KARSZTFEJLŐDÉS XII.
Szombathely, 2007. pp. 267-278.

IZOTÓPANALITIKAI VIZSGÁLATOK A BARADLA-BARLANG CSEPPKÖVEIRŐL CSEPEGŐ VIZEKEN

MOLNÁR MIHÁLY[1]-DEZSŐ ZOLTÁN[2]-
FUTÓ ISTVÁN[1]-RINYU LÁSZLÓ[1]-SVINGOR ÉVA[1]

[1]MTA Atommagkutató Intézete, Környezetanalitikai Laboratórium
Debrecen, Bem tér 18/c, 4026 mmol@atomki.hu
[2]Debreceni Egyetem TTK- MTA ATOMKI Környezetfizikai Tanszék
Debrecen, Bem tér 18/c, 4026

Abstract: Radiocarbon content of four young stalagmites from the Baradla cave (Aggtelek, Hungary) has been recently measured. One of our results implied that the simple formalism used to quantify ^{14}C in dripstones in the literature may give unrealistic results in those cases when the residence time of water is long in the karst system. In order to better understand the processes acting on the carbon isotope budget of caves, detailed investigations on the isotopic composition of drip waters and cave air has been started. In this paper the first results obtained for water and air samples collected in Dec. 2006/Jan. 2007 are presented. Drip water samples were studied for ^{3}H, δD, $\delta^{18}O$, $\delta^{13}C$ and ^{14}C using a Finnigan Delta XP^{plus} mass spectrometer and gas proportional beta counting. Cave air CO_2 was sampled by alkaline extraction and processed to high purity carbon dioxide gas for $\delta^{13}C$ and ^{14}C measurements using the instrumentation above.The tritium concentration in drip water was small (< 7.2 TU) in the period investigated. The δD and $\delta^{18}O$ values obtained showed evidence for the slow evaporation of water within the reservoir above the cave around the end of a very dry winter season. The carbonate concentration of water has doubled during January, and showed elevated $\delta^{13}C$ values as well, meaning that the fraction of carbon of bedrock origin increased. Possibly it is a result of longer contact time within the crack system. In contrast, ^{14}C values were only half of those obtained for young stalagmites.

Bevezetés

Karsztrendszerekben a vízből kiváló karbonátok széntartalmának csak egy része származik a légkörből, illetve a beszivárgás helyén a talaj felső rétegének talajgázából beoldott modern széndioxidból. A karsztvíz, melyből kiválik a karbonátos kőzet, a karsztrendszeren áthaladva a modern CO_2 mellé beoldhat kisebb-nagyobb mennyiségben karbonátot az idős mészkő alapkőzetből is, mely mérhető mennyiségű ^{14}C-et nem tartalmaz, azaz szene inaktívnak tekinthető (*dead carbon*). A karbonátos kiválások inaktív mészkő beoldódása miatti százalékos inaktívszén-tartalmát, a ***dcp***-t (*dead carbon percent*) a következő formula szerint adják meg:

$$dcp = \left(1 - \frac{a^{14}C_{csk}}{a^{14}C_{lev}}\right) \cdot 100 \ \%,$$

ahol $a^{14}C_{csk}$ a cseppkő karbonátjának fajlagos radiokarbon aktivitása, az $a^{14}C_{lev}$ pedig a légköri modern széndioxid fajlagos radiokarbon aktivitása a cseppkőkiválás idején (*MOLNÁR et al*. 2004).

A nemzetközi példákhoz hasonlóan egy magyarországi cseppkő-barlang esetében is megmértük a jelenkori inaktívszén-tartalmat ^{14}C-módszerrel (*MOLNÁR et al*. 2006). A méréshez fiatal, ismert korú cseppköveket gyűjtöttünk a Bardala-barlangban 4 olyan helyről, ahol nemrégen beépített műtárgyak találhatók, s ezeken már megindult a képződmények fejlődése. A vizsgált, vélhetően azonos korú cseppkőminták közül háromra hibahatáron belül azonos dcp értéket, 5-7 %-ot kaptunk. Ezek az alacsony értékek a viszonylag vékony felső kőzetréteggel, illetve a gyors beszivárgási sebességekkel magyarázhatók. Több hasonló érték ismert a szakirodalomból is. A negyedik, igen alacsony érték (~3%) felhívta a figyelmet az alkalmazott módszer szerinti dcp-számítás gyenge pontjára: ha a légköri ^{14}C-tartalom a vizsgált időszakban jelentősen változik, továbbá karbonátot szállító víz beszivárgása a barlangba lassú, akkor a cseppkő kiválása idején uralkodó légköri ^{14}C-tartalomra vonatkoztatott dcp-számítás nem ad reális eredményt.

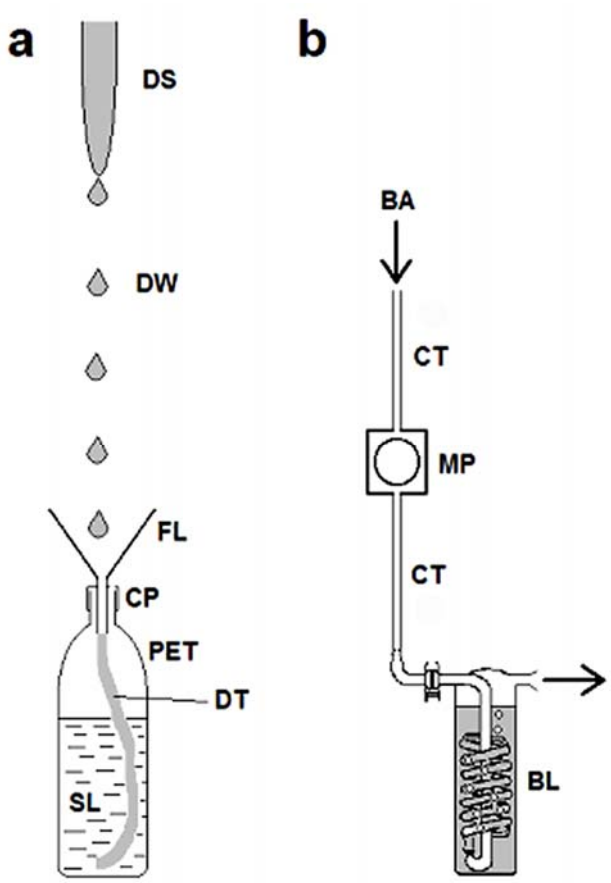
Fenti körülmények tisztázása érdekében 2006 végén és 2007 elején a barlangban, a cseppkőminták mintavételi helyeinek környékén kiterjedt, komplex izotópanalitikai vizsgálatokat kezdtünk a karsztrendszer szén-dinamikájának, illetve izotóphidrológiai viszonyainak megismerése céljából. E munkában a csepegő vizek és a barlang légterének szénizotóp összetételét vizsgáltuk, kiegészítve a csepegő vizek trícium és stabil hidrogén- és oxigénizotóp-összetételének vizsgálataival.

Mintavétel

A vizsgált időszakban két alkalommal, 2006. december végén és 2007. január végén gyűjtöttünk mintákat izotópanalitikai vizsgálatokra a Baradla-barlangból.

A csepegő vizek ^{3}H, δD és $\delta^{18}O$ vizsgálataihoz tiszta vízmintákat gyűjtöttünk be - közvetlenül az alácseppenő vízből - 50 ml-es műanyag küvettákba, olyanokba melyek a mintavételt követően kupakkal jól lezárhatóak voltak és anyaguknál fogva nem zavarták a mérést. A szénizotóp vizsgálatokhoz egyedi mintavételt fejlesztettünk ki, mivel a csepegő víz oldott karbonát-tartalma a mintavétel várhatóan hosszú ideje (~napok) alatt megváltozhat, vagy légköri eredetű szénnel keveredhet, szennyeződhet. E nemkívánatos folyamatok elkerülése érdekében zárt, vagy legalábbis igen rosszul szellőző mintavételi elrendezést alkalmaztunk

(*1.a. ábra*). Ehhez olcsó, könnyen beszerezhető, de kupakkal jól zárható műanyag edényt (PET) használtunk. A PET palack kupakját (CP) átfúrva, szorosan beleerősítettük a cseppek felfogására használt műanyag tölcsért (FL), melynek szárára műanyag csövet húztunk (DT) a lefolyó víz palack aljára történő vezetésére.



1. ábra: Mintavételi elrendezések a cseppkövekről csepegő víz (a) és a barlangi levegő (b) szén-izotóp méréseihez. Jelmagyarázat: DS. cseppkő, DW. csepegő víz, FL. tölcsér, CP. kupak, PET. PET palack, DT. műanyag cső, SL. lúgosított minta, BA. barlangi levegő, CT. cső, MP. membrán szivattyú, BL. 500 ml 3M NaOH-ot tartalmazó átbuborékoltató csapda

Fig. 1: Sampling methods applied in carbon isotope measurements of dripping waters and cave air. Legend: DS. dripstone, DW. dripping water, FL. funnel, CP. cap, PET. PET bottle, DT. plastic tube, SL. alkalinized sample, BA. cave air, CT. tube, MP. membrane pump, BL. bubbler with 500 ml 3M NaOH solution

A palackokba közvetlenül a mintavétel megkezdése előtt ~50 ml 3M NaOH-oldatot öntöttünk, mely a cseppkövekről (DS) alácseppenő vízben (DW) oldott karbonátok oldatban tartását biztosította. Így a tölcsér végére húzott cső már a mintavétel kezdetén is oldatba (SL) merült, tehát ebből az

irányból a palack szellőzése gátolva volt, de a lecsepegő víz le tudott folyni a palackba. A palack kupakjába, a tölcsér mellé egy kb. 1 mm átmérőjű lyukat fúrtunk; ezen át a külső és belső nyomás kiegyenlítődhetett, de csak minimális légcsere valósulhatott meg a környezettel. A mintavétel végén a tölcsérrel szerelt kupakot sértetlen, jól záró kupakra cseréltük és így szállítottuk a mintát a laboratóriumba. A tölcsérrel szerelt kupakok mosást követően használhatóak voltak újabb minta vételére.

A barlangi levegő széndioxidjának vizsgálatához a légköri CO_2-mintázásoknál már rutinszerűen használt átbuborékoltató mintavevőt használtuk (*1.b. ábra,* SVETLÍK et al. 2006). A membrán pumpa (MP) egy csövön keresztül (CT) ~ 30 dm^3/óra sebességgel nyomta át a barlangi levegőt (BA) az 500 ml 3M NaOH-oldattal feltöltött spirális kialakítású átbuborékolós csapdán (BL), amely a levegő széndioxidját elnyelte.

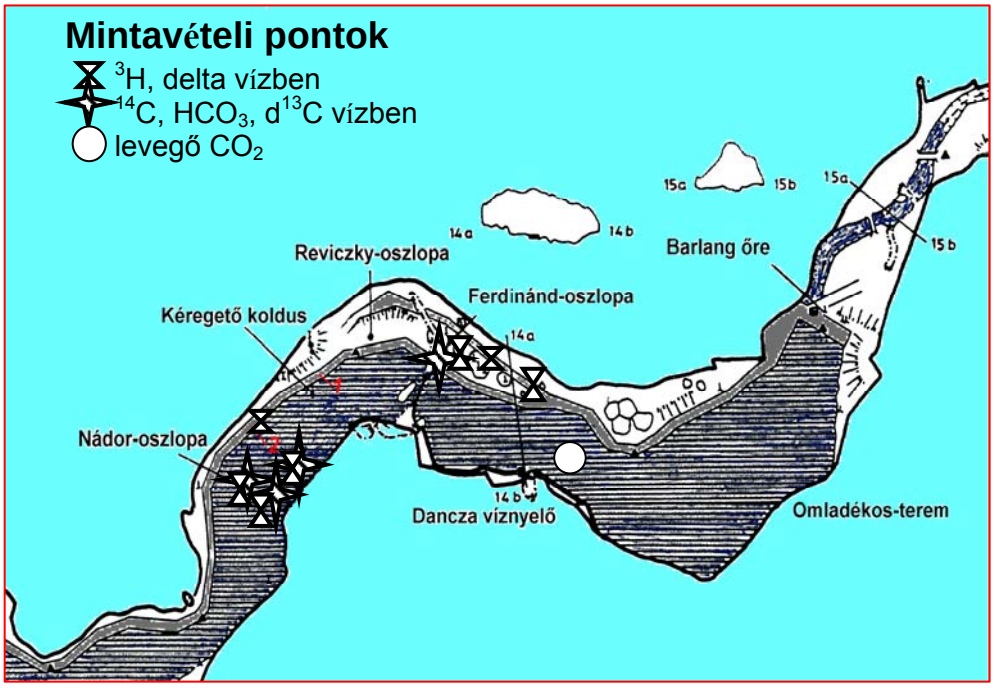
A cseppkövek *dcp*-értékeivel (*MOLNÁR et al.* 2006) való korrekt összehasonlíthatóság érdekében a csepegő vizek gyűjtésére igyekeztünk a barlang ugyanazon szakaszain, tehát egyrészt a Nádor-oszlopa környékén, másrészt a Teknősbéka-teremben alkalmas helyeket kijelölni. Az aszályos ősz miatt 2006/2007 év fordulóján a barlang aggteleki oldala igen száraz volt, a csepegés intenzitása méréseink alapján 1-100 µl/perc között alakult. Mivel a δD, $\delta^{18}O$ és a ^3H méréséhez 10-15 ml víz már elegendő, így ilyen célra - egy átfogó kép kialakításához - minél több mintavételt terveztünk. Ugyanakkor a megbízható ^{14}C-mérés 0.5-1 liter CO_2-gázt igényel, amihez jelentős mennyiségű (több liter) vizet kell összegyűjteni. Ennek realizálása az adott körülmények mellett csak 1-2 helyről látszott megvalósíthatónak az egy-egy alkalom során rendelkezésre álló 1-2 nap alatt.

A Nádor-oszlop és Omladékos-terem közötti szakaszon a mintavételi helyek két csoportba rendezhetők. Az elsőbe soroljuk a Nádor-oszlophoz közel esőket, melyek közül négy egymástól néhány méter távolságra a Styx-patak medrében, ill. közvetlenül az oszlop mögött, a patak partján voltak. Ez utóbbi helyen radiokarbon-méréshez is vettünk vizet. Ide tartozik még a 2004. évi cseppkő-mintavétel helyétől 1-2 m-re eső, a járdán kijelölt mintavételi hely. A második csoportot a Ferdinánd-oszlop közvetlen környékén talált 3 csepegési hely alkotja. Itt, közvetlenül a képződmény DK-i oldalánál a csepegés intenzitása mindig meghaladta az 1 ml/perc-et, így a ^{14}C-méréshez is elegendő volt a begyűjtött víz. További mintavételi helyeket jelentettek az oszlop mögött található elektromos elosztóhoz az Omladékos-terem felől felvezető járdára csepegő vizek.

Ez utóbbiak közelében, a Csónakázó-tó középvonala mentén telepítettük a barlangi levegő mintázására szolgáló berendezést, mellyel

január végén 46 órán keresztül gyűjtöttük a levegő CO_2-tartalmát. Az itt felsorolt mintavételi helyek barlangi elhelyezkedését a *2. ábrán* mutatjuk be.

A Teknősbéka-teremben az elektromos elosztótól kb. 10 m-re vettük annak idején a 3. cseppkőmintát. Most, közvetlenül az elosztó mellett voltak ugyan csepegő vizek gyűjtésére alkalmas helyek, azonban a hozam igen alacsony volt (15-40 µl/perc), ezért itt csak 1-1 mintát tudtunk gyűjteni. A barlangi levegőből történő közel 2 napos CO_2 mintavételre szintén ezen a helyen kerítettünk sort.



2. ábra: Csepegő víz és levegő mintavételi helyek a Baradla-barlang Omladékos-terem előtti szakaszán.
Fig. 2: Location of drip water and cave air sampling points in the Baradla cave.

Előkészítés és mérés

A barlangban vett minták izotópanalitikai vizsgálatait az MTA ATOMKI Környezetanalitikai Laboratóriumában végeztük. A δD és $\delta^{18}O$ mérésekhez a vízmintákat minden további előkészítés nélkül használtuk fel. A Finnigan Delta XP^{plus} típusú stabilizotóp tömegspektrométer katalitikus minta-előkészítő egysége a kezeletlen mintákat használta a mérésekhez. Az eredményeket a nemzetközi VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean

Water) etalonhoz viszonyítva ezrelékben adjuk meg a szokásos delta (δ) jelöléssel:

$$\delta D \text{ vagy } \delta^{18}O = \frac{R_{minta} - R_{standard}}{R_{standard}} * 1000\ [‰],$$

ahol R_{minta} és $R_{standard}$ a minta és a standard $^{18}O/^{16}O$, ill. $^{2}H/^{1}H$ (D/H) aránya.

A minták trícium aktivitását folyadékszcintillációs méréstechnikával (LSC) határoztuk meg. A kioltás csökkentése érdekében az LSC mérések előtt a mintákat átdesztilláltuk. A 10-10 ml vízmintát alacsony diffúziójú PE küvettában 10-10 ml Ultima Gold LLT szcintillációs koktéllal elkeverve mértük Quantulus 1220 típusú (Perkin Elmer) folyadékszcintillációs spektrométerrel. Mintánként 1000 perc mérési idő mellett a kimutatási határ 7.2 TU volt (*tritium unit*, 1 TU = 0.1183 Bq/l).

A ^{14}C és ^{13}C minták szenének kémiai formája a csepegő vizek és a barlang levegőjének mintázása esetén is lúgban oldott hidrokarbonát. E minták előkészítése nagytisztaságú széndioxid gáz előállítását jelenti. Ez a folyamat kénsav 40 %-os vizes oldatával történő karbonát-feltárás az erre a célra kialakított feltáró rendszerben. A keletkezett tiszta CO_2-gáz kis részletéből (1-2 cm^3) további előkezelés nélkül mérhető a $\delta^{13}C$ értéke a fenti stabilizotóp tömegspektrométerrel. A gáz fő mennyiségét a radiokarbon-mérésre használtuk fel, melyet gáztöltésű proporcionális béta-számlálásos technikával végeztünk (*HERTELENDI* 1990). Mivel a környezeti minták radiokarbon aktivitása nagyon kicsi, ezért nem abszolút értékben, hanem egy standardhoz viszonyítva szokás megadni azt. A nemzetközileg elfogadott referencia érték a radiokarbon koradatokhoz az NBS oxálsav standard 1950. évi ^{14}C aktivitásának 95 %-a ($\delta^{13}C$ = -19 ‰ PDB értékre normalizálva). Geológiai minták esetén a radiokarbon kor helyett a minta aktivitásának (A_S) a nemzetközi standard aktivitására vonatkozó százalékos értékét, a *percent Modern*-t (*pMC*) szokás megadni.

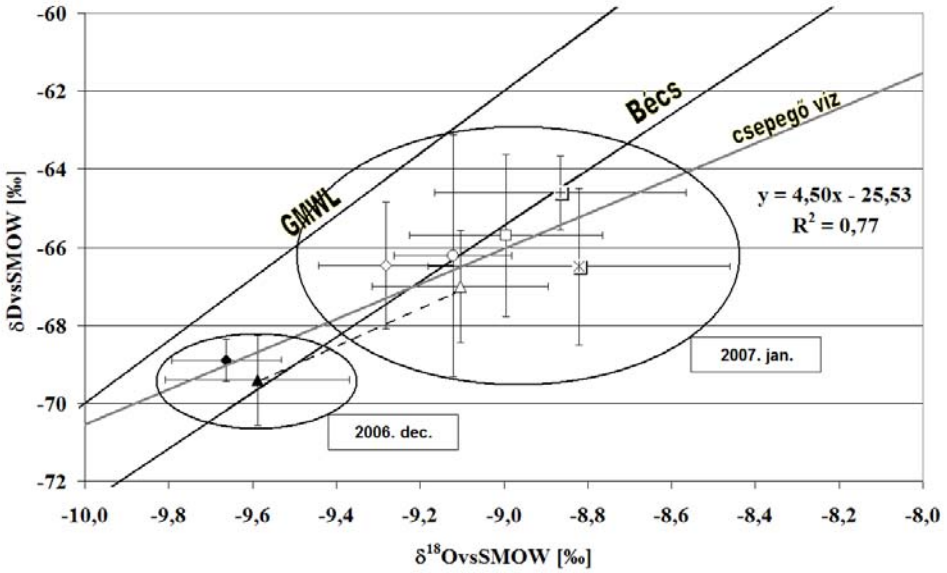
$$pMC = \frac{A_S}{A_{ABS}} * 100$$

Eredmények és értékelés

A csepegő vizek trícium tartalmának mérési eredményei azt mutatják, hogy alacsony ^{3}H-tartalmú vizek (< 7.2 TU) szivárognak be a barlangba, csak a Nádor-oszlop közelében volt az adott módszerrel mérhető trícium tartalom a vízben (11.3 ± 3.4 TU). Fentiek alapján megállapítható, hogy a múlt

évszázad (légköri termonukleáris robbantások miatti) magas trícium tartalmú csapadékai (1963-1983) a barlangba csepegő vízben ma már csak elenyészően kis hányadban lehetnek jelen. A 7.2 TU alatti csepegővíz trícium koncentrációk az átlagos magyarországi csapadékvizekre jellemző értéknél (~10 TU) (*PALCSU* 2003, *PALCSU et al.* 2004) kissé alacsonyabbak. Vélhetően az átlagos tartózkodási idő a barlang feletti víztartóra nem egy-két év, hanem annál vagy hosszabb, vagy jóval rövidebb idő, ugyanis a trícium bomlását jellemző 12.34 éves felezési idő miatt csak a hosszabb tartózkodás okozhat ilyen mérvű koncentráció-csökkenést, vagy a szezonálisan a téli csapadékokban jelentkező alacsony trícium tartalom ilyen alacsony érték. Ez utóbbi esetben viszont a december-januárban begyűjtött vizek az elmúlt pár téli hónapból származnak, nem régebbről.

A 2006. december végén és 2007. január végén gyűjtött csepegő vizek δD és $\delta^{18}O$ értékeit a *3. ábra* mutatja. Szembetűnő különbség a december végi (fekete szimbólumok) és az egy hónappal későbbi (fehér szimbólumok) vizek adatai között, hogy ez utóbbiak delta értékei mind deutériumban, mind ^{18}O-ban szegényebbek, mint a korábbiak. Az összes adatra



3. ábra: A csepegő vizek δD és $\delta^{18}O$ értékei a két mintavétel idején. (GMW. Global Meteoric Water Line, Bécs: bécsi csapadékvonal)

Fig. 3: δD and $\delta^{18}O$ values of the dripping water in the two sampling periods. (GMWL. Global Meteoric Water Line, Bécs: Wien Meteoric Water Line, csepegő víz: linear fit to measured data)

pontra illesztett egyenes meredeksége 4,5, ami kisebb, mint a globálisan a földi csapadékokra jellemző egyenesé (GMWL vonal a *3. ábrán*, Global Meteoric Water Line), vagy a Magyarországra jellemzőbb bécsi helyi csapadékvonal dőlése (Bécs vonal a *3. ábrán*). Egyazon mintavételi ponton (a Ferdinánd-oszlop közelében) a decemberi (▲ a *3. ábrán*), majd az 1 hónap múlva ismételt mintavételre kapott adatokat (Δ a *3. ábrán*) összekötő vonal (szaggatott vonal a *3. ábrán*) szintén ezt a kisebb dőlésszöget jelöli ki. A jelenség egy lehetséges magyarázata lehet, hogy a mintavételek egy több hónapos, igen száraz időszak után történtek, s ezidő alatt sem volt számottevő csapadék a körzetben, így a delta értékekben tapasztalt változás a víz bepárlódásának következménye, ugyanis párolgás során a δD és $\delta^{18}O$ értékek a párolgási vonal, egy közelítőleg 4-es meredekségű egyenes mentén mozdulnak el. A δ-értékek változása tehát arra utal, hogy friss csapadék-utánpótlás nélkül a barlang feletti víztartókban tárolt víz lassan kissé bepárlódott.

I. táblázat
Table I.

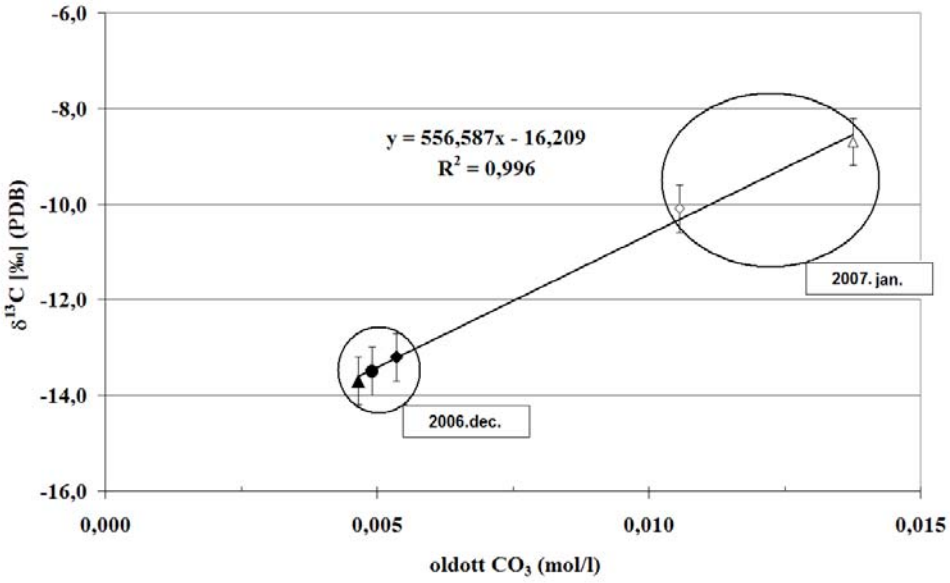
A minták szén-tartalom, ^{14}C és $\delta^{13}C$ mérésének eredményei.
^{14}C and $\delta^{13}C$ results and carbon content of measured samples.

Mért mennyiség	*Teknősbéka-terem*		*Nádor-oszlop*		*Ferdinánd-oszlop*	
mintavétel időpontja	*2006.12.28.*	*2007.01.26.*	*2006.12.28.*	*2007.01.26.*	*2006.12.28.*	*2007.01.26.*
CO_3 vízben (mmol/l)	4.9		5.4	10.6	4.7	13.8
CO_3 $\delta^{13}C$ (‰) (PDB)	-13.5		-13.2	-10.1	-13.7	-8.7
CO_3 ^{14}C tart. (pMC)				63.9 ± 0.2		50.2 ± 0.3
CO_2 levegőben (ppm)		570				1980
CO_2 $\delta^{13}C$ (‰) (PDB)		-15.1				-21.0
CO_2 ^{14}C tart. (pMC)		98.2 ± 0.2				90.2 ± 0.3

A csepegő vizek és a barlangi levegő $\delta^{13}C$ stabilizotóp-arány és ^{14}C mérési eredményeit az *I. táblázat* tartalmazza. A mintákból kinyert szén-dioxid mennyisége alapján a vizekre az oldott karbonát koncentrációját, a levegőre pedig a CO_2 koncentrációt is kiszámítottuk.

Látható, hogy a vízben oldott karbonát mennyisége jelentősen megváltozott az egy hónapos eltéréssel vett mintákban. A 2006. decemberi három mérési ponton egymáshoz hasonló oldott karbonát-tartalmakat mértünk, majd egy hónappal később ugyan már csak két pontban tudtunk mérni, de a korábbihoz képest 2-3 szoros mennyiségben volt jelen az oldott karbonát. Ezzel párhuzamosan az oldott karbonát stabilizotóp összetétele is megváltozott. A korábbi időponthoz képest jelentősen pozitívabb (+ 3-5 ‰)

értékeket mértünk január végén. A $\delta^{13}C$-t az oldott karbonát-koncentráció függvényében ábrázolva (*4. ábra*) igen erős korreláció mutatkozik a két mennyiség között (R^2 = 0.996). Az emelkedő karbonát-tartalommal arányosan egyre a nulla felé (pozitív irányba) változó $\delta^{13}C$ egyértelműen a mészkő eredetű karbonát növekvő arányára utal a csepegő vízben, mivel a mészkő $\delta^{13}C$ értéke ~ 0 ‰. A jelenség egyik lehetséges magyarázata az, hogy friss csapadékvíz-utánpótlás hiányában a barlang feletti víztartóban a mészkővel így hosszabban érintkező egyazon víztömegben az oldott mészkő aránya az idővel növekedett.

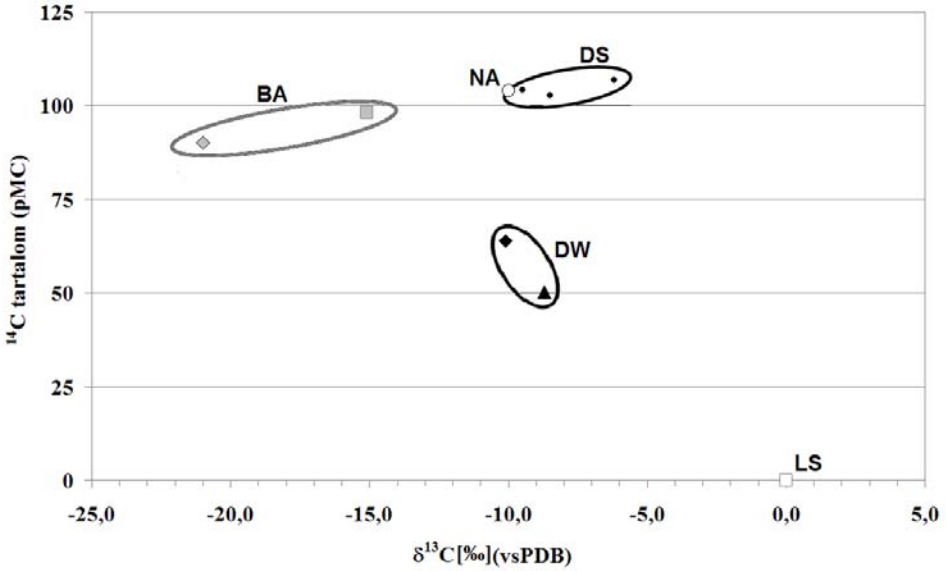


4. ábra: A csepegő vizek karbonát-tartalmának és $\delta^{13}C$ értékének összefüggése.
Fig. 4: Correlation between the carbon content and the $\delta^{13}C$ values of dripping water.

A csepegő vizek karbonátjában mért igen alacsony fajlagos ^{14}C koncentráció értékek (50-60 pMC) igen meglepőek voltak, a 2004-ben fiatal cseppkövekből mért jóval magasabb értékekhez (103-107 pMC) képest (*MOLNÁR et al.* 2006), hiszen a cseppkövek a csepegő vizek oldott karbonátjából válnak ki.

A cseppkőképződés során a csepegő víz hosszasan érintkezik a barlang levegőjével, így a levegőben található széndioxiddal való szén-izotópcsere nem kizárható. A jelenség tisztázása érdekében a barlangi levegő széndioxidjából is vettünk mintát 2007. januárjában a cseppkő és csepegővíz mintavételek eredeti helyszínei közelében. Az *I. táblázatban* feltüntetett mérési eredményekből jól látható, hogy a barlangban a

kijárathoz közelebb (Teknősbéka-terem) közel kétszeres, a kijárattól jóval távolabb pedig több mint ötszörös a CO_2-koncentráció, mint a nyílt természetes területek friss levegőjében (~370 ppm). A barlangi levegőből származó széndioxid minták fajlagos ^{14}C-tartalma viszont alig marad el a természetes légköri CO_2 aktuális értékétől (~104 pMC). Ezért a barlangi levegővel folytatott esetleges izotópcsere nem lehet a csepegő vizekben talált drasztikusan alacsony ^{14}C-tartalom oka. A CO_2-koncentráció értékeket, ^{14}C-tartalmakat és $\delta^{13}C$ adatokat összevetve mindkét mintavételi ponton ugyanaz a széndioxid gáz okozta a többlet CO_2 megjelenését, mely a friss levegőben természetesen megtalálható széndioxidhoz adódva volt jelen, a Teknősbéka-teremben + 200 ppm, a Nádor-oszlopnál + 1610 ppm mennyiségben. Számításaink szerint ennek a gáznak a szénizotóp összetétele ^{14}C-re: ~87 pMC; $\delta^{13}C$ (PDB)-re pedig ~-24 ‰, mely értékek talajgázra, vagy más bomló szerves eredetű anyagra utalnak.



5. ábra: A csepegő vizek (DW), a barlangi levegő (BA), a természetes levegő (NA), a mészkő (LS) és a 2004-ben mért fiatal cseppkövek (DS) szénizotóp összetétele.
Fig. 5: Carbon isotope composition of dripping water (DW), cave air (BA), natural air (NA), limestone (LS), and the young stalagmites measured in 2004 (DS).

A csepegő vizekre és a barlangi levegőre mért szénizotóp összetételt a *5. ábra* mutatja. Az ábrán feltüntettük a 2004. évben fiatal cseppkövekből mért szénizotóp összetételt (DS halmaz, fekete pöttyökkel) és a természetes friss levegő (NA, fehér kör), a barlangi levegő (BA halmaz, szürke jelekkel) és a mészkő (LS, fehér négyzet) szenének izotóp-összetételét is. A csepegő vizek szénizotóp összetétele (DW halmaz, fekete szimbólumokkal) a $\delta^{13}C$

értékek szempontjából közel esik a cseppkövekéhez, de ^{14}C-tartalomra már igen jelentős a különbség: az előbbi csak mintegy fele az utóbbinak.

Az ellentmondásra több lehetséges magyarázat adható (atombomba-effektus, a dcp gyors változása az elmúlt 10 évben, esetleg erős szezonális effektus a dcp-ben), de jelenleg egyik felvetést sem tudjuk teljes mértékben igazolni. A valódi összefüggések pontosabb megismerése érdekében hosszabb időszakot átfogó, ismételt méréseket tervezünk az adott területen.

Összefoglalás

Nemzetközi példákra alapozva a Baradla-barlang fiatal cseppkövei ^{14}C-tartalmának mérése révén meghatároztuk a jelenkori inaktívszén-tartalmat. A kapott nagyon alacsony dcp értékek, illetve egy még ezektől is kisebb adat (~3% dcp!) felhívta a figyelmet az alkalmazott módszer szerinti dcp-számítás gyenge pontjára: ha a légköri ^{14}C-tartalom a vizsgált időszakban jelentősen változik és a karbonátot szállító víz beszivárgása a barlangba lassú, akkor a cseppkő kiválásakor az akkor uralkodó légköri ^{14}C-tartalomra vonatkoztatott dcp- számítás nem ad reális eredményt.

Fenti körülmények tisztázása érdekében 2006 végén a Baradla-barlangban, a cseppkőmintáknál már kiválasztott mintavételi helyeken kiterjedt, komplex izotópanalitikai vizsgálatokat kezdtünk a karsztrendszer szén-dinamikájának és hidrológiai viszonyainak feltérképezése érdekében.

A csepegő vizek ^{3}H-tartalmára nyert eredmények azt mutatták, hogy alacsony tríciumtartalmú vizek (<7.2 TU) szivárognak be a barlangba. E trícium tartalom alapján vélhetően az átlagos tartózkodási idő a barlang feletti víztartóra nem 1-2 év, hanem annál hosszabb vagy jóval rövidebb idő.

A δD és $\delta^{18}O$ értékek segítségével egy igen száraz ősz és tél után azt láttuk, hogy a friss csapadék-utánpótlás nélküli barlang feletti víztartókban lassan kissé bepárlódó vizek találhatóak.

A csepegő víz oldott karbonát-tartalma 100-150 %-kal változott az 1 hónapos eltéréssel vett mintákban. Az ezzel arányosan egyre pozitívabb irányba változó $\delta^{13}C$ értékek egyértelműen a mészkő eredetű karbonát növekvő arányára utaltak a csepegő vízben, ami friss víz-utánpótlás hiányában érthető. A vizek karbonátjában mért igen alacsony fajlagos ^{14}C koncentráció értékek (50-60 pMC) viszont igen meglepőek voltak, a 2004-ben fiatal cseppkövekből mért jóval magasabb értékekhez (103-107 pMC) képest. A barlang levegőjét vizsgálva jelentős CO_2 többletet mutattunk ki, mely a kijárattól távolodva a barlangba befelé nőtt, akár a normál légköri koncentráció 5-szörösét is elérve, de ennek izotóp-összetétele jelentősen különbözött a csepegő vizek szénizotóp-összetételétől, inkább talajgáz vagy

egyéb bomló szervesanyag eredetű. Az 1991-2004 között nőtt cseppkövek és a most mért csepegő vizek szénizotóp-összetételében fennálló ellentmondásra több lehetséges magyarázat adható (atombomba-effektus, a dcp gyors változása az elmúlt 10 évben vagy erős szezonális effektus a dcp-ben), de jelenleg egyik elképzelést sem tudjuk teljes mértékben igazolni. A valódi összefüggések pontosabb megismerése érdekében hosszabb időszakot átfogó, ismételt méréseket tervezünk az adott területen.

IRODALOM

HERTELENDI (1990): Izotópanalitikai célú műszer és módszerfejlesztések és azok alkalmazásainak eredményei, - Kandidátus értekezés, MTA Atommagkutató Intézete, Kézirat, Debrecen.

MOLNÁR M.-DEZSŐ Z.-PALCSU L.-SZÁNTÓ ZS.-FUTÓ I..-SVINGOR É.-RINYU L. (2004): ^{14}C mérés alkalmazása a karsztkutatásban. - Karsztfejlődés IX. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 9-20.

MOLNÁR M.-DEZSŐ Z.-FUTÓ I..-RINYU L.-SVINGOR É. (2006): Fiatal karsztos kőzetek ^{14}C tartalmának mérése és értelmezése. - Karsztfejlődés XI., BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 37- 46.

PALCSU L. (2003): A nemesgáz-tömegspektrometria hidrológiai és atomerőművi alkalmazásai. - Doktori (PhD) Értekezés, Kézirat, Debrecen, Debreceni Egyetem

PALCSU L.-SVINGOR É.-SZÁNTÓ ZS.-MOLNÁR M.-FUTÓ I.-MAJOR Z.-RINYU L. (2004): Isotopic composition of precipitation in Hungary in 2001 and 2002. International Symposium on Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management. Vienna, Austria, 19-23 May, 2004. Proceedings. Vienna, IAEA 360 p.

SVĚTLÍK I.-TOMÁŠKOVÁ L.-MOLNÁR M.-SVINGOR É.-FUTÓ I..-PINTÉR T.-RULÍK P.-MICHÁLEK V. (2006): Monitoring of atmospheric $^{14}CO_2$ in Central European countries - Czechoslovak Journal of Physics 56 (1) p. 291-299