

## FIATAL KARSZTOS KÖZETEK $^{14}\text{C}$ TARTALMÁNAK MÉRÉSE ÉS ÉRTELMEZÉSE

MOLNÁR MIHÁLY<sup>1</sup>-DEZSŐ ZOLTÁN<sup>2</sup>-  
FUTÓ ISTVÁN<sup>1</sup>- RINYU LÁSZLÓ<sup>1</sup>- SVINGOR ÉVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>MTA Atommagkutató Intézete, Környezetanalitikai Laboratórium  
4026 Debrecen, Bem tér 18/c [mmol@atomki.hu](mailto:mmol@atomki.hu)

<sup>2</sup>Debreceni Egyetem - ATOMKI Közös Környezetfizikai Tanszék  
4026 Debrecen, Bem tér 18/c

*Abstract: Radiocarbon content of four different young stalagmites from Baradla cave, Aggtelek (Hungary) was measured in the Laboratory of Environmental Studies at the Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences. Samples were formed on artificial surfaces between 1991 and 2004. Using  $^{14}\text{C}$  data of the young stalagmites and that of the atmospheric  $\text{CO}_2$  in this period, dead carbon portion (dcp) has been calculated for each sample. Typical dcp values were between 5 and 7% for three samples. The outlier fourth result showed that if the dissolved carbonate had to seep through a long way in a karstic system before reaching the cave and in this period the radiocarbon concentration of the atmosphere is significantly changing, then comparison of the  $^{14}\text{C}$  content of a stalagmite and the atmosphere at the time of its formation is not realistic.*

### Bevezetés

A hazai karsztkutatás, különös tekintettel a cseppkövek vizsgálatára ezidáig nemigen használta ki a  $^{14}\text{C}$  módszer adta lehetőségeket, annak ellenére, hogy a mérésekre hazai lehetőség is adott. A cseppkövek légköri eredetű karbonáttartalma lehetőséget biztosít a fejlődési folyamatok radiokarbonos kormeghatározással történő felderítésére. Természetes időfüggő mikro-szerkezetüket a  $^{14}\text{C}$ -es kormeghatározási módszer igen jól felderítheti és elhelyezheti a naptári időskálán. A radiokarbon 5730 éves felezési ideje ideális lehetőséget biztosít akár több tízezer éves léptékű vizsgálatokra is (MOLNÁR *et al.* 2004).

A felső légkörben keletkező radiokarbon gyorsan oxidálódik szén-dioxiddá, és folyamatosan "nyomjelzi" a légköri szén-dioxidot, melynek stabilizálódott fajlagos aktivitása 14,1 bomlás/min/gC (DAMON 1978). A légköri szén beépülésével formálódó képződmények létrejöttékor azok szénének fajlagos radioaktivitása folyamatosan követi az atmoszférikus szén fajlagos radiokarbon aktivitását. Ekkor széntartalmukat radiokarbon tartalom szempontjából modernnek nevezzük.

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 széndioxid mellé beoldhat kisebb-nagyobb mennyiségben karbonátot az idős mészkő alapkőzetből is, mely mérhető mennyiségű  $^{14}\text{C}$ -et nem tartalmaz, azaz szene inaktívnak tekinthető.

A karbonátos kiválások inaktív mészkő beoldódása miatti százalékos inaktívszén-tartalmát, azaz a dcp-jét (dead carbon percent) a következő formula szerint adják meg:

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

ahol  $a^{14}\text{C}_{csk}$  a cseppkő karbonátjának fajlagos radiokarbon aktivitása, az  $a^{14}\text{C}_{lev}$  pedig a légköri modern széndioxid fajlagos radiokarbon aktivitása a cseppkőkiválás idején.

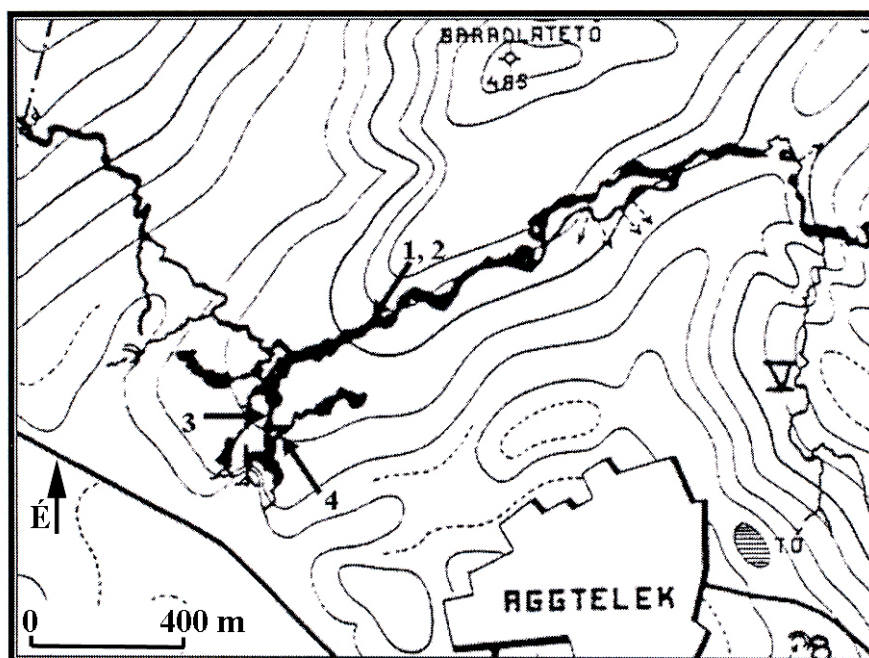
Az dcp meghatározására közvetlenül is lehetőség van, olyan karbonátos kiválások korának radiokarbonos mérésével, melyek kora más módon ismerté vált. Ebben az esetben a mért radiokarbonkor és a minta valódi kora közötti különbségből kiszámítható a minta szenére az a kezdeti fajlagos  $^{14}\text{C}$  deficit, amit az inaktív szén beépülése okozott. Más abszolút kormeghatározási módszerrel kombinálva (U/Th módszer) az egyes területekre vonatkozó inaktívszén-tartalom (dcp) mérések eredményei azonban messze túlmutatnak a pusztán  $^{14}\text{C}$ -korrekciós felhasználáson, mivel alapvető információt hordoznak az adott karsztrendszer széndinamikájáról, illetve hosszabb időskálát tekintve a helyi klimatikus változásokról is (VOGEL et al. 1997, GENTY et al. 1999, GENTY et al. 2001).

Megállapítható továbbá, hogy a dcp becslése a minta szén stabilizótóp-arányának mérése ( $\delta^{13}\text{C}$ ) alapján csak nagy bizonytalansággal végezhető el. Az egy-egy karsztrendszerre megállapított jellemző inaktívszén-tartalom hosszabb időszakokra vonatkozó állandóságának kérdése alapvető abban az esetben, ha a radiokarbonos módszert önmagában használjuk mint abszolút kormeghatározási módszert a karszt kutatásban (GENTY et al. 1999).

Az idős cseppkövek alternatív módszerrel való datálása mellett egy további lehetséges módszer a dpc meghatározására – melyet ebben a munkában mi is választottunk – olyan fiatal (néhány éves, vagy évtizedes) cseppkövek  $^{14}\text{C}$  tartalmának mérése, melynek kora fiatalságuk miatt egyértelműen ismert. Ez esetben a kor hibája elenyésző (max. néhány év), továbbá a dcp számításához a légköri szén fajlagos  $^{14}\text{C}$  aktivitásának alakulása az elmúlt néhány évtizedre igen jól ismert (LEVIN et al. 2004).

## Mintavétel

A fiatal, ismert korú cseppkövek gyűjtésére olyan hely lehet leginkább alkalmas, ahol nemrégiben beépített műtárgyak találhatóak, s ezeken már megindult a cseppkövek fejlődése. A Baradla-barlang aggteleki oldalán a kiépített szakasz jelentős rekonstrukción esett át a 80-as évek végén, egyebek mellett új járdák is készültek a teljes túraútvonalon. Az 1991-re befejezett felújítás óta eltelt másfél évtized alatt a forgalomnak kevésbé kitett részekén számos helyen kezdődött meg új képződmények növekedése. Az esetenként a cm-es vastagságot is elérő cseppkőkéreg elegendő anyagot szolgáltat a dcp vizsgálatához.



1. ábra. A kiválasztott cseppkő-mintavételi helyek a Baradla-barlang kiépített szakaszán.  
Fig. 1: Location of sampling points in the Baradla cave.

2004 áprilisában az ANPI engedélyével 4 helyről, összesen kb. 30 g anyagot gyűjtöttünk a képződmények radiokarbontartalmának mérésére. Az egyenként kb. 15-20 cm<sup>2</sup> területű cseppkőkéregget vésővel pattintottuk le a járda betonjáról. Két esetben a kalcit csak gyengén „kötött” a betonhoz, így tiszta, további kezelést nem igénylő mintákhoz jutottunk. A másik két mintavételi helyen – valószínűleg a beton nagyobb porozitása miatt – a kalcit

belenőtt a betonba, ezért az innen vett anyagot a laboratóriumban aprólékos munkával utólag kellett minél jobban megszabadítani a cementes kéregtől.

A továbbiakban 1. és 2. sorszámmal jelzett minták a Kéregető kol-dus, ill. a Nádor-oszlopa közeléből származnak. Az előbbit a járda szegélyé-ről, az utóbbit magáról a járdáról gyűjtöttük. Itt a felszín tengerszint feletti magassága 400 m körüli, így a kőzet vastagsága a csepegés helyén 80 m-re tehető. A 3. és 4. számú mintákat az előbbiektől távolról, a Fekete-terembe, ill. a Róka-ágba vezető járdákról gyűjtöttük. E helyen a kőzetvastagságot a felszínig 56 m-nek becsültük. A mintavételi helyek barlangi elhelyezkedé-sét, továbbá a felszíni környezetet sematikusan az *1. ábrán* mutatjuk be.

### Előkészítés és mérés

A minták előkészítése nagy tisztaságú széndioxid gáz előállítását jelentette a minta széntartalmából. Karbonátos minták esetén ez a folyamat mechanikus tisztítást és aprítást követően foszforsav 75 %-os vizes oldatával történő karbonát-feltárás az MTA Atommagkutató Intézetében erre a célra kialakí-tott feltáró rendszerben.

A fiatal cseppkőminták gyakran csak a járda betonjának egy-egy kis darabjával együtt voltak begyűjthetőek. A laboratóriumi előkészítés első lépése ezért a betontól való elválasztás volt. A cseppköveket óvatosan meg-törtük, s a tisztán levált betondarabokat eltávolítottuk. Az ilyen módon már jórészt csak cseppkővet tartalmazó zúzalékot használtuk fel a  $^{14}\text{C}$  mérések-hez.

Mivel óhatatlanul is maradt némi beton-maradvány a cseppkődara-bokon, így a tiszta beton egy darabját vak mintaként szintén végig vittük a mérés folyamatán, a betonszennyezés hatásának kiszűrésére. A savas feltá-rást követően a fel nem tárodott maradványt visszamértük, így a beton-cseppkő arányt becsülni lehetett az egyes mintákban (*1. táblázat*).

*1. táblázat  
Table 1.*

*A Baradlában gyűjtött minták savas feltárásának adatai  
Results of acidic pre-treatment of samples from Baradla*

<i>Minta</i>	<i>Feltárt minta [g]</i>	<i>Keletkezett CO<sub>2</sub> [norm. L]</i>	<i>Feltárási maradék [g]</i>	<i>Maradék [%]</i>
cseppkő-1	5,28	0,84	0,86	16%
cseppkő-2	10,19	2,11	0,07	1%
cseppkő-3	2,95	0,55	0,08	3%
cseppkő-4	6,62	0,97	1,68	25%
beton	1,53	0,06	0,81	53%

A környezeti minták abszolút radiokarbon aktivitása nagyon kicsi, ezért nem abszolút értékben, hanem egy standardhoz viszonyítva szokás mérni és megadni azokat. A nemzetközileg elfogadott referencia érték a radiokarbon koradatokhoz az NBS oxálsav standard 1950. évi  $^{14}\text{C}$  aktivitásának 95%-a ( $\delta^{13}\text{C} = -19\%$  PDB értékre normalizálva). Bár az oxálsav  $^{14}\text{C}$  aktivitása időben változik, a fenti definícióval megadott abszolút nemzetközi standard aktivitás változatlan ( $A_{ABS}$ ). A minta mért aktivitását ehhez a standardhoz viszonyítjuk. Geológiai minták esetén a radiokarbon kor helyett, a minta aktivitásának ( $A_S$ ) a nemzetközi standard aktivitásra vonatkozó százalékos értéket, a percent Modern-t ( $pM$ ) szokás megadni.

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

Mivel a *dcp* definíciójában az aktivitásoknak csak az aránya szerepel, így számításánál az abszolút aktivitásuk helyett a cseppkő és a levegő szénének  $pM$  értékét, illetve azok arányát is használhatjuk (HERTELENDI 1990).

A mérések során minden mintának megmértük a  $\delta^{13}\text{C}$  (PDB) szén stabilizotóp-arány eltolódás értékét is egy Delta<sup>Plus</sup>XP stabilizotóp tömegspektrométerrel (Thermo Finnigan). Azon túl, hogy a  $\delta^{13}\text{C}$  korrekció része a radiokarbonmérésnek az izotópfractionáció mértéke információt szolgáltathat a karbonátos kiválás kialakulásának körülményeiről is.

## Eredmények és értékelés

A cseppkőminták stabilizotóp arány és  $^{14}\text{C}$  mérési eredményeit a II. táblázat tartalmazza. A beton referencia minta esetében a  $^{14}\text{C}$  mérés elvégzésére nem volt lehetőség, mivel a feltárásából keletkezett rendkívül kevés szén-dioxid gáz nem volt elegendő ahhoz.

II. táblázat  
Table II.

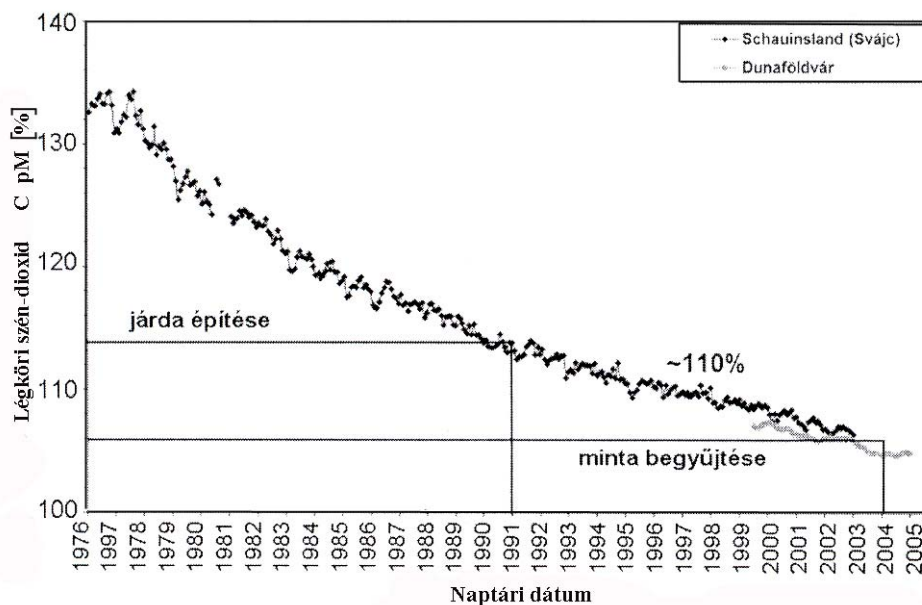
A cseppkő és beton minták  $^{14}\text{C}$  és  $\delta^{13}\text{C}$  mérésének eredményei.  
 *$^{14}\text{C}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  results of measured samples.*

Minta	$\delta^{13}\text{C}[\text{‰}]$ (PDB)	$pM$ (%) (NBS)
cseppkő-1	$-9,5 \pm 0,2$	$104,2 \pm 1,0$
cseppkő-2	$-9,9 \pm 0,2$	$103,6 \pm 1,0$
cseppkő-3	$-6,2 \pm 0,2$	$106,9 \pm 1,0$
cseppkő-4	$-8,5 \pm 0,2$	$102,6 \pm 1,0$
beton	$-15,9 \pm 0,2$	n.a.

Megállapíthatjuk, hogy a négy egykorú cseppkőminta közül három esetében (cseppkő-1, -2 és -4) igen hasonló stabilizotóp arány és  $^{14}\text{C}$  értéket kaptunk. Ez a körülmény alátámasztja az irodalomban közölt azon állítást, miszerint egy adott barlangra a  $\delta^{13}\text{C}$  értéke általában nagyon hasonló érték a mintavétel helyétől függetlenül.

A cseppkő-3 minta eredménye igaz csak kissé, de a  $^{14}\text{C}$  tartalma és a  $\delta^{13}\text{C}$  értéke alapján is eltér a többitől. A mészkő alapkőzetre jellemző  $\delta^{13}\text{C}$  (PDB) érték 0 ‰, így a cseppkő-3 minta nullához közeli stabilizotóp arány értéke esetlegesen nagyobb inaktív szén-tartalmat jelenthetne a másik három mintához képest. Ezzel szöges ellentétben áll viszont az a tény, hogy eközben a  $^{14}\text{C}$  tartalom szempontjából ez a minta volt mind közül a legaktívabb, tehát az inaktív mészkő arányának ebben kellene a legkisebbnek lennie.

A  $\delta^{13}\text{C}$  meghatározásához szükségünk van a területen a minták fejlődése alatt a légköri szén-dioxid  $^{14}\text{C}$  tartalmára is. Mivel a járdát, amin a cseppkövek képződtek 1991-ben építették, a mintavétel pedig 2004-ben történt, így ennek az időszaknak a légköri szén-dioxidra vonatkozó  $^{14}\text{C}$   $pM$  adatait használtuk fel (2. ábra, LEVIN *et al.* 2004).



2. ábra. A légköri  $\text{CO}_2$  fajlagos  $^{14}\text{C}$  aktivitásának alakulása az elmúlt három évtizedben.  
Fig. 2: Variation of  $^{14}\text{C}$  in the atmospheric  $\text{CO}_2$  during the last three decades.

Mint a svájci referencia adatokból látszik, az elmúlt három évtizedben a légköri szén-dioxid  $^{14}\text{C}$  tartalma jelentős változást mutatott. A változás oka, az 1960-as években végrehajtott nagyszámú légköri nukleáris fegyver kísérlet utóhatása, azaz a légköri atombomba-csúcs eltűnése miatti erősen csökkenő  $^{14}\text{C}$  szint. Az atombomba csúcsban megemelkedett légköri  $^{14}\text{C}$  tartalomnak az atomcsend-egyezmények után az óceánokba történő kimosódása miatt kezdetben exponenciális, majd a 90-es évektől közelítőleg lineáris csökkenése volt megfigyelhető. A svájci Schauinsland légköri referencia állomáson mérhető és a magyarországi Dunaföldvár melletti referencia állomáson mért légköri  $^{14}\text{C}$  adatok jó egyezést mutatnak, így a svájci adatokat használhatjuk az 1991-től 2003-ig, 2004-re pedig a dunaföldvári adatok kis módosítással lettek figyelembe véve. A Dunaföldvár melletti adatok kis mértékben ugyan, de szisztematikusan alatta maradnak a svájci természetes referencia szintnek. Ennek oka az, hogy a város környékén erőteljesebb fosszilis tüzelőanyag használat miatt hígul a légkör  $^{14}\text{C}$  tartalma (*Suess-effektus*, *SUESS* 1955). A kismértékű hígulás kompenzálására a 2004-es évben Dunaföldváron mért adatoknál kissé magasabban állapítottuk meg a légköri szén-dioxid természetes  $^{14}\text{C}$  tartalmát Magyarországra (lásd 2. ábra 2004. év).

Fentiek értelmében a légköri  $^{14}\text{C}$  tartalom 1991-től (a járda építése) 2004-ig (a cseppkőminták begyűjtése) 114 % -ról 106 % pM-re csökkent, közel egyenletes ütemben. Feltételezve, hogy a cseppkövek közel állandó sebességgel növekedtek ebben az időszakban az átlagos légköri  $^{14}\text{C}$  szintet tehát, 110% pM-nek tekinthetjük, a becslés bizonytalanságát pedig 1 % -nak vettük. Az egyes cseppkőmintákra számított százalékos inaktív-szén-tartalom (dcp) értékeket a *III. táblázat* tartalmazza.

*III. táblázat*  
*Table III.*

*A cseppkő mintákra számolt dcp eredmények.*  
*Dcp results calculated for the individual samples.*

<i>Minta</i>	$\delta^{13}\text{C}[\text{‰}]$ (PDB)	$a^{14}\text{C}[\text{pM}]$ (NBS)	<i>dcp</i> [%]
cseppkő-1	$-9,5 \pm 0,2$	$104,2 \pm 1,0$	$5,3 \pm 1,3$
cseppkő-2	$-9,9 \pm 0,2$	$103,6 \pm 1,0$	$5,8 \pm 1,3$
cseppkő-3	$-6,2 \pm 0,2$	$106,9 \pm 1,0$	$2,8 \pm 1,3$
cseppkő-4	$-8,5 \pm 0,2$	$102,6 \pm 1,0$	$6,7 \pm 1,3$
Légköri $\text{CO}_2$ (1991-2004)	$-9 \pm 2$	$110,0 \pm 1,0$	

A vizsgált négy azonos korú cseppkőminta közül háromra értelem-szerűen hibahatáron belül azonos dcp értékeket, 5-7 %-ot kaptunk, mivel

azok  $^{14}\text{C}$  aktivitása hibahatáron belül azonos volt. Ez a viszonylag alacsony inaktív-szén-tartalom érték a relatíve vékony felső sziklaréteggel, illetve a gyors beszivárgási sebességekkel értelmezhető. Hasonló alacsony dcp értékeket publikáltak más európai barlangok esetében is (MOLNÁR *et al.* 2004).

A cseppkő-3 minta esetében, a magasabb  $^{14}\text{C}$  tartalom miatt, a dcp számított értéke alacsonyabb. Eközben viszont a légköri  $\delta^{13}\text{C}$  értékhez mégis a nagyobb inaktív-szén-tartalmú minták  $\delta^{13}\text{C}$  értékei állnak közelebb. Az ellentmondás feloldásában a 2. ábra segíthet, mi szerint a légköri  $^{14}\text{C}$  tartalom erősen csökkent a vizsgált időszakban. Mivel a cseppkő-3 minta  $\delta^{13}\text{C}$  értéke közelebb van a mészkő 0 ‰ (PDB) körüli stabilizotóp-arány eltolódás értékéhez, így feltételezhetjük, hogy karbonátja a mészkővel hosszabb ideig volt kapcsolatban, tehát a szállító víz csak lassabban jutott le a barlangba. A lassabb beszivárgás esetén viszont lehetséges, hogy nem 1991-ben, hanem évekkal korábban beszivárgott csapadékról van szó, mely az akkor még jóval magasabb légköri  $^{14}\text{CO}_2$  tartalom mellett szivárgott le. Így a 3-as mintában kivált karbonátban, még akár magasabb beoldott inaktív mészkőtartalom mellett is lehetséges, hogy összességében nagyobb  $^{14}\text{C}$  koncentráció maradt, mint a későbbi csapadékokkal, de így eleve alacsonyabb  $^{14}\text{C}$  tartalommal leszivárgott és hamar a barlangba érkező karbonátokban.

Ez az eset hívja fel a figyelmet az inaktív-szén-tartalom fenti definíció szerinti számításának gyenge pontjára, mi szerint, ha a légköri  $^{14}\text{C}$  tartalom a vizsgált időszakban jelentősen változik és a változás üteme a vízben szállított karbonát útjának időbeni hosszával összemérhető, akkor az egy adott időszakban kivált cseppkőnek az aktivitását a kiválásának időpontjában a légkörben található  $^{14}\text{C}$  tartalommal összevetve félrevezető inaktív-szén-tartalom eredményt kaphatunk.

## Összefoglalás

Cseppkövek keletkezési ideje a cseppkő karbonátjának fajlagos radiokarbon aktivitása alapján elvileg meghatározható. A datálást nehezíti, hogy a karsztvíz leszivárgása során a légköri (modern) szén-dioxid mellé inaktív karbonátot is beoldhat az idős mészkő alapkőzetből. Ennek következtében a cseppkő karbonátjának fajlagos radiokarbon aktivitása csökken, azaz a cseppkővet valódi koránál idősebbnek „látjuk”. A probléma kiküszöbölhető az inaktív-szén-tartalom meghatározásával.

A nemzetközi példákhoz hasonlóan egy magyarországi cseppkő-barlang esetében is megmértük az inaktív-szén-tartalmat  $^{14}\text{C}$  módszerrel. A méréshez fiatal, ismert korú cseppkövek gyűjtöttünk a Bardala-barlangból, összesen négy olyan helyekről, ahol nemrégén beépített műtárgyak találha-



tók, s ezeken már megindult a cseppkövek fejlődése. Az esetenként a cm-es vastagságot is elérő cseppkőkéreg elegendő anyagot szolgáltatott a dcp vizsgálatához, az adott ismert időszakra pedig pontosan ismert a légköri szén  $^{14}\text{C}$  koncentrációja.

A vizsgált négy azonos korú cseppkőminta közül háromra hibahatáron belül azonos dcp értékeket, 5-7 %-ot kaptunk. Ezek a viszonylag alacsony értékek a relatíve vékony felső sziklaréteggel, illetve a gyors beszivárgási sebességekkel magyarázhatóak. Több hasonló értéket közöltek a szakirodalomban is.

A kilógó negyedik adat felhívta a figyelmet az itt alkalmazott módszer szerinti dcp-számítás gyenge pontjára: ha a légköri  $^{14}\text{C}$  tartalom a vizsgált időszakban jelentősen változik és a karbonátot szállító víz beszivárgása a barlangba lassú, akkor a cseppkő kiválásakor az akkori uralkodó légköri  $^{14}\text{C}$  tartalomra vonatkoztatott dcp számítás nem ad reális eredményt.

## IRODALOM

- DAMON, P. E.- LERMAN, J. C.-LONG, A. (1978): Ann. Rev. Earth Plan. Sci. 6, p.457
- GENTY, D.-, B.-OBELIC, B.-MASSAULT, M. (1998): Bomb  $^{14}\text{C}$  time history recorded in two modern stalagmites—importance for soil organic matter dynamics and bomb  $^{14}\text{C}$  distribution over continents, - Earth and Planetary Science Letters 160 p. 795–809.
- GENTY, D.-MASSAULT, M.-GILMOUR, M.-BAKER, A.-VERHEYDEN, D.-KEPENS, E. (1999): Calculation of past dead carbon proportion and variability by the comparison of AMS  $^{14}\text{C}$  and TIMS U/Th ages on two holocene stalagmites, - Radiocarbon, Vol. 41. p. 251-270.
- GENTY, D.-BAKER, A.-MASSAULT, M.-PROCTOR, C.-GILMOUR, M.-PONS-BRACHU, E.-HAMELIN, B. (2001): Dead carbon in stalagmites: Carbonate bedrock paleodissolution vs. ageing of soil organic matter. Implications for  $^{13}\text{C}$  variations in speleothems, - Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 65, p. 3443–3457.
- HERTELENDI (1990): Izotópanalitikai célú műszer és módszerfejlesztések és azok alkalmazásainak eredményei, - Kandidátus értekezés MTA Atommagkutató Intézete, Debrecen.
- LEVIN, I.-KROMER, B. (2004): The tropospheric  $^{14}\text{CO}_2$  level in mid-latitudes of northern hemisphere (1959-2003) - Radiocarbon Vol. 43
- MOLNÁR, M.-DEZSŐ, Z.-PALCSU, L.-SZÁNTÓ, ZS.-FUTÓ, I.-SVINGOR, É.-RINYU, L. (2004):  $^{14}\text{C}$  mérés alkalmazása a karszt kutatásban. - Karsztfejlődés IX. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely 9-20.

*SUESS, HE.* (1955): Radiocarbon concentration in modern wood. - Science 122 p. 415.

*VOGEL, J. C.-KRONFELD, J.* (1997): Calibration of radiocarbon dates for the late pleistocene using U/Th dates on stalagmites, - Radiocarbon, Vol. 39. p. 27-32.