

**A BAKONYI CSURGÓ-KÚT VIZÉNEK ÉS
FORRÁSMÉSZKÖVÉNEK STABILIZOTÓP-GEOKÉMIAI VIZS-
GÁLATA**

**STABLE ISOTOPE GEOCHEMICAL STUDY OF WATER AND
FRESHWATER TUFA OF CSURGÓ SPRING
(BAKONY MTS., HUNGARY)**

BÓDAI BARBARA¹ – KELE SÁNDOR² – KÁRMÁN KRISZTINA² –
CZUPPON GYÖRGY² – MÓGA JÁNOS¹

¹ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, 1117 Budapest, Pázmány
Péter sétány 1/C, bodai.barbara@gmail.com,

²Magyar Tudományos Akadémia, Csillagászati és Földtudományi Kutató-
központ, Földtani és Geokémiai Intézet, 1112 Budapest, Budaörsi út 45.,
keles@geochem.hu

Abstract: The stable carbon and oxygen isotope composition of freshwater carbonates (tufa) can be used to study past climate changes. Despite this, geochemical researches were only done on freshwater carbonate precipitations in the Mecsek Mountains, the tufas of the Transdanubian and the North Hungarian Mountains remained unexamined. Our research area, the source of Csurgó Spring is located on the covered karst territory of the Northern Bakony Mountains. At the studied area, physicochemical parameters were measured and from May 2012 to May 2014, monthly water samples were collected for stable isotope analysis. Based on the chemical analysis of water can conclude that the carbonate precipitation is the most intensive during the warm-wet summer period. With the help of stable isotope analysis and X-ray diffraction method we demonstrate that the cement of calcareous conglomerate located at the Csurgó Spring is different from the composition of the tufa. Furthermore we compared the measured stable isotope values with the stable isotope data of tufas from other Hungarian mountains and from the neighbouring countries (ANDREWS, 2006). We observed that the stable isotope data of the tufa samples reflect the continental effect. The isotope composition ($\delta^{18}\text{O}$, δD) of Csurgó Spring shows no change during the investigated period, due to probably the increased residence time of water.

Bevezetés

A Föld karsztos vidékein az édesvízi mészkövek gyakori képződménynek számítanak. Változatos megjelenésük, formájuk, és a paleogeográfiai rekonstrukciókban, illetve a paleoklíma változásainak meghatározásában játszott fontos szerepük miatt számos szakember figyelmét keltették már fel (ANDREWS *et al.* 1997, PAZDUR *et al.* 1998, KANO *et al.* 1999, MATSUOKA *et al.* 2001, HORVATINCIC *et al.* 2003, ANDREWS–BRASIER 2005, ANDREWS 2006, OSACAR *et al.* 2013).

A mésztufák vizsgálatával főleg a hőmérséklet és a nedvesség becslésére kapunk betekintést (ANDREWS *et al.* 1997, ANDREWS 2006, OSACAR *et al.* 2013), amiből a vegetáció típusára, a geomorfológiai fejlődésre (GRADZINSKI *et al.* 2013), paleohidrológiára, és esetenként tektonikai mozgásokra (NISHIKAWA *et al.* 2012) tudunk következtetni.

Az Északi-Bakonyban lévő recens mésztufa kiválások általában a folyómedrekben lévő kisebb gátakhoz, zúgókhöz kapcsolódva figyelhetőek meg, valamint a források felszínre lépésénél és a lejtőviszonyok megváltozásánál, melyet az általunk vizsgált Csurgó-kút esetében is megfigyelhettünk.

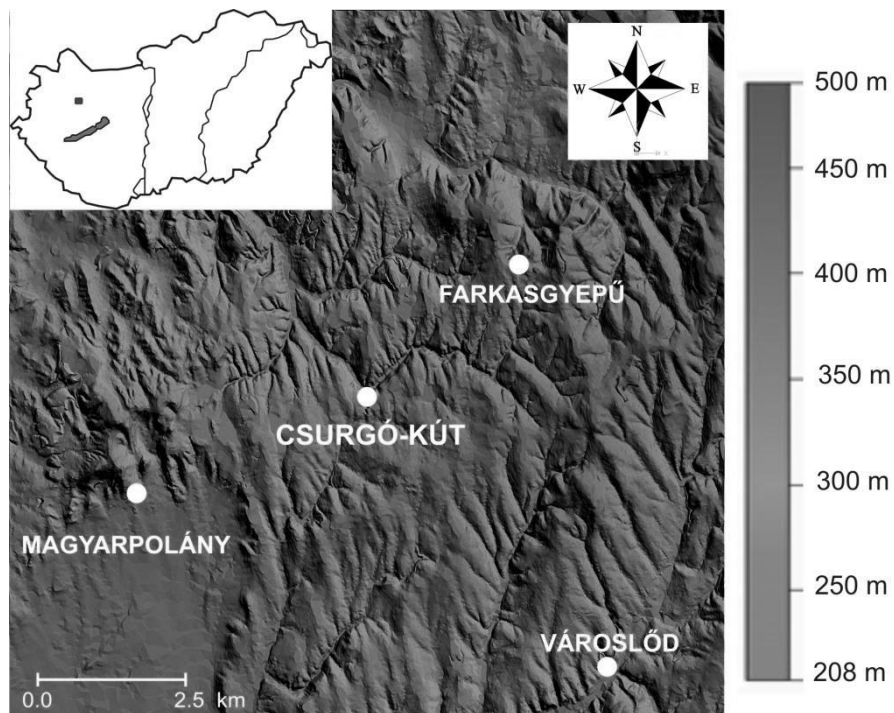
Munkánk célja a forrásvíz és a forrásmészkö kapcsolatának, szelvény menti és időbeni változásának meghatározása volt. Továbbá a geokémiai vizsgálatok segítségével arra a kérdésre kerestük a választ, hogy mennyire alkalmas a forrásmészkö paleoklimatológiai vizsgálatokra. A kérdések megválaszolására terepi méréseket és vízkémiai vizsgálatokat végeztünk.

A vizsgált terület és alkalmazott módszerek

Vizsgált terület

A vizsgált terület az Északi-Bakonyban található (1. ábra), ahol jellemzően a fedett karsztos formák az uralkodóak (VERESS 1999). A vizsgált területen lévő karbonátos kőzeteket a Csatkai Kavics Formáció kavicsos, helyenként konglomerátummá összeállt rétegei és a löszös üledékek fedik (BIHARI 1981, GYALOG [szerk.] 2005).

Az általunk vizsgált Csurgó-kút forrása a Csatkai Kavics Formációból lép a felszínre az erózióbázis felett és egy közel 20 m-es enyhe lejtő után vízesésként zúdul alá az alacsonyabb térszínre (2. ábra), ahol az erőteljes CO₂ kigázosodás miatt megkezdődik a karbonát lerakódása. A kiválás helyszíne a vízesés menti sáv, illetve a vízesés alatti rész. SCHEUER (2002) a mésztufákat geomorfológiai és vízföldtani jellemzők alapján különítette el, amely szerint a Csurgó-kúti karbonát lerakódás az erózióbázis feletti források mésztufáinak típusába sorolható.



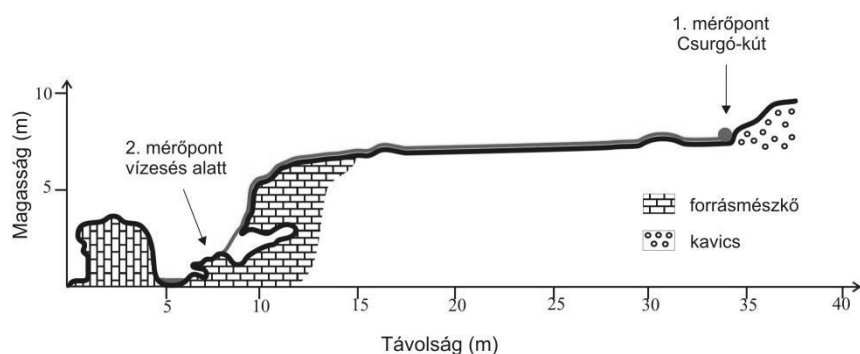
1. ábra. A vizsgált terület elhelyezkedése.
 Fig. 1 The study area in Bakony Mts., Hungary.



2. ábra. A Csurgó-kút forrása által épített mésztufaömb.
 Fig. 2 Calcareous tufa of Csurgó Spring.

Mintavételi módszerek

A Csurgó-kút forrásának hosszanti szelvénye mentén két mintavételi pontot jelöltünk ki (1: Csurgó-kút; 2: vízesés alatt) (3. ábra), hogy nyomon kövessük a szelvény mentén bekövetkező változásokat. 2012. március–2012. október között, havi rendszerességgel vízkémiai vizsgálatokat, illetve 2013. február–2014. május között pH és víz hőmérséklet méréseket végeztünk mindkét mérőállomáson. A 2012. május–2014. május közötti időszakban szintén havi rendszerességgel vízmintákat gyűjtöttünk a vízesés alatti mérőállomáson stabilizotópos elemzés céljából.

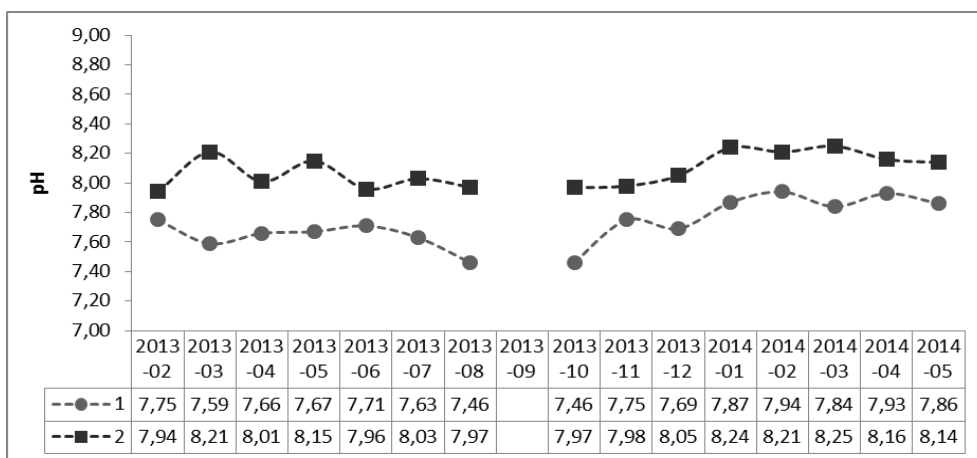


3. ábra. A Csurgó-kút hosszszelvénye és a mintavétel helyszínei.
Fig. 3 The longitudinal profile of Csurgó Spring with the sampling points.

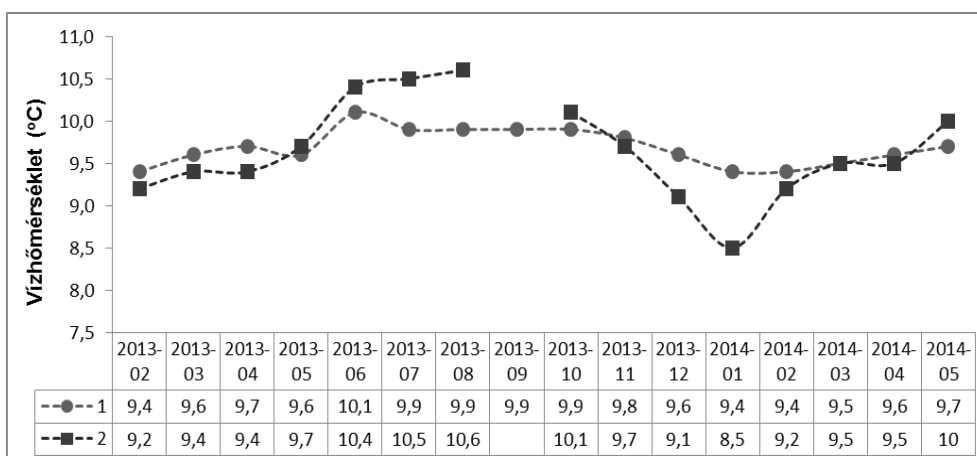
A forrásnál gyűjtött víz- és kőzetminták stabilizotópos elemzése az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézetének stabilizotópos laboratóriumában történt. Összesen 4 db forrásmésző mintán és 2 db konglomerátum meszes kötőanyagán készültek stabil szén- és oxigénizotópos elemzések Finnigan delta plus XP tömegspektrométerrel. A mérési pontosság $\delta^{13}\text{C}$ és $\delta^{18}\text{O}$ értékek esetében jobb volt, mint $\pm 0,1 \text{ ‰}$ VPDB (Vienna Pee Dee Belemnite). A Csurgó-kút vizéből gyűjtött mintákon a $\delta^{18}\text{O}$ és δD értékek meghatározása LGR LWIA-24d típusú lézerspektroszkóp segítségével történt. A mérések bizonytalansága a vízminták esetében a $\delta^{18}\text{O}$ értékeknél $\pm 0,2 \text{ ‰}$ VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water), δD esetében $\pm 1 \text{ ‰}$ VSMOW.

Eredmények és értékelés

1. Terepi mérések



4. ábra. A pH értékek változása a szelvény mentén.
 Jelmagyarázat: 1: Csurgó-kút, 2: vízesés alatt
 Fig. 4 Changes in pH along the longitudinal profile.
 Legend: 1: 1. station-Csurgó Spring, 2: 2. station-below the waterfall



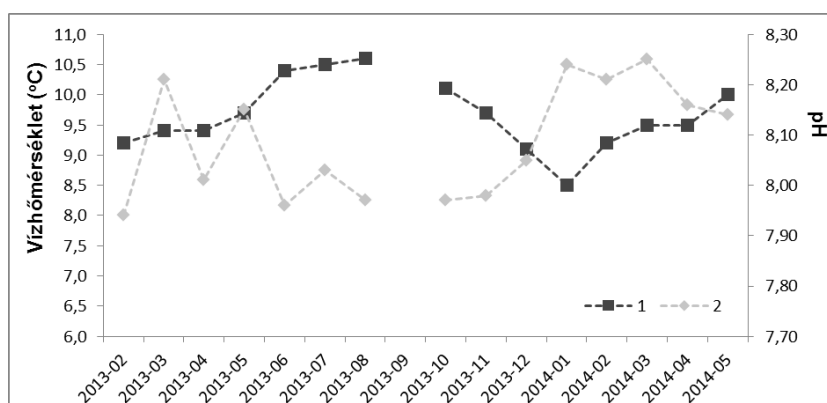
5. ábra. A víz hőmérséklet változása a szelvény mentén.
 Jelmagyarázat: 1: 1. mérőpont-Csurgó-kút, 2: 2. mérőpont-vízesés alatt
 Fig. 5 Change of water temperature along the studied section.
 Legend: 1: 1. station-Csurgó Spring, 2: 2. station-below the waterfall

A forrásvíz pH értékei 7-8 között változtak a két mérési pont között (Csurgó-kút, vízesés alatt), és a forrás felszínre lépési pontjától távolodva, folyásirányban növekedtek (4. ábra).

A víz hőmérsékleti adatok esetében a két mérőpont között különbséget figyelhetünk meg. A Csurgó-kút felszínre bukkanásánál a forrásvíz hőmérséklete állandónak mondható a mérési időszak alatt, azonban a vízesés alatti

állomáson az értékek évszakosan változnak (5. ábra). A melegebb időszakokban, a vízesés alatti mérőponton az értékek növekedtek a szelvény mentén, míg a hűvösebben csökkentek.

Általánosságban megállapítható, hogy a vízesés alatt a pH és a vízhőmérsékleti adatok egymással ellentétesen változtak. A nyári időszakban a vízhőmérséklet növekedésével és a fokozott növényi aktivitással a pH értékek alacsonyabbá váltak (6. ábra, KANO et al. 1999).



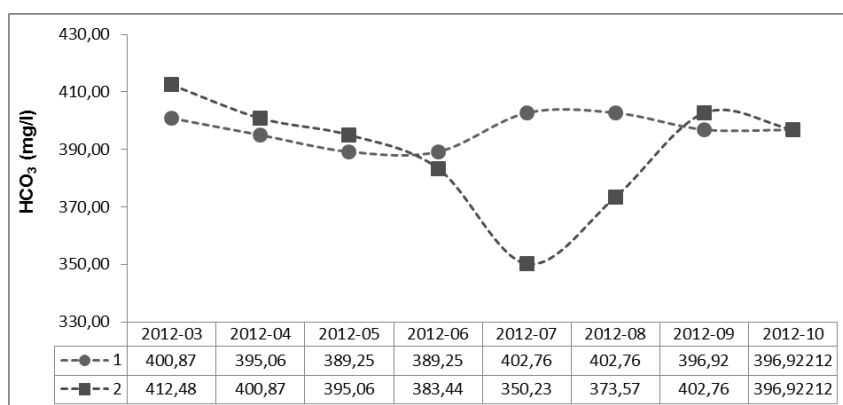
6. ábra. Vízhőmérséklet és pH értékek változása a vízesés alatti mérőponton.

Jelmagyarázat: 1: vízhőmérséklet, 2: pH

Fig. 6 Water temperature and pH changes at the 2. sampling point (below the waterfall)

Legend: 1: water temperatura, 2: pH

2. Vízkémiai mérések

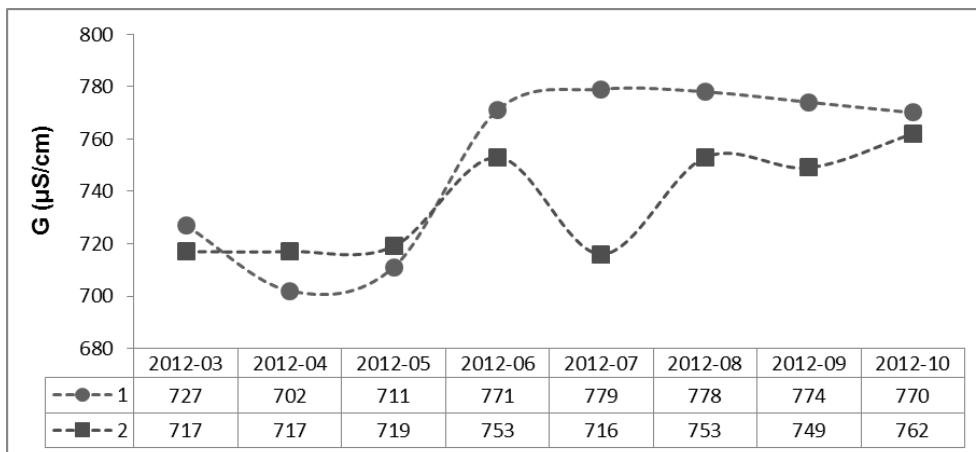


7. ábra. A HCO_3^- tartalom változása a szelvény mentén.

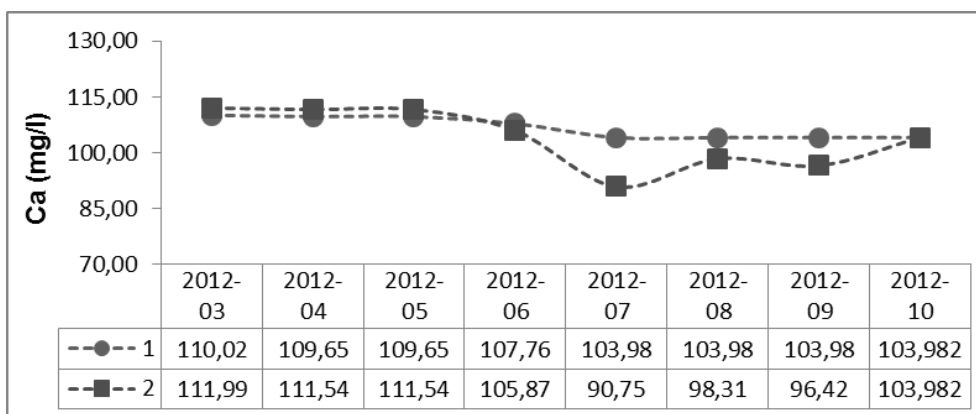
Jelmagyarázat: 1: 1. mérőpont–Csurgó-kút, 2: 2. mérőpont–vízesés alatt

Fig. 7 The change of HCO_3^- content along the studied section.

Legend: 1: 1. station–Csurgó Spring, 2: 2. station–below the waterfall



8. ábra. A vezetőképesség értékeinek változása a szelvény mentén.
 Jelmagyarázat: 1: 1. mérőpont–Csurgó-kút, 2: 2. mérőpont–vízesés alatt
 Fig. 8. The change of conductivity along the studied section.
 Legend: 1: 1. station–Csurgó Spring, 2: 2. station–below the waterfall



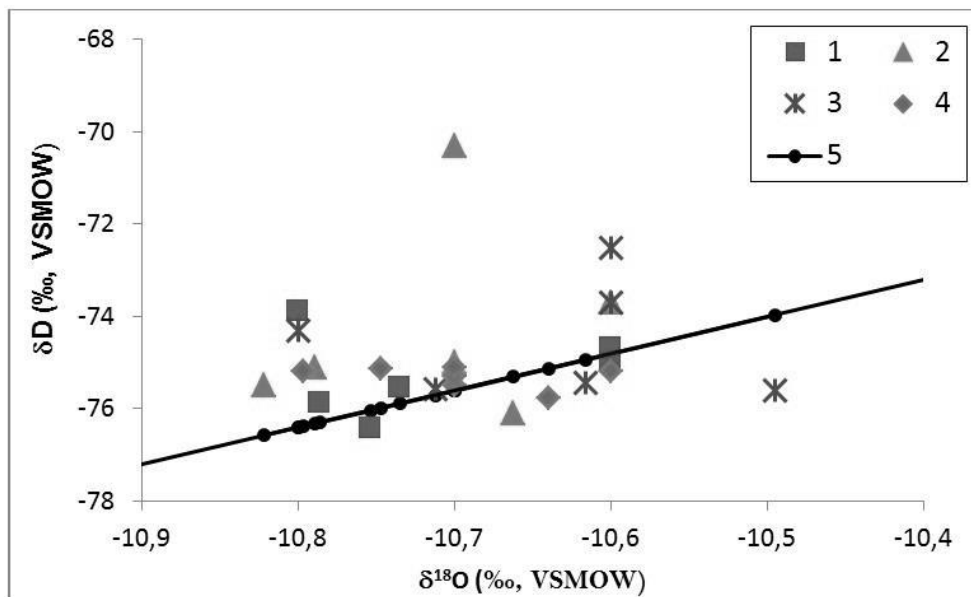
9. ábra. A Ca²⁺ koncentráció értékeinek változása a szelvény mentén.
 Jelmagyarázat: 1: 1. mérőpont–Csurgó-kút, 2: 2. mérőpont–vízesés alatt
 Fig. 9 The change of Ca²⁺ content along the studied section.
 Legend: 1: 1. station–Csurgó Spring, 2: 2. station–below the waterfall

A vezetőképesség, a HCO₃⁻ és a Ca²⁺ koncentráció értékei a júliusi hónapban mutatják a legnagyobb különbséget a két mérőállomás között (7, 8, 9. ábra). A különbség oka valószínűleg az, hogy a forráskilépési pontban több az oldott karbonát, amely a CO₂ eltávozása után a vízesésnél és az alatt kiválik az oldatból. A karbonátanyag lerakódása, képződése döntően a nyári,

meleg-nedves feltételek mellett volt a legintenzívebb a vizsgált időszak során.

3. Stabilizotópos mérések

3.1. Forrásvíz



10. ábra. A Csurgó-kút forrásvizének stabilizotópos összetétele az egyes évszakoknak megfelelően.

Jelmagyarázat: 1: nyár, 2: ősz, 3: tél, 4: tavasz, 5: GCsVV

Fig. 10 Seasonal variation in the stable isotope composition of the Csurgó Spring.

Legend: 1: summer, 2: autumn, 3: winter, 4: spring, 5: GMWL

A 10. ábra a Csurgó-kút forrásvizének stabilizotópos értékeit mutatja be. A mért értékek közel helyezkednek el a Globális Csapadékvíz Vonalhoz (GCsVV), ami igazolja a forrásvíz meteorikus eredetét (I. táblázat). A KOHÁN–KERN (2012) által modellezett felszíni csapadékatatok oxigénizotópos összetétele évszakosan változik az ország területén, azonban ez a változás nem jelenik meg a Csurgó-kút forrásvizének oxigénizotópos értékeiben, aminek oka feltehetően a víz felszín alatti hosszabb tartózkodási idejében keresendő.

I. táblázat
Table I.

A Csurgó-kút vizének stabilizotópos összetétele.
Stable isotope composition of the Csurgó Spring.

	Mintázás időpontja	δD (‰, VSMOW)	$\delta^{18}O$ (‰, VSMOW)
Csurgó-kút	2012.05.06	-75	-10,6
	2012.06.06	-75	-10,6
	2012.07.01	-75	-10,6
	2012.08.04	-74	-10,8
	2012.09.02	-75	-10,7
	2012.11.03	-74	-10,6
	2012.11.24	-70	-10,7
	2012.12.28	-74	-10,6
	2013.01.27	-73	-10,6
	2013.02.24	-74	-10,8
	2013.03.30	-76	-10,7
	2013.04.27	-75	-10,7
	2013.05.26	-75	-10,7
	2013.06.13	-76	-10,8
	2013.07.30	-76	-10,8
	2013.08.29	-76	-10,7
	2013.09.29	-76	-10,8
	2013.10.19	-75	-10,8
	2013.11.17	-76	-10,7
	2013.12.21	-75	-10,6
	2014.01.26	-76	-10,5
	2014.02.16	-76	-10,7
	2014.03.15	-76	-10,6
2014.04.19	-75	-10,7	
2014.05.10	-75	-10,8	

3.2. Mészufa és konglomerátum

A röntgendiffrakciós elemzések alapján a Csurgó-kút közelében található konglomerátum meszes kötőanyagának 40 %-a kalcit, 40 %-a kvarc, 10 %-a dolomit és 10 %-a egyéb összetevők, agyagásványok, csillámok, illit, klorit, muszkovit keverékéből áll. A konglomerátum meszes kötőanyagának átlagos $\delta^{13}C$ értéke $-5,1\text{‰}$ (VPDB), $\delta^{18}O$ értéke pedig $-6,4\text{‰}$ (VPDB) (II. táblázat). A forrásból kivált forrásmészke értékei ettől eltérők: a $\delta^{13}C$ értékek

átlag $-11,1$ ‰ (VPDB), a $\delta^{18}\text{O}$ értékeké pedig $-9,3$ ‰ (VPDB). A konglomerátum meszes kötőanyaga és a forrásmészkövek izotópos értékei különböznek egymástól, ami feltehetőleg a különböző képződési körülményekre utal (növényi tevékenység, eltérő képződési hőmérséklet). A növényi tevékenység által termelt szerves eredetű CO_2 , a szénizotópos értékeket negatív irányba tolhatja el, míg a vízhőmérséklet változása az oxigénizotópos értékekre lehet hatással. Stabilizotópos egyensúly esetén, minél magasabb a víz hőmérséklete, annál alacsonyabb lesz a kiváló karbonát $\delta^{18}\text{O}$ értéke.

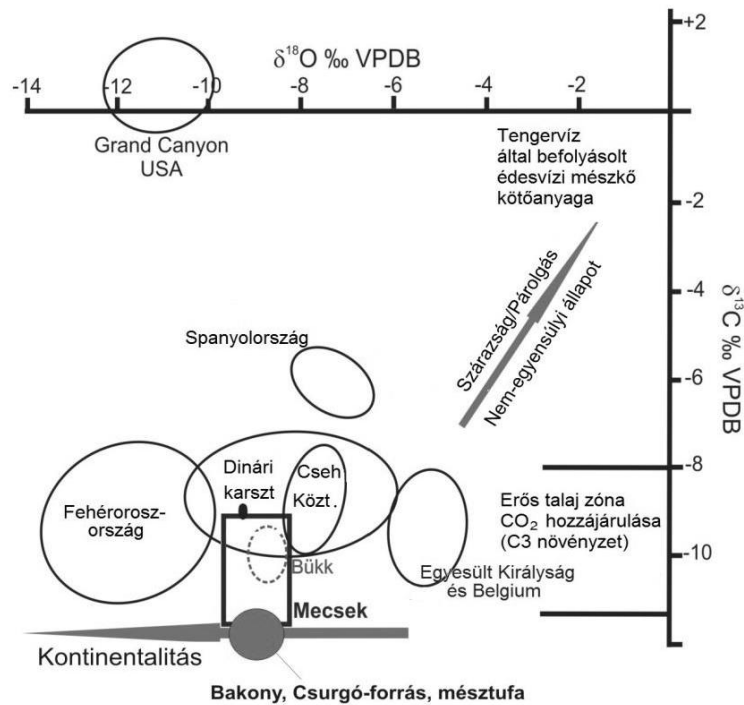
II. táblázat.

Table II

A Csurgó-kút forrásmészkövén, illetve a kavics kötőanyag mintáin végzett stabilizotópos mérések eredményei.
Stable isotope composition of the freshwater tufa and the cement of the conglomerate.

Minta	$\delta^{13}\text{C}$ (‰, VPDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰, VPDB,)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰, VSMOW)	Anyag
KGL-1	-4,7	-6,3	24,4	cement
KGL-2	-5,6	-6,5	24,2	cement
Csurgó-1	-10,7	-8,7	22,0	forrásmészkö
Csurgó-2	-11,8	-9,4	21,3	forrásmészkö
Csurgó-3	-10,8	-8,8	21,8	forrásmészkö
Csurgó-R	-11,2	-10,2	21,4	forrásmészkö

A Csurgó-kút forrásmészköve a stabil szén- és oxigénizotópos összetétel szempontjából hasonló a Mecsek (*KOLTAI et al. 2012 a,b*) és a Bükk hegység (*KELE 2009*) mésztufáinak stabilizotópos összetételéhez, valamint a nemzetközi irodalmakat (pl. *ANDREWS et al. 1997, ANDREWS 2006*) is figyelembe véve hasonló a szomszédos országok mésztufáinak értékeihez (*11. ábra*). Vagyis a többi közép-európai mésztufákkal együtt a stabilizotóp-összetételük átmeneti értéket képvisel a nyugat-európai és kelet-európai mésztufák között. Ennek fő oka az, hogy mésztufák térbeli és földrajzi elhelyezkedésével az éghajlati adottságok is változnak és ezzel együtt a mésztufák izotóp-összetétele is. Megállapítható, hogy a Csurgó-kút forrásmészköve illeszkedik abba a trendben, amelyet más európai mésztufák rajzolnak ki (pl. *ANDREWS et al. 1997, ANDREWS 2006, KELE 2009, KOLTAI et al. 2012 a,b*) tükrözve a kontinentális hatás erősödését nyugatról keletre.



11. ábra. A bakonyi Csurgó-kút stabilizotópos összetételének összevetése a mecseki, bükki mésztufákkal és egyéb nemzetközi előfordulásokkal. Az ábra ANDREWS (2006) alapján, KOLTAI et al. (2012b) ábrájának felhasználásával készült.

Fig. 11 Measured stable isotope composition of calcareous tufa deposits from Bakony Mts, and stable isotope data of tufas from other Hungarian mountains (Mecsek Mts, Bükk Mts.) (Koltai et al 2012b, Kele 2009) and from the neighbouring countries. The figure is based on Andrews (2006).

Összefoglalás

A laboratóriumi vizsgálatok során megállapítható, hogy a Csurgó-kútnál a karbonátanyag kiválása döntően a nyári időszak folyamán a legintenzívebb, hiszen ekkor vannak jelen a kiválásnak leginkább kedvező meleg-nedves feltételek. Röntgendiffrakciós és stabilizotópos vizsgálatokkal sikerült kimutatni, hogy a Csurgó-kútnál található meszes konglomerátum kötőanyaga különbözik a forrásmész-kő összetételétől. A stabilizotópos mérések alapján a bakonyi Csurgó-kút forrásmész-kő kiválása hasonlóságot mutat a hazai Bükk és a Mecsek hegységekben található forrásmész-kövek, illetve a szomszédos országok forrásmész-köveinek stabilizotópos értékeivel. Tehát a

Csurgó-kúti forrásmész-kő stabilizotópos összetétele tükrözi a kontinentális hatást, illeszkedve más európai országok előfordulásának stabilizotópjártekeihez, melyek mutatják a kontinentális jelleg erősödését nyugatról kelet felé haladva a kontinensen. A forrásvíz izotópos adatai nem mutatnak évszakos változást a vizsgált időszakban, ami feltehetően a víz viszonylag hosszú felszín alatti tartózkodási idejének köszönhető. A forrásmész-kő az izotópos adatok alapján a szezonális változások kimutatására nem alkalmas, azonban földrajzi elhelyezkedése miatt a kontinentális hatást tükrözi.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk köszönetet mondani Dr. Demény Attilának, a MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézet igazgatójának, hogy lehetővé tette a mintáink stabilizotóp-geokémiai elemzését illetve az Intézet munkatársainak a vizsgálatoknál nyújtott segítőkézséget. Köszönjük Fehér Katalinnak, az ELTE Környezet-és Tájföldrajzi Tanszék oktatójának a laboratóriumi mérések elvégzésében nyújtott segítségét.

IRODALOM

- ANDREWS J.E.–RIDING R.–DENNIS P.F.* (1997): The stable isotope record of environmental and climatic signals in modern terrestrial microbial carbonates from Europe. – Elsevier. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 129. pp. 171–189.
- ANDREWS J.E.–BRASIER A.T.* (2005): Seasonal record of climatic change in annually laminated tufa: short review and future prospects. – *Journal of Quaternary Science*. 20 (5). pp. 411–421.
- ANDREWS J.E.* (2006): Paleoclimatic records from stable isotopes in riverine tufas: Synthesis and review. – *Earth–Science Reviews* 75. pp. 85–104.
- BIHARI D.* (1981): Magyarázó a Bakony hegység 20000–es földtani térkép-sorozatához: Magyarpolány. – Magyar Állami Földtani Intézet. Budapest. 65. p.
- GYALOG L.* [szerk.] (2005): *MAGYARÁZÓ* Magyarország fedett földtani térképéhez (az egységek rövid leírása) 1:100000. – Magyar Állami Földtani Intézet. Budapest. pp. 104., 143.
- GRADZINSKI M.–HERCMAN H.–JASKIEWICZ M.–SZCZUREK S.* (2013): Holocene tufa in the Slovak Karst: facies, sedimentary environments and depositional history. – *Geological Quarterly* 57 (4). pp. 769–788.

- HORVATINCIC N.–BRONIC I.K.–OBELIC B.* (2003): Differences in the ^{14}C age, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of holocene tufa and speleothem in the Dinaric Karst. – Elsevier. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 193. pp. 139–157.
- KANO A.–KAMBAYASHI T.–FUJII H.–MATSUOKA J.–SAKUMA K.–IHARA T.* (1999): Seasonal variation in water chemistry and hydrological conditions of tufa deposition of Shirokawa, Ehime Prefecture, southwestern Japan. *Journal of the Geological Society of Japan*. 105 (4) pp. 289-304.
- KELE S.* (2009): Édesvízi mészkövek vizsgálata a Kárpát-medencéből: paleoklimatológiai és szedimentológiai elemzések. PhD Thesis. ELTE. Földtudományi Doktori Iskola. 176 p.
- KOHÁN B.–KERN Z.* (2012): A felszíni csapadék stabil oxigénizotóp összetételének becslése Magyarországon térinformatikai módszerekkel – előzetes eredmények. – Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás. Debrecen. pp. 189–196.
- KOLTAI G.–KELE S.–KÁRMÁN K.–KEVEINÉ B.I.* (2012a): Édesvízi mészkövet lerakó források geokémiai vizsgálata a Mecsekben. – Karsztfejlődés XVII. Szombathely. pp. 35–46.
- KOLTAI G.–KELE S.–KEVEINÉ B.I.* (2012b): Preliminary studies of freshwater tufa deposits in Mecsek Mts., Hungary. – *Acta Climatologica et Chorologica*. Universitas Szegediensis, Tomus 46, pp. 143–151.
- MATSUOKA J.–KANO A.–OBA T.–WATANABE T.–SAKAI S.–SETO K.* (2001): Seasonal variation of stable isotopic compositions recorded in a laminated tufa, SW Japan. – *Earth and Planetary Science Letters* 192. pp. 31–44.
- NISHIKAWA O.–FURUHASHI K.–MASUYAMA M.–OGATA T.–SHIRAISHI T.–SHEN CH.–CH.* (2012): Radiocarbon dating of residual organic matter in travertine formed along the Yumoto Fault in Oga Peninsula, northeast Japan: Implications for long-term hot spring activity under the influence of earthquakes. – *Sedimentary Geology* 243-244. pp. 181–190.
- OSACAR M.C.–ARENAS C.–VAQUEZ-URBEZ M.–SANCHO C.–AUQUÉ L.F.* (2013): Environmental factors controlling the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ variations of recent fluvial tufas: a 12-year record from the Monasterio De Piedra Natural Park (Ne Iberian Peninsula). – *Journal of Sedimentary Research*. 83. pp. 309–322.
- PAZDUR A.–PAZDUR M.F.–SZULC J.* (1988): Stable Isotopes of Holocene Calcareous Tufa in Southern Poland as Paleoclimatic Indicators. – *Quaternary Research*. 30. pp.177-189.

SCHEUER GY. (2002): A hideg karsztvizek mésztufáinak vizsgálata és főbb típusaik. – Hidrológiai Közlöny. Budapest. 82 (4) pp. 225–232.

VERESS M. (1999): Az Északi-Bakony fedett karsztja. – Bakonyi Természettudományi Múzeum. Zirc. 167 p.