváló összefoglalást találnak FAIRCHILD és BAKER 2012-ben megjelent könyvében. Általános szabályként kijelenthető, hogy a hazai barlangok cseppköveiben a ^{12}C és a ^{16}O izotópok dúsulása, a foszfor mennyiségének növekedése, és a stroncium és magnézium mennyiségének csökkenése csapadékos és meleg klímaviszonyokra utal, az ellenkező változások pedig szárazabb és hidegebb klímát jeleznek (DEMÉNY et al. 2017a,b; DEMÉNY et al. 2019a; KERN et al. 2019). Ugyanakkor az is általános megfigyelés, hogy ezeket a proxikat a felszínen jellemző klíma- és környezeti feltételek mellett az adott barlangra jellemző lokális folyamatok is jelentősen befolyásolják, esetenként teljesen elfedve a nagyobb régióra jellemző klímajelet. Éppen ezért elsődleges feladat a barlang működésének megértése, annak megállapítása, hogy a karbonátokból kinyert proxy adatok hogyan tükrözik

a környezeti paramétereket. Ezt leggyakrabban monitoringgal, a barlangi környezet fizikokémiai paramétereinek több éven át tartó felvételezésével, és a karbonátképződés mechanizmusának elemzésével tudjuk elérni. A fontosabb vizsgált fizikokémiai paraméterek a barlangi levegő hőmérséklete és CO₂-tartalma, a csepegővíz pH-értéke, stabilizotópos és kémiai összetétele, valamint ezek szezonális változásának elemzése.

Mindemellett fontos szempont a barlangok viselkedésének megértésében, hogy a monitoring leggyakrabban néhány éven keresztül tart, általában egy 4-5 éves projekt első néhány évét jelenti, az évtizedes hosszúságú monitoring munka ritka. Ebből következően a hosszabb távú változásokat ez a tevékenység nem tudja feltárni és az adatokat csak rövid időszakot lefedő meteorológiai adatbázissal lehet összehasonlítani. Ennek áthidalására érdemes a gyűjtéskor is aktívan képződő, és lehetőség szerint ismert képződési idejű (pl. ismert időpontú barlangi feltárás által létrehozott felületen növekvő) cseppköveket gyűjteni (amennyiben lehetséges), illetve lefolyásokat, karbonátos bekérgezéseket magfúrással mintázni. Erre mutatott példát DEMÉNY et al. (2017c) tanulmánya, amiben négy fiatal cseppkővet vizsgáltak a Baradla-barlangból. A vizsgált cseppkövek két helyszínről származtak, gyorsabb és lassabb képződési sebességű is volt köztük, amit későbbi tanulmányok is tudtak hasznosítani (pl. DEMÉNY et al. 2021). 2018-ban újabb kutatás indult a pilis-hegységi Ariadne-barlangrendszer cseppköveinek vizsgálatára, aminek része volt a barlangi monitoring is. Ennek eredményeit egy megjelenés előtt álló könyvfejezet foglalja össze (CZUPPON et al. 2021). A kutatási tevékenység során a monitoring mellett aktív, kisméretű cseppköveket, valamint lefolyásokból vett magmintákat gyűjtöttünk. A kutatás egyik fő kérdése az volt, hogy a jelen monitoring eredményeit mennyiben lehet alkalmazni a cseppkövekben rögzített proxy adatsorok paleoklimatológiai értelmezésében. A vizsgálatok során jelentős változásokat figyeltünk meg a cseppkövek és lefolyások legfiatalabb rétegében, aminek értelmezését és ennek alapján a barlangi környezet védelmére tett javaslatot tartalmazza a jelen munka.

Tudományos háttér

A paleoklimatológiai kutatás céljára olyan cseppköveket keresünk, amelyek egyrészt elegendően nagy koncentrációban tartalmaznak uránt és elenyésző bennük a detritális anyaggal behordott tórium (lásd még SIKLÓSY et al. 2011-es cikkét), ami lehetővé teszi a pontos korhatározást, másrészt egyensúlyi körülmények között kivált kalcitból állnak. Az egyensúlyi körülmény ebben az esetben azt jelenti, hogy a csepegővíz és a kiváló karbonát között dinamikus egyensúly állt fenn, a karbonát elegendően gyorsan vált ki, hogy észlelhető és mintázható éves laminákat tartalmazzon, de elég lassan, hogy az oldattal kialakuljon a dinamikus egyensúly. Ennek ellentéte a kinetikus fracionációval érintett karbonátkiválás, amikor a kiválásakor nem áll fenn dinamikus egyensúly és nem a felszíni környezeti körülményekre utaló vízösszetételek, hanem a kiválás helyére jellemző folyamatok dominálnak a proxyösszetételek kialakulásában. Ilyen helyi folyamat a szellőzőtség miatti erős kigázosodás. Amint a csepegővíz megérkezik a cseppkő felszínére, a szén-dioxid egy része eltávozik, a karbonát oldhatósága lecsökken, és kiválik a karbonát. Ha ez erős szellőzőtség mellett megy végbe, akkor a CO₂ kigázosodása és eltávozása gyors, nem áll be az egyensúly. A gyors gázeltávozás miatt a gyorsabban mozgó könnyű izotópban (¹²C és ¹⁶O) dús molekulák távoznak el, a maradék oldat feldúsul a nehéz izotópokban (¹³C és ¹⁸O) és a kiváló karbonátban együttes ¹³C- és ¹⁸O-dúsulás jelenik meg. Technikai okokból a stabilizotóp-geokémiában nem abszolút izotópkoncentrációkkal vagy izotóparányokkal, hanem nemzetközi sztenderdekhez viszonyított delta értékekkel dolgozunk:

$$\delta^{13}\text{C} = \left[\frac{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{minta}}}{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{sztenderd}}} - 1 \right] \times 1000$$

és

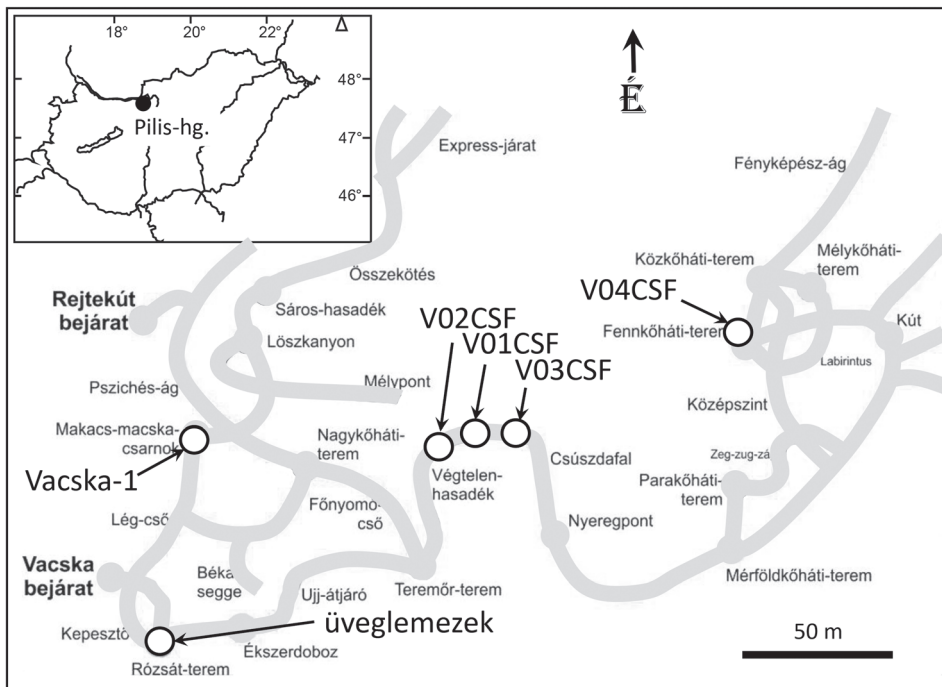
$$\delta^{18}\text{O} = \left[\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{minta}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{sztenderd}}} - 1 \right] \times 1000$$

A sztenderd a karbonátok esetében a V-PDB, a $\delta^{13}\text{C}$ és $\delta^{18}\text{O}$ értékek dimenziója az 1000-rel történő szorzásra utalóan ‰ (tehát nem koncentráció, nem a ‰ tizedrésze). A stabilizotóp-mérések a Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Földtani és Geokémiai Intézetében készültek, a méréstechnikáról további részletek DEMÉNY et al. (2019b) tanulmányában olvashatók.

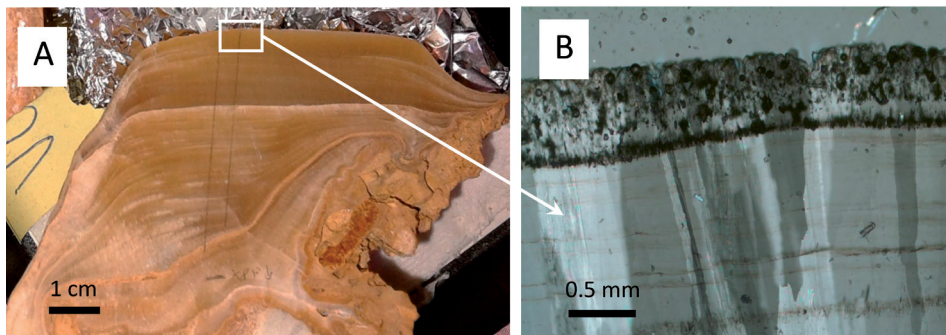
Mindebből következően ha a cseppkőben erős pozitív $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ korrelációt látunk, akkor gyanakodhatunk, hogy az adatok nem a felszíni környezeti körülményeket, hanem a barlang helyi sajátosságait tükrözik. Ugyanakkor ez csak gyanú, mivel megfelelő környezeti körülmények szintén okozhatnak a cseppkőben pozitív $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ korrelációt. Például a száraz és meleg klíma esetén a barlang fölötti talaj biológiai aktivitása csökken, kevesebb ^{12}C -dús biológiai eredetű CO_2 oldódik be, és a delta érték egyenletéből következően ez pozitív $\delta^{13}\text{C}$ -eltolódást eredményez. A meleg klímához a csapadékvízben ^{18}O -dúsulás járul, ami megjelenik a csepegővízben és a belőle kiváló cseppkő összetételében is. Ezekre a problémákra adott megoldást DORALE és LIU (2009) tanulmánya, akik a geokémiai proxy rekordok reprodukálhatóságának vizsgálatát javasolták. Amennyiben több, független rekord (adatsor) is ugyanazt a változást mutatja, a rekordok környezeti proxiként foghatóak fel, míg a nem reprodukálható adatsor valószínűleg helyi folyamatokat tükröz. A következő kérdés az, hogy a helyi folyamatok feltárására végzett monitoring eredményei mennyire függenek az antropogén hatásoktól és a barlangok jelenlegi állapota visszavetíthető-e a múltra?

Módszertani háttér – A vizsgált cseppkövek és egyéb minták

A jelen tanulmányban a pilis-hegységi Vacska-barlangra koncentráltunk. A barlangi kutatási engedélyt a Komárom-Esztergom Megyei Kormányhivatal biztosította. A barlangon belül több helyszínről tudtunk cseppkővet és cseppkőlefolyásokból fúrómagot gyűjteni, valamint egy helyszínen üveglemezeket helyeztünk a csepegési pontok alá. A Makacs-Macska teremből (1. ábra) sikerült gyűjteni egy kb. 3 cm magas, aktívan képződő cseppkővet (Vacska-1, 2. ábra), amit elvágva tiszta kalcit rétegek tárultak fel néhány hiátussal (a növekedés leállítását jelző sötét sáv). A mintából gyorsító tömegspektrométerrel végzett radiokarbon elemzések készültek. A jelen cikk céljába nem tartozik bele a radiokarbon adatok részletes értelmezése, elegendő annyit megjegyezni, hogy a felszíni karbonát valóban modern kARBONT tartalmazott (a mészkőhozzájárulásra nem korrigált pMC érték $97,19 \pm 0,25$), a felszín alatt kb. 2 mm-rel vett minta modellezett kora pedig kb. 50-130 évvel ezelőtti képződésre utal (Molnár Mihály, ATOMKI, nem publikált adatai, 2020). A jelen tanulmány szempontjából érdekes jelenség a legfiatalabb 1 mm-en belül látható, az oszlopos szövetű, tiszta kalcitot hirtelen turbulens, zárványgazdag kalcit váltja fel.



1. ábra A Vacska-barlang vázlatos felépítése a mintavételi helyszínekkel
 Figure 1 Schematic map of the Vacska Cave with sampling sites



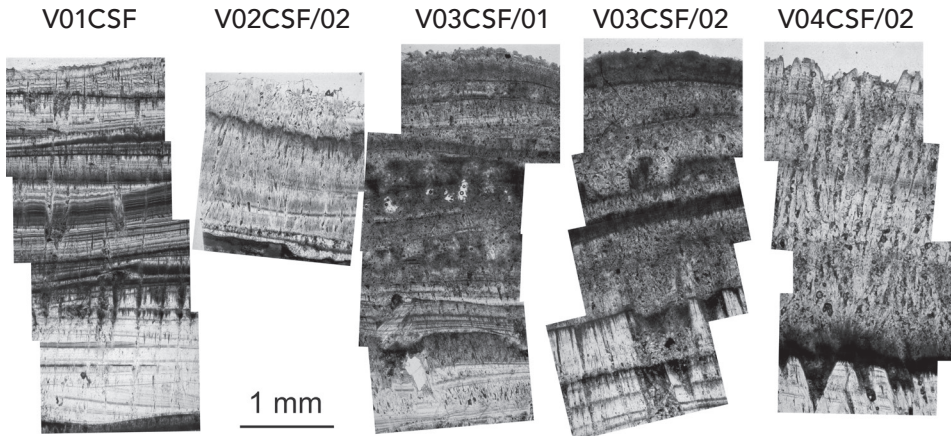
2. ábra A Vacska-1 cseppkő belső felépítése (A) és a legfelső réteg keresztezett nikollal készített optikai mikroszkópos képe (B)

Figure 2 Internal structure of the Vacska-1 stalagmite (A) and the optical microscopic picture of the youngest layer with crossed Nicols (B)

A cseppkő lelőhelyéhez legközelebbi olyan terem, ahol állandó csepegés volt megfigyelhető, a Rózsát-terem (1. ábra) volt, ahol hat ponton helyeztünk ki üveglemezeket a csepegés alá. Az üveglemezeket néhány havonta begyűjtöttük, megmintáztuk a csepegővizet és mértük a fizikai és kémiai paramétereiket. A hat pont közül egy esetében nem volt mérhető mértékű karbonát kiválás az üveglemezen.

A Vacska-barlang belseje felé haladva a Végtelen-hasadék lefolyásaiból (V01CSF, V02CSF, V03CSF, 1. ábra), valamint bejáratától legtávolabbi helyszíneként a Fennkőháti-

terem lefolyásából (V04CSF, 1. ábra) vettünk egy-egy fúrómag-mintát. A minták legfiatalabb 1-2 mm-én belül hiátusok (sötét sávként megjelenő, képződési szüneteket jelző felületek) jelentek meg, de a hiátusos képződés a fúrómagok egészében jellemző volt (3. ábra).



3. ábra A Vacska-barlangban gyűjtött fúrómagok vékonycsiszolatainak optikai mikroszkópos képe.

A „/01” és „/02” jelölés az adott lefolyásból vett fúrómag számát jelöli

Figure 3 Optical microscopic pictures of thin sections of the drill cores collected in the Vacska Cave.

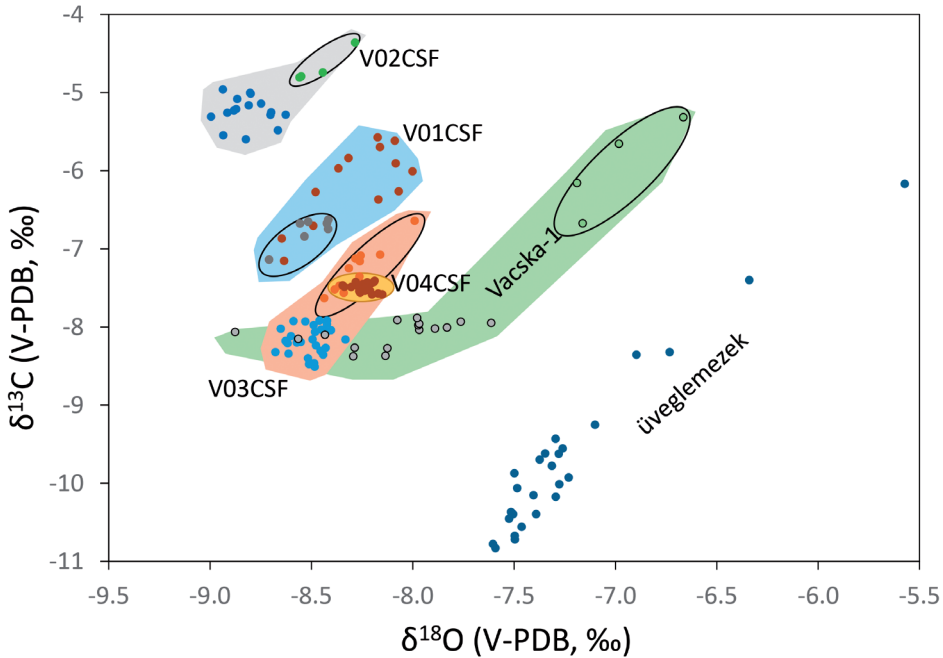
“/01” and “/02” marks the number of drill core collected from the given flowstone

Stabilizotóp-összetételek

A cseppköveken elvégzett eddigi korvizsgálatok arra utalnak, hogy a Vacska-barlangban a cseppkőképződés üteme kb. 0.01-0.05 mm/év volt, így az első kb. 1 mm (kb. 20 elemzés) kb. 20-100 évet reprezentál. Erre való tekintettel mindegyik előfordulás külső 20 elemzését hasonlítottuk össze. Ez alól kivételt az üveglemezek képeztek, itt természetesen az összes üveglemez elemzése szerepel. Az elemzési adatokat a 4. ábrán ábrázoltuk.

A Vacska-1 cseppkő legkülső, turbulens, kb. 0.6 mm vastag rétegének (2.B ábra) összetételei jelentősen eltértek az alatta levő, tiszta kalcit összetételétől és 2,1-es meredekséggel pozitív $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ korrelációt mutatnak, míg az alatta levő tiszta kalcit $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ korrelációjának meredeksége 0.2. A Végtelen-hasadék V01CSF/01 fúrómagjának 20 elemzése általános pozitív $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ korrelációt adott 1,9-es meredekséggel, de a legkülső réteg nem tért el az alatta levőktől. Ennek alapján ez a lefolyás erős kinetikus frakcionáció alatt képződik, nem csak jelenleg, hanem a korábbi időszakokban is. A Végtelen-hasadék két másik mintázott lefolyásából vett három fúrómag mindegyikében a legkülső néhány elemzés eltolódott az alatta levőktől és 1,5-ös (V02CSF/02), illetve 2,1-es meredekségű (V03CSF/01 és 02), pozitív $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ korrelációkat mutat. A bejárattól legtávolabbi vizsgált helyszínen, a Fennkőháti-teremben vett V04CSF/02 fúrómag adatai nem mutatnak korrelációt, a vizsgált kalcit pedig tiszta, oszlopos szerkezetű, ami együttesen egyensúlyi kiválásra utal.

A Rózsát-teremben gyűjtött, üveglemezeken kivált karbonát nagyon erős pozitív $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ korrelációt mutat (4. ábra), amelyen belül a bejárathoz legközelebb eső két pont adatai mutatják a legerősebb eltolódást és kinetikus frakcionációt. Az üveglemezekre számított korreláció meredeksége 2,4, ami csaknem megegyezik a lefolyások és a Vacska-1



4. ábra A Vacska-barlangban gyűjtött Vacska-1 cseppkő, lefolyások és üveglemezeken kivált karbonát stabszén- és oxigénizotóp-összetételei. Az ellipszisek a legkülső elemzéseket mutatják

Figure 4 Stable carbon and oxygen isotope compositions of the Vacska-1 stalagmite, flowstones, and farmed calcites precipitated on glass plates within the Vacska Cave. Ellipses mark the isotope compositions of outermost layers

cseppkő külső rétegére kapott értékekkel. Ez arra utal, hogy a legkülső rétegekben megfigyelt $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ eltolódás és frakcionáció az átszellőzöttség miatt bekövetkező kinetikus frakcionáció hatása.

A megfigyelések következményei és javaslat a barlangi környezet megóvására

A legkülső rétegben $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ eltolódást és korrelációt mutató V02CSF és V03CSF fúrómagok esetében a kinetikusan frakcionált réteg vastagsága kb. 0,15-0,4 mm. A cseppkövek esetében megfigyelt képződési sebességek alapján a lefedett időszak 3-tól 40 évig terjed, ami azt jelzi, hogy az utóbbi néhány évtizedben történhetett olyan változás, ami a kinetikus frakcionáció felerősödéséhez és esetenként a karbonátképződmény szövetének változásához is vezetett. A fentiek alapján a Vacska-barlang bejáratához közeli, sőt a még nem túl távoli helyszínek monitorozási adatai sem alkalmazhatóak a múltbeli összetételek értelmezéséhez. A kinetikus frakcionáció felerősödése a fokozott szellőzöttségnek tulajdonítható, ami feltételezhetően a barlangi járatok 2008-2010 során bekövetkezett összevitathoz kapcsolható.

Legtöbb barlangunk esetében egy mesterséges vagy természetes bejárat-kijárat van (budai-pilisi példákat tekintve ilyen jelenleg pl. a Ferenc-hegyi-, a József-hegyi, vagy a Sátorkőpusztai-barlang). Mégis, dacára a légáramlás évszakonkénti irányváltozásának, ezekben a barlangokban mindig jó és viszonylag alacsony széndioxid-tartalmú a levegő, tehát

aktív légcseréjük van a fötte és a fölötté lévő közetréteg apró, az ember számára láthatatlan repedésein keresztül (LEÉL-ÓSSY – STIEBER 2015). Amíg nem készült mesterségesen az ember számára is járható méretű bejárat, csak gyenge légáramlás lehetett az eredetileg zárt rendszerként működő barlangokban. Minél nagyobb a barlangi és a külső levegő hőmérséklete között a különbség, és minél nagyobb a barlang légtere, annál nagyobb, erősebb lesz a légáramlás (LEÉL-ÓSSY 2017). A mesterséges megnyitás tehát mindenképpen beavatkozás a barlang életébe. A mesterséges bejáratokat ezért a barlang szempontjából is érdemes mindig zárva tartani.

További változásokat eredményezhet a légáramlásban több barlang „összekapcsolása”, a köztük lévő eltömődések kibontása esetén (l. az előző fejezeteket). Elég a négy nagyobb (egyenként is több km-es) és számos kisebb barlang „összenyitásával” létrejött Pál-völgyi-barlangrendszerre utalnunk. Itt a 2001-es feltárás után a Pál-völgyi- és a Mátyás-hegyi-barlang közti átjárót a barlangon belül is lezárták. De ez a helyzet pl. a Postojnai-barlang esetében is, ahol több ajtót is beépítettek a különböző, eredetileg különálló barlangok közötti mesterséges tárókba, amint azt a Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat 2018-as, a Postojnai-barlang csaknem valamennyi részét bejáró nyári tanulmányútján Leél-Óssy Szabolcs személyesen tapasztalta.

Mint a jelen tanulmány eredményeiből is látható, a szellőzőtség nem csak a barlangi levegő tisztaságát és széndioxid-tartalmát érinti, de befolyásolja a cseppkőképződés mechanizmusát is. Amennyiben tehát a barlangi környezet és a cseppkőképződés természetes állapotát kívánjuk fenntartani, a járatrészek közé ismét lezárásokat vagy szűkítéseket kellene telepíteni, ami a szellőzőtséget csökkenti. Az emberi behatás nélküli környezeti állapot megóvása, illetve a feltárásokat és munkálatokat követően az eredeti környezet visszaállítása a barlangi környezetvédelem egyik fontos feladata. A jelen tanulmány a további paleoklimatológiai kutatás szempontjai mellett az illetékes Nemzeti Parkok figyelmét is felhívja a barlangrendszerek összenyitásának eddig fel nem ismert következményére, a cseppkőképződés mechanizmusának megváltozására.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány elkészítése az Eötvös Loránd Kutatási Hálózat által finanszírozott NANOMIN projekt (KEP-1/2020) keretén belül történt.

DEMÉNY ATTILA

ELKH CSFK Földtani és Geokémiai Intézet, Budapest
demeny.attila@csfk.org

BERENTÉS ÁGNES

ELKH CSFK Földtani és Geokémiai Intézet, Budapest
kaguar06@gmail.com

CZUPPON GYÖRGY

ELKH CSFK Földtani és Geokémiai Intézet, Budapest
czuppon.gyorgy@csfk.org

KOVÁCS RICHÁRD

Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság, Budapest
ricsi1975@gmail.com

LEÉL-ŐSSY SZABOLCS
ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Budapest
leel-ossy.szabolcs@ttk.elte.hu

SURÁNYI GERGELY
MTA–ELTE Geológiai, Geofizikai és Űrtudományi Kutatócsoport, Budapest
ELKH Atommagkutató Intézet, Debrecen
surda007@gmail.com

IRODALOM

- CZUPPON GY.–DEMÉNY A.–LEÉL-ŐSSY SZ.–STIEBER J.–ÓVÁRI M.–DOBOSY P.–BERENTÉS Á.–KOVÁCS R. 2021: Monitoring and geochemical investigations of caves in Hungary: implications for climatological, hydrological and speleothem formation processes. Springer (in press)
- DEMÉNY A. 2017a: Cseppkövek és klímakutatás: nanométereiktől a kontinentális léptékig. – Magyar Tudomány, 178, pp. 1247–1261.
- DEMÉNY A.–KERN Z.–CZUPPON GY.–NÉMETH A.–LEÉL-ŐSSY SZ.–SIKLÓSY Z.–LIN K.–HSUN-MING H.–SHEN CH-CH.–VENNEMANN T.W.–HASZPRA L. 2017b: Stable isotope compositions of speleothems from the last interglacial – Spatial patterns of climate fluctuations in Europe. – Quaternary Science Reviews, 161, pp. 68–80.
- DEMÉNY A.–NÉMETH A.–KERN Z.–CZUPPON GY.–MOLNÁR M.–LEÉL-ŐSSY SZ.–ÓVÁRI M.–STIEBER J. 2017c: Recently forming stalagmites from the Baradla Cave and their suitability assessment for climate-proxy relationships. – Central European Geology, 60, pp. 1–34.
- DEMÉNY A.–KERN Z.–CZUPPON GY.–NÉMETH A.–SCHÖLL-BARNA G.–SIKLÓSY Z.–LEÉL-ŐSSY SZ.–COOK G. –SERLEGI G.–BAJNÓCZI B.–SÜMEGI P.–KIRÁLY Á.–KISS V.–KULCSÁR G.–BONDÁR M. 2019a: Middle Bronze Age humidity and temperature variations, and societal changes in East-Central Europe. – Quaternary International, 504, pp. 80–95.
- DEMÉNY A.–KERN Z.–NÉMETH A.–FRISIA S.–HATVANI I.G.–CZUPPON GY.–LEÉL-ŐSSY SZ.–MOLNÁR M.–ÓVÁRI M.–SURÁNYI G.–GILLI A.–WU CH.-CH.–SHEN CH.-CH. 2019b: North Atlantic influences on climate conditions in East-Central Europe in the late Holocene reflected by flowstone compositions. – Quaternary International 512, pp. 99–112.
- DEMÉNY A.–RINYU L.–NÉMETH A.–CZUPPON GY.–ENYEDI N.–MAKK J.–LEÉL-ŐSSY SZ.–KESJÁR D.–KOVÁCS I. 2021: Bacterial and abiogenic carbonates formed in caves – no vital effect on clumped isotope compositions. – PLoS ONE 16(1): e0245621.
- DORALE J.A.–LIU Z. 2009: Limitations of Hندی test criteria in judging the paleoclimatic suitability of speleothems and the need for replication. – J. Caves Karst Stud., 71, pp. 73–80.
- FAIRCHILD I.J.–BAKER A. 2012: Speleothem Science: From Process to Past Environments. Wiley-Blackwell.
- KERN Z.–DEMÉNY A.–PERSOIU A.–HATVANI I.G. 2019: Speleothem Records from the Eastern Part of Europe and Turkey – Discussion on Stable Oxygen and Carbon Isotopes. – Quaternary 2, Paper: 31.
- LEÉL-ŐSSY SZ. 2017: Caves of Buda Thermal Karst – In: KLIMCHOUK, A., N.–PALMER, A.–DE WAELE, J.–AULER, A.S.–AUDRA, P. (eds.): Hypogene Karst Regions and Caves of the World). – Springer, Cham, Switzerland, pp. 279–298.
- LEÉL-ŐSSY SZ.–STIEBER J. 2015: Különös szén-dioxid szintek a Béke-barlangban. – Karsztfelődés, XIX, pp. 225–230.
- SIKLÓSY Z.–DEMÉNY A.–LEÉL-ŐSSY SZ.–SZENTHE I.–LAURITZEN S.E.–SHEN CH.-CH. 2011: A cseppkövek kormeghatározása és azok paleoklimatológiai jelentősége. – Földtani Közöny 141, pp. 73–87.