

**A SZILVÁSVÁRADI SZALAJKA-PATAK MÉSztUFÁINAK
SZEZONÁLIS GEOKÉMIAI VIZSGÁLATA**

**SEASONAL GEOCHEMICAL STUDY OF FRESHWATER Tufa
OF SZALAJKA-CREEK (BÜKK MTS., HUNGARY)**

BÓDAI BARBARA¹ – MÓGA JÁNOS¹ – BARTHA ATTILA² –
HOLLÓ SÁNDOR² – KELE SÁNDOR³

¹ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, 1117 Budapest, Pázmány
Péter sétány 1/C, bodai.barbara@gmail.com,
²Bükk Nemzeti Park Igazgatóság, 3304 Eger, Sánc u. 6.
³Magyar Tudományos Akadémia, Csillagászati és Földtudományi
Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet, 1112 Budapest, Budaörsi út
45., keles@geochem.hu

Abstract: In the Bükk Mts. (NE-Hungary) several actively depositing freshwater tufa site can be found, mainly linked to morphological steps, where CO₂ degassing is intense. One of the most spectacular tufa sites is located in the Szalajka-Valley, where physicochemical parameters were measured in situ and water and tufa samples were collected along a downstream section for stable isotope analysis. The measurements and the sample collectings were seasonal, in October 2013, and in February, May, and August 2016. The water temperature shows seasonal changes downstream, the values were decreased along the longitudinal profile during winter and increased in spring, autumn and summer. Major changes in pH and EC values were observed at the waterfalls. $\delta^{18}\text{O}$ and δD of water samples show seasonal patterns caused by evaporation during warmer periods. The $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of tufa do not represent a clear pattern. The stable isotope values of the tufa fit to the values of other tufas from Hungary and to tufas from the neighbouring countries confirming that the oxygen isotopic composition of the meteoric water is the main driver for the $\delta^{18}\text{O}$ values in tufa samples.

Bevezetés

A Bükk hegységben fontos természeti értéket képviselnek a gyakran előforduló mésztufa kiválások. Képződésük a meredekebb lejtőkhöz, topográfiai törésekhez, és a mederben lévő különböző akadályokhoz kötődik, amint azt a Szalajka-patak mentén is megfigyelhetjük. Ezekben a helyeken a CO₂ eltávozása következtében megváltozik a víz egyensúlyi állapota, és az oldott karbonát kiválik az oldatból. A forrástól folyásirányban távolodva a víz hőmérséklete évszakosan változik, emellett azonban az oldatból kiváló karbonát geokémiai összetételében is megfigyelhetünk esetenként évszakos változásokat (ANDREWS – BRASIER 2005, OSÁCAR et al. 2013). Az évszakos és/vagy környezeti feltételek megváltozása hatással van a mésztufák kiala-

kulására, így például a kalcitkristályok sűrűségének megváltozására is, ami a forrásmészke szövetében is megfigyelhető (KANO et al. 1999, MATSUOKA et al. 2001, KANO et al. 2003, KAWAI et al. 2006). A kalcit kiválásának mértéke általában nem egyenletes, változik az év folyamán: nyáron és ősszel magas, míg télen és tavasszal alacsony, sőt a források hosszabb-rövidebb időre télen a fagy, nyáron pedig a szárazság miatt időlegesen elapadhatnak, aminek következtében a kiválás is szünetelhet. Erre a szabályos rétegzettségére hatással lehet még a növényi aktivitás, illetve az egyéb környezeti feltételek.

Munkánkkal arra a kérdésre kerestük a választ, hogy a karsztvíz hőmérsékletében és a kémiai összetételében fennálló évszakos változások hogyan és milyen mértékben őrződnek meg a mederben lévő mésztufa kiválások geokémiai összetételében.

Vizsgált terület

A szilvásvárad Szalajka-völgy legnagyobb vízmennyiséget adó forrása a 450 m tszf magasságon fakadó Szalajka-forrás (HEVESI 1972), ami ott bukkan fel, ahol a triász időszi mészkőrétegek és az azokhoz támaszkodó, jórészt vízzáró agyagpala érintkeznek (AUJESZKY – SCHEUER 1979). A forrás vízgyűjtő területe a tőle D–DK-re húzódó, erősen karsztosodott Bükk-fennsík. A vízgyűjtő területének nagysága 8-10 km² (internet_A). Napjainkban a forrás átlagos évi vízhozama 4200 l/p (PELIKÁN [szerk.] 2005). A Szalajka-forrás a legnagyobb táplálója és forrása a Szalajka-pataknak, amelynek medrében számos mésztufa lerakódás figyelhető meg. Magát a völgyet is jelentős vastagságú mésztufa tölti ki, amely a Tótfalu-völgy csatlakozás előtt ékelődik ki (ZSILÁK 1960). A patakot nagyjából a völgy felső részén fakadó karsztforrások táplálják, melyek szélsőséges vízjárást mutathatnak. Szárazabb időszakokban előfordul, hogy a Szalajka-patak sem a felszínen, hanem az alatt, búvópatakként folytatja útját a meder egy hosszabb-rövidebb szakaszán. A hideg karsztvízként felszínre bukkanó Szalajka-forrás az oldott CO₂-t sokáig oldatban tudja tartani, ezért a mészanyag kiválása csak később, a forrástól távolabb indul meg. Az első jelentősebb mésztufa kiválás, amelyet mintáztunk, kb. 413 m távolságban volt a forrástól (I. táblázat). A Szalajka-forrástól mintegy 500 m-re egy látványos tetarátta figyelhető meg, ahol a mésztufa lépcsőkön megtörő víz vízesést formál. Ez a híres Fátyol-vízesés, amely a hegység és egyúttal hazánk egyik legtöbbet emlegetett tetarátás mésztufa előfordulása (I. ábra).



1. ábra. A Fátyol-vízesés.

Fig. 1 One of the most beautiful waterfall in Hungary, the Fátyol-Waterfall.



2. ábra. A Szikla-forrás.

Fig. 2 The Szikla-Waterfall.

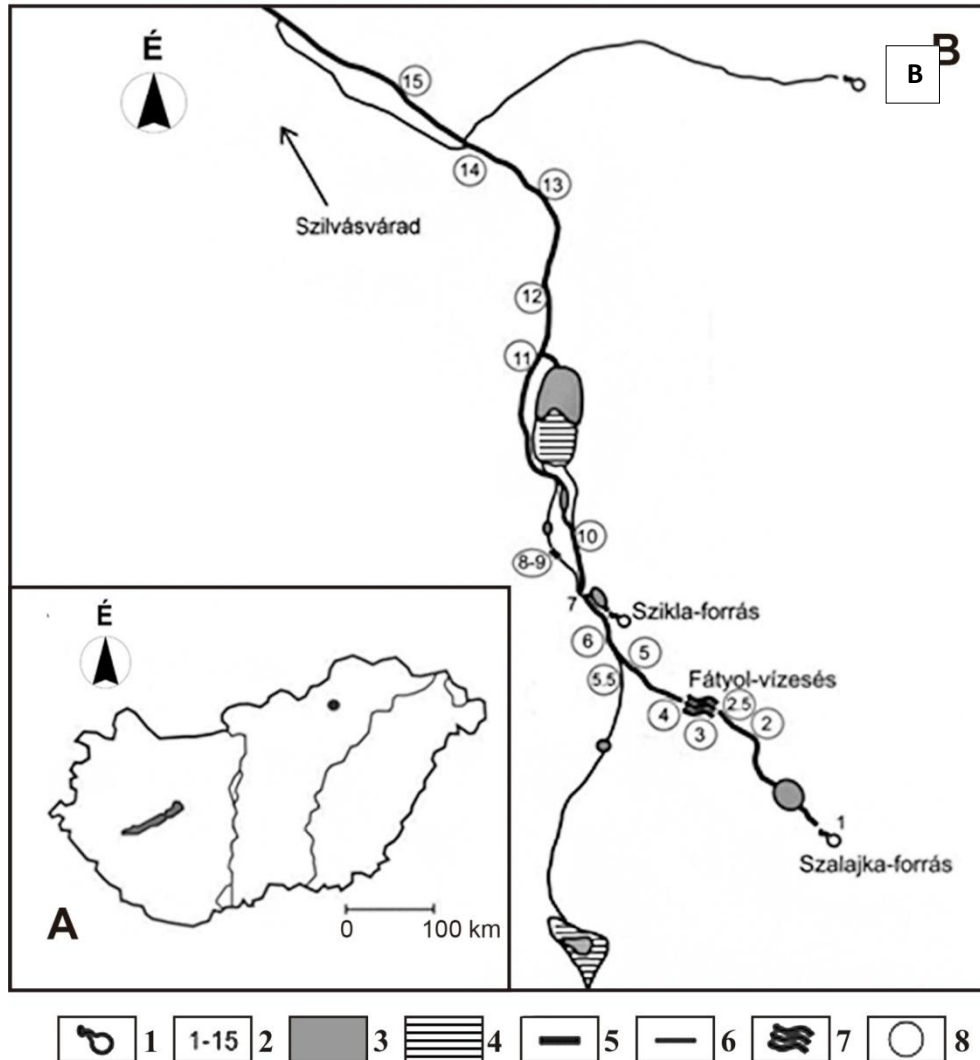
HEVESI (1972) mérései alapján a Szalajka-patakba rakott fadarabokon 1 év alatt 5 mm-es, néhol 1 cm-es mészbevonat képződött. A Szalajka-patak melletti halgazdasági őrház 2,8 m-es vízesésénél képződött mésztufatömb régi ércaprító kerekén 140 év alatt közel 280 cm magas, 150 cm sugarú, félhenger alakú mészanyag vált ki, évi 2 cm-es felületi vastagodással, amelynek értékét a moszat és mohapárnák növényi tevékenysége is nagyban elősegíti. A mésztufa kiválási sebességének pontosabb becslését a vízbe helyezett üveglemezek segítségével jelen munka keretei között kezdtük el. A Szalajka-patak másik fő tápláló forrása a Szikla-forrás (2. ábra), amely egy mészkőszirt aljában fakad ott, ahol a kőzetrétegek csapása közel merőleges a völgyre (*PELIKÁN* [szerk.] 2005). A forrás, mintegy 2 m magas vízesést képez (*AUJESZKY – SCHEUER* 1979). A forrást legnagyobb mennyiségben a mészkövön beszivárgó csapadékvíz táplálja, vízgyűjtő terü-

lete 4-6 km² (internet_B). Vízhozama ingadozó, a csapadék mennyiségének függvényében alakul, átlagos vízhozama 1700 l/p (PELIKÁN [szerk.] 2005).

Alkalmazott módszerek

A Szalajka-patak mentén 2013. október 15-én kezdtük el a méréseket. 2016-tól évszakos vizsgálatokat folytatunk (2016. február 11., május 22., augusztus 16). Összesen 15 db állandó mérőállomást (3B. ábra) határoztunk meg a folyásirányú szelvény mentén, a Szalajka-forrástól indulva. Az egyes állomásokat (mintavételi helyszíneket) a jelentősebb mésztufa előfordulási helyeken jelöltük ki, illetve ott, ahol egyéb tényező (pl. hozzáfolyás) módosító hatását feltételeztük. A mérőállomásokon pH-t, vízhőmérsékletet, és vezetőképességet mértünk, valamint víz és mésztufa mintákat gyűjtöttünk. Mivel nem minden mérési ponton volt forrásmészke kiválás, így karbonátmintákat összesen 13 helyről vettünk. A terepi mérések során VWR ph10 (pontossága: pH esetében $\pm 0,02$, hőmérsékletnél $\pm 0,3$ °C) és PCTestr 35 (pontossága: vezetőképesség esetében $\pm 1\%$ a teljes skálára vonatkoztatva), Hanna HI9811-5 (pH $\pm 0,02$, hőmérséklet $\pm 0,5$ °C, EC $\pm 2\%$, TDS $\pm 2\%$), és Adwa AD12 (pH $\pm 0,01$, hőmérséklet $\pm 0,5$ °C) műszereket használtunk.

Méréseként 13 db forrásmészke mintán készültek stabil szén- és oxigénizotópos elemzések az MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézetében Finnigan delta Plus XP tömegspektrométerrel, a Spötl és Vennemann (2003) által leírt vivőgázás technika alkalmazásával. Az izotópos összetételt a hagyományos δ értékkel fejeztük ki ezrelékben (‰) a V-PDB ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) és V-SMOW (δD , $\delta^{18}\text{O}$) sztenderdekhez viszonyítva. A reprodukálhatóság mind a $\delta^{13}\text{C}$, mind a $\delta^{18}\text{O}$ értékek esetében $\pm 0,05$ ‰ volt. A Szalajka-patak mentén, a forrástól kezdődően folyásirányban összesen 15 db vízmintát gyűjtöttünk mérésenként. A vízminták $\delta^{18}\text{O}$ és δD elemzése a MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézetében, LGR LWIA-24 típusú lézerspektroszkóppal készült. A mérések bizonytalansága $\delta^{18}\text{O}$ értékeknél $\pm 0,2$ ‰, δD esetében ± 1 ‰ volt.

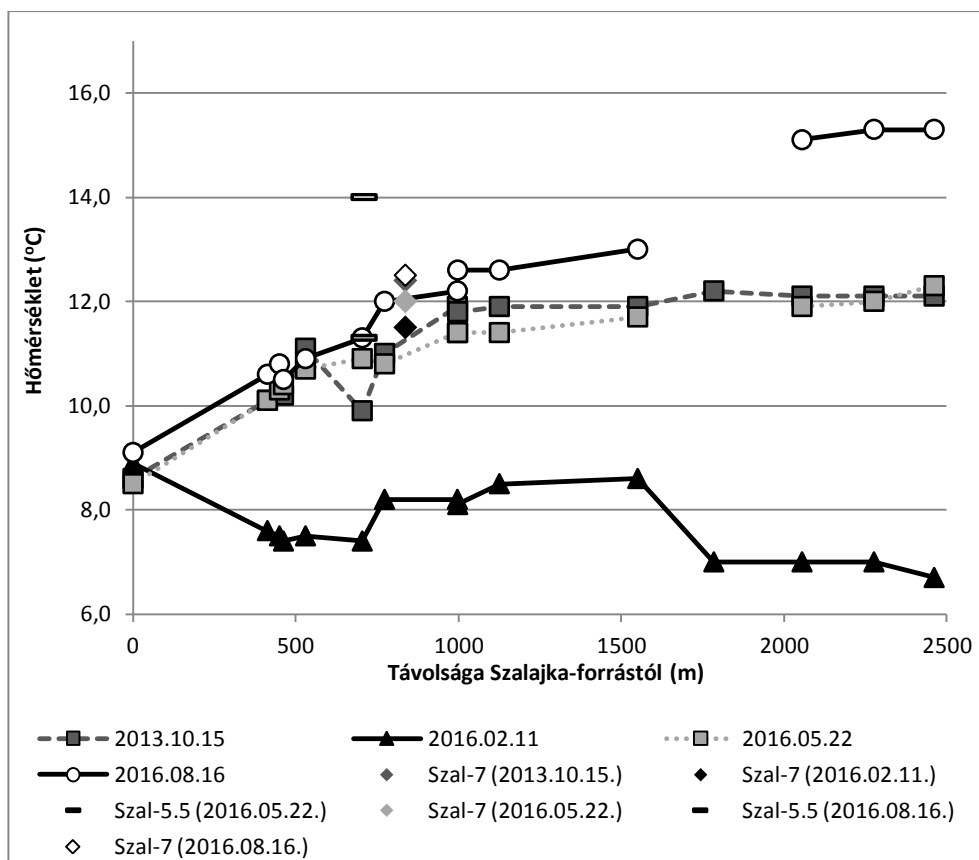


3. ábra. A) A vizsgált terület elhelyezkedése. B) A Szalajka-patak hosszmetezete mérőállomásokkal.
 Jelmagyarázat: 1. forrás, 2. mérési és mintavételi pont, 3. tó, halastó, 4. időszakosan vízzel borított terület, 5. patak, 6. felszíni hozzáfolyás, 7. vízesés, 8. az állomáson mésztufa gát található

Fig. 3 A) The studied area in Bükk Mts., Hungary. B) Downstream profile of the Szalajka-creek with the sampling points.

Legend: 1. spring, 2. measurements and sampling points, 3. pool, fishpond, 4. intermittently water covered area, 5. creek, 6. surface inflow, 7. waterfall, 8. station with freshwater tufa deposit

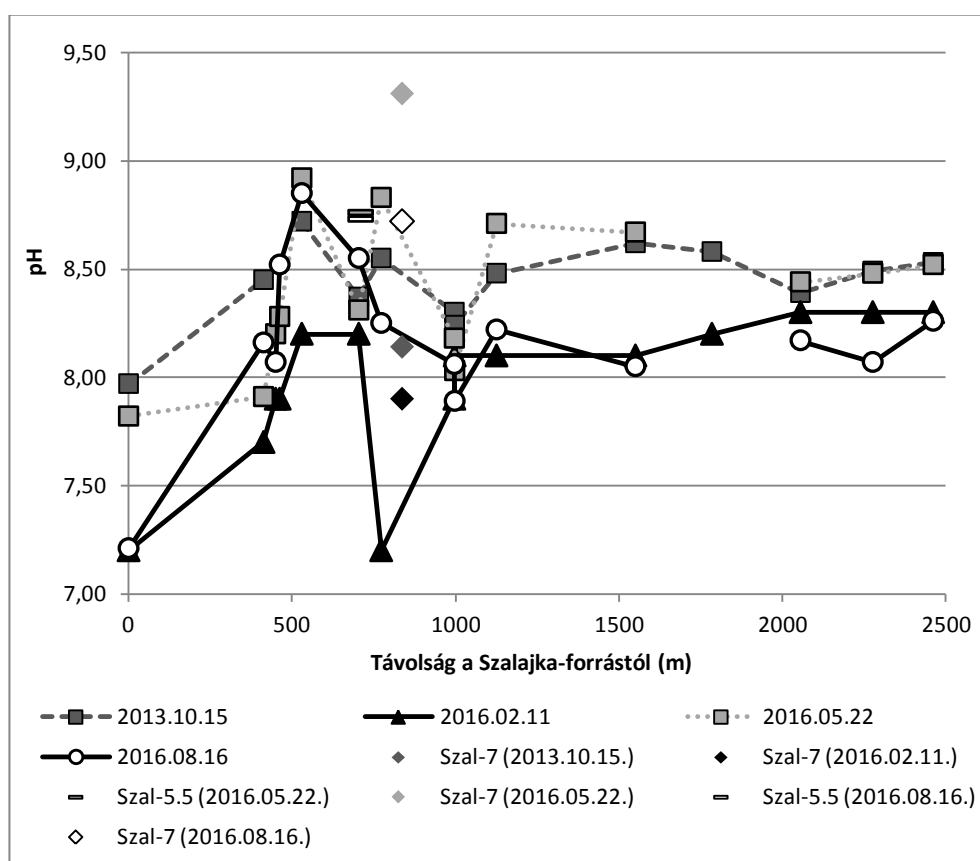
Eredmények és értékelés



4. ábra. A Szalajka-patak vízhőmérsékletének változása a szelvény mentén a vizsgált időszakokban.
 Fig. 4 Change of water temperature along the section.

A folyásirányban történő vízhőmérséklet változás évszakfüggő: hűvösebb évszakban a forrástól távolodva az értékek csökkennek, míg melegebb időszakban növekednek. Ezt az évszakos változást figyelhetjük meg a Szalajka-patak vízhőmérsékleti értékeiben is (4. ábra, I. táblázat). A diagramon a Szal-5.5 jelzés a Horotna-völgy felőli hozzáfolyást jelöli a csatlakozás előtt néhány méterrel, míg a Szal-7 jelzésű értékek a Szikla-forrás hozzáfolyását jelölik a Szalajka-patakhoz. A Szalajka-forrás hőmérséklete a mérések alkalmával nem mutatott jelentős változást (ősz: 8,6 °C, tél: 8,9 °C, tavasz: 8,5 °C, nyár: 9,1 °C). Folyásirányban haladva, azonban a vízhőmérsékleti értékek évszakosan változtak. A 2016 téli mérés alkalmával a Szalajka-forrástól távolodva 7,0–6,7 °C-ra csökkentek a vízhőmérsékleti értékek, míg a 2013 őszén és 2016 tavaszán mért értékek kb. azonos mértékű nagyságrenddel növekedtek (ősz: 12,1 °C, tavasz: 12,0–12,3 °C). A legjelentősebb

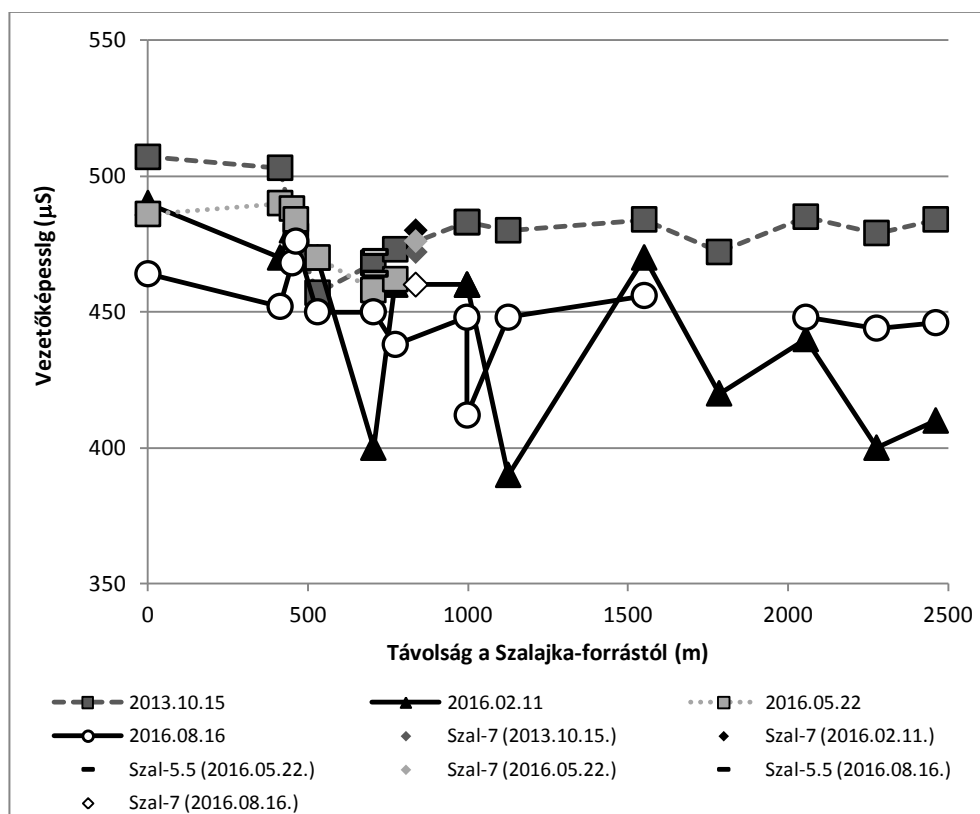
vízhőmérsékleti változást a szelvény mentén a 2016-os nyári mérés során mértük. A szelvény utolsó mérési pontjain a vízhőmérséklet elérte a 15,1–15,3 °C-ot.



5. ábra. pH érték változása a szelvény mentén.
Fig. 5 Changes in pH downstream.

Összességében elmondható, hogy folyásirányban haladva a vízhőmérsékleti értékek a 2013 októberi, 2016 májusi, és 2016 augusztusi mérések alkalmával növekedtek, míg 2016 februárjában csökkentek. Néhány mérőponton eltérést tapasztaltunk, ahol a szomszédos mérőállomásokhoz képest alacsonyabb vagy magasabb volt a víz hőmérséklete. Az értékeket egyaránt befolyásolhatta a növényzet, a völgy geomorfológiája, a víz helyenkénti felszín alatti haladása valamint a felszín alatti és a felszíni hozzáfolyások. A 7. mérőállomáson a Szikla-forrás vizének a Szalajka-patakhöz történő hozzáfolyása okozta az eltérést a víz hőmérsékletében. Méréseink idején a Szikla-forrás hőmérséklete 12,4 °C (ősz), 11,5 °C (tél), 12,0 °C (ta-

vasz) 12,5 °C (nyár) körül változott. A Szikla-forrás vize nem közvetlenül folyik hozzá a Szalajka-patakhhoz, hanem egy kisebb felszíni medencéből, amely a napsugárzás hatására melegebbé válhat. A pizstrángos tavak vizének hozzáfolyása a patakhhoz további módosító tényező lehet az összes mért paraméterre vonatkozóan (FUTÓ 1968).



6. ábra. A Szalajka-patak szelvénye mentén mért vezetőképesség adatai.
Fig. 6 Changes in electric conductivity downstream.

A mért pH értékeket az 5. ábra és az I. táblázat foglalja össze. Az adatok 2013 októberében 7,97–8,62; 2016 februárjában 7,2–8,3; 2016 májusában 7,82–8,92, és 2016 nyarán 7,21–8,85 között változtak. A legalacsonyabb pH értékeket (7,97; 7,2; 7,82, 7,21) a Szalajka-forrásnál mértünk, ahol nem tapasztaltunk forrásmész-képződést. A legmagasabb pH értékeket a 4. állomáson, a Fátyol-vízesés után mértünk (ősz: 8,72; tél: 8,2; tavasz: 8,92; nyár: 8,85). A szelvény mentén haladva az 5. és 10. állomások között változtak jelentősebben az értékek, amelyekre a hozzáfolyások (pl. Horotnavorölgy, Szikla-forrás) és a változó mennyiségű karbonát lerakódás lehetett

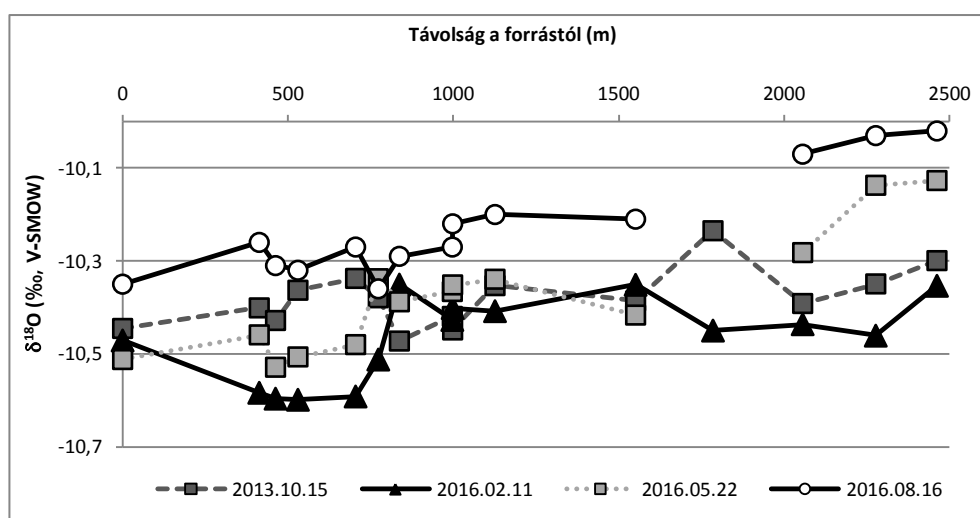
hatással. A 10. állomástól kezdődően, folyásirányban haladva, az értékek nem mutatnak jelentős változást.

A szelvény menti legjelentősebb pH változás az 1. (Szalajka-forrás) és a 4. (Fátyol-vízesés alatt) állomás között mutatható ki, ami a CO₂ oldatból való eltávozásának következménye.

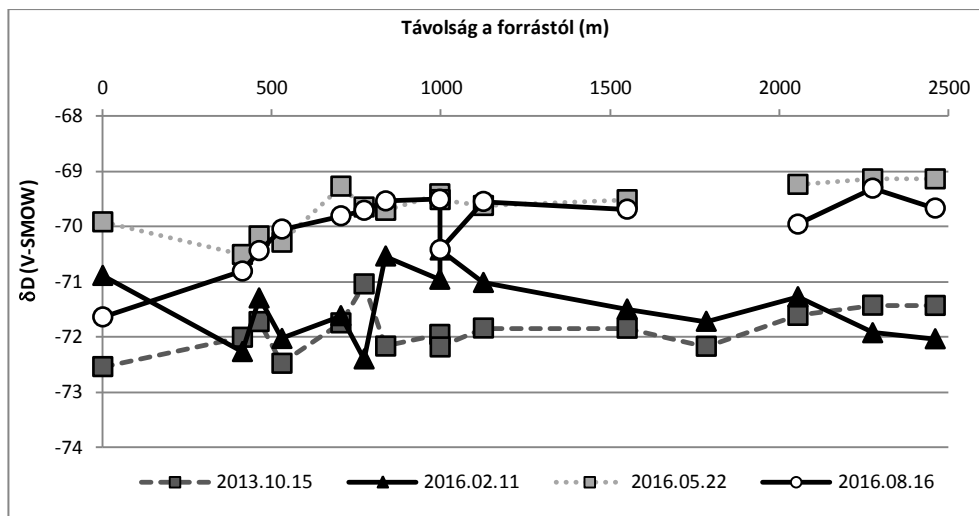
A vezetőképesség értékei őszen 457–507 μS, télen 390–490 μS, nyáron 395–476 μS között változtak (6. ábra, I. táblázat). A tavaszi mérés során csak a 7. állomásig mértünk adatokat (458–490 μS) a műszer technikai hibája miatt. A 2013 őszi, 2016 februári és tavaszi mérésnél megfigyelhető egy jelentős kezdeti csökkenés a 4., 5. állomásig. Ősszel a vezetőképesség nem változik jelentősen a szelvény mentén, télen azonban ingadozik, míg a szelvény végére érve ismét csökken. A nyári mérés értékei a nagyobb vízeséseknél mutatnak némi ingadozást.

Stabilizotópos adatok értelmezése

A Szalajka-patak vizének stabilizotópos összetétele



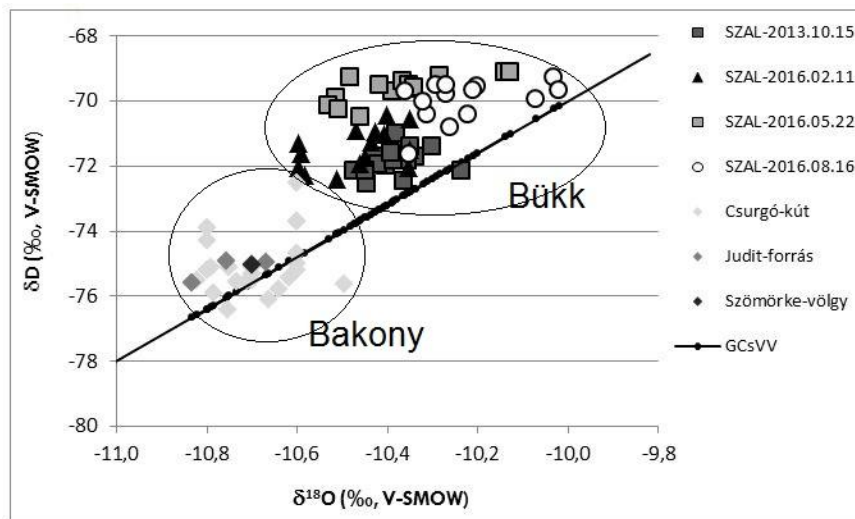
7. ábra. A Szalajka-patak vizének $\delta^{18}O$ értékei.
Fig. 7 The $\delta^{18}O$ values of water.



8. ábra. A Szalajka-patak vizének δD értékei.
 Fig.8 The δD data of water along the Szalajka-Creek.

A Szalajka-patak $\delta^{18}O$ értékei a következően változtak: 2013 októberében $-10,5 - -10,2$ ‰ (V-SMOW), 2016 februárjában $-10,6 - -10,4$ ‰ (V-SMOW), 2016 májusában $-10,5 - -10,1$ ‰ (V-SMOW) és 2016 augusztusában $-10,4 - -10,0$ ‰ (V-SMOW) (7. ábra, II. táblázat). A patakvíz $\delta^{18}O$ értékének teljes változása a szelvény mentén a 2013 őszi és a 2016 téli mérések folyamán mindössze $0,3$ ‰ illetve $0,2$ ‰, ami közel azonos a mérési hibahatárral ($0,2$ ‰). Vagyis az őszi és a téli mérés alapján megállapíthatjuk, hogy a víz $\delta^{18}O$ értéke a folyásirányban nem változott jelentősen. A 2016 tavaszi és nyári mintázáskor a teljes szelvény menti változás $0,4$ ‰, mely a forrástól legtávolabb eső mérőállomásokon figyelhető meg jelentősebben. A nyári minták $\delta^{18}O$ értékei a legkevésbé negatívabbak a többi méréshez képest, feltehetően a párolgás hatása miatt.

A patak δD értékei -73 és -71 ‰ (V-SMOW) között változtak 2013 októberében és 2016 februárjában. 2016 májusában -70 és -69 ‰ (V-SMOW), míg 2016 augusztusában $-72 - -69$ ‰ (V-SMOW) közötti értékeket mértünk (8. ábra, II. táblázat). A δD változása a teljes szelvény mentén 2 ‰ októberben és februárban, 1 ‰ májusban és 3 ‰ augusztusban. A δD értékek mérésenként közel állandónak tekinthetők a szelvény mentén. A májusi és a nyári mintavétel értékei pozitívabbak, ami utalhat a párolgás mértékének megváltozására.



9. ábra. A Szalajka-patak stabilizotópos összetétele és összehasonlítása néhány bakonyi mintával (Csurgó-kút, Judit-forrás, Szömörke-völgy).

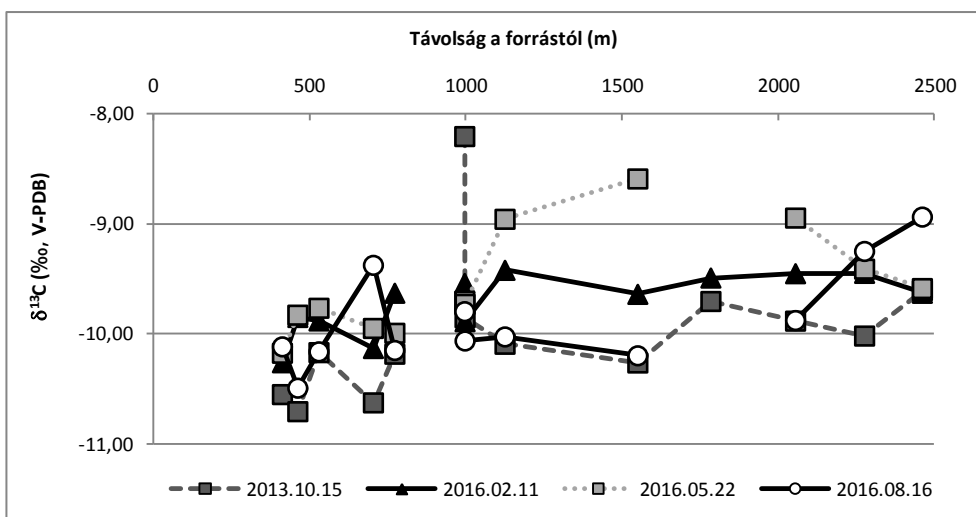
Fig. 9 Stable isotope composition of Szalajka-creek compared with data from Bakony Mts. (Hungary) (Csurgó-Spring, Judit-Spring, Szömörke-Valley)

A 9. ábra a Szalajka-patak stabilizotópos összetételét hasonlítja össze néhány bakonyi vízmintával. A bakonyi minták közül a Csurgó-kúti értékek a 2012. május – 2014. május közötti havi rendszerességgel történt mintagyűjtést, míg a Judit-forrás és a Szömörke-völgy vízmintái a 2013. augusztusi értéket tükrözik. A Szalajka-patak mért értékei közel helyezkednek a Globális Csapadékvíz Vonalhoz (GCsVV), ami nem meglepő, mivel a Szalajka-patak legnagyobb utánpótlását a csapadékvízből kapja, hasonlóan a bakonyi mintákhoz (BÓDAI et al. 2015).

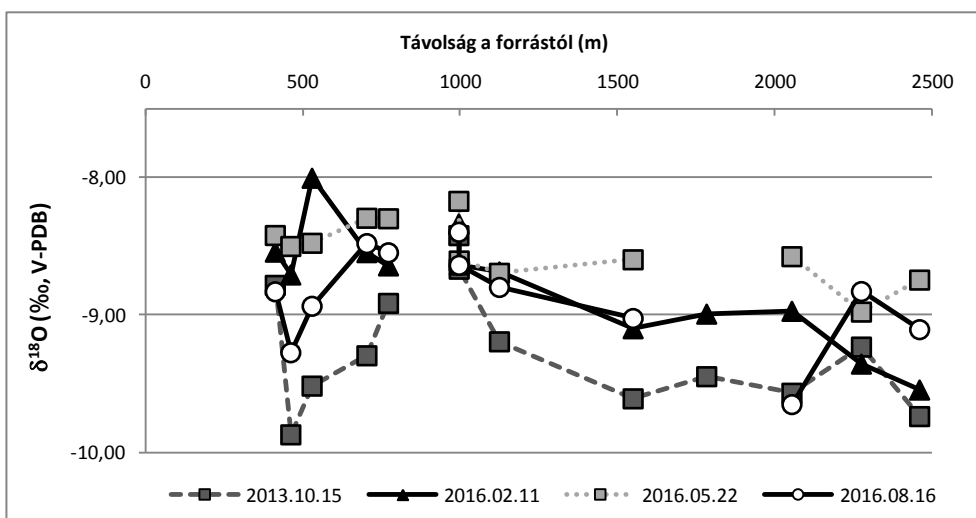
Az ábrán megfigyelhetjük, hogy a szalajka-pataki és a bakonyi minták két külön csoportot alkotnak. A magassági hatás átlagosan 0,2 – 0,7 ‰ / 100 m változást okozna az oxigénizotópos összetételben (AMBACH et al. 1968, ANDREWS 2006), vagyis a tengerszint feletti magasság növekedésével a csapadék izotópos összetétele általában egyre negatívabbá/könnyebbé válik. A diagramon ezzel szemben az látható, hogy az alacsonyabb tengerszint feletti magasságú helyeken (Csurgó-kút ~290 m, Judit-forrás ~375 m, Szömörke-völgy ~320 m) gyűjtött bakonyi minták a negatívabbak, míg a magasabb tengerszint felett elhelyezkedő (450-380 m) bükki minták a pozitívabbak. A víz stabilizotópos értékeire hatással lehet a felszín alatti tartózkodási idő, keveredés más izotópos összetételű vízzel, a csapadék eredete stb. Az évszakosan eltérő csapadék izotópos értékeket (δD , $\delta^{18}O$) a tartózkodási idő kiegyenlítheti, amit a bakonyi Csurgó-kút esetében is megfigyel-

hetünk (BÓDAI et al. 2015), és ez a szalajka-pataki mintáknál is fennálló tényező lehet.

A Szalajka-patak mésztufáinak stabilizotópos összetétele



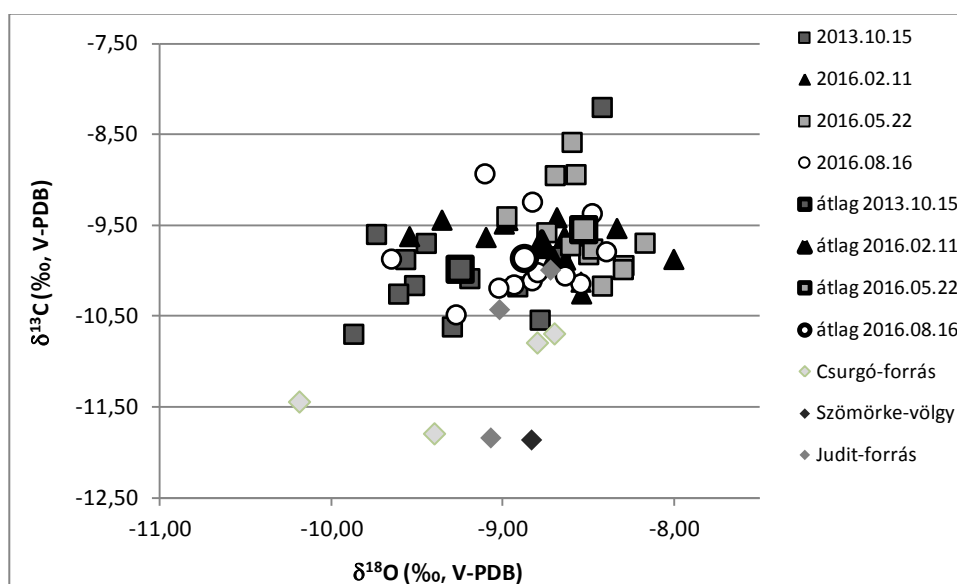
10. ábra. A Szalajka-patak mésztufáinak δ¹³C értéke a szelvény mentén.
Fig. 10 The δ¹³C values of freshwater carbonate downstream.



11. ábra. A Szalajka-patak mésztufáinak δ¹⁸O értéke a szelvény mentén.
Fig. 11 The δ¹⁸O values of freshwater carbonate downstream.

A Szalajka-patak mésztufáinak δ¹³C értékei 2013 októberében -10,70 ‰ és -8,21 ‰ (V-PDB), 2016 februárjában -10,26 ‰ és -9,42 ‰ (V-PDB), a

2016 májusi mintavétel értékei $-10,17$ ‰ és $-8,5$ ‰ (V-PDB), míg 2016 augusztusában $-10,49$ ‰ és $-8,94$ ‰ (V-PDB) között mozogtak (10. ábra). A $\delta^{18}\text{O}$ értékek 2013 őszén $-9,87$ ‰ és $-8,42$ ‰ (V-PDB) között változtak, 2016 telén $-9,55$ ‰ és $-8,00$ ‰ (V-PDB), 2016 tavaszán az értékek $-8,98$ és $-8,17$ ‰ (V-PDB), és 2016 nyarán $-9,65$ ‰ és $-8,48$ ‰ (V-PDB) között alakultak (11. ábra, III. táblázat).



12. ábra. A Szalajka-patak mésztufáinak stabilizotópos értéke és összehasonlítása néhány bakonyi mésztufa mintával.

Jelmagyarázat: 1: Szalajka-patak, 2: Csurgó-kút, 3: Judit-forrás, 4: Szömörke-völgy.

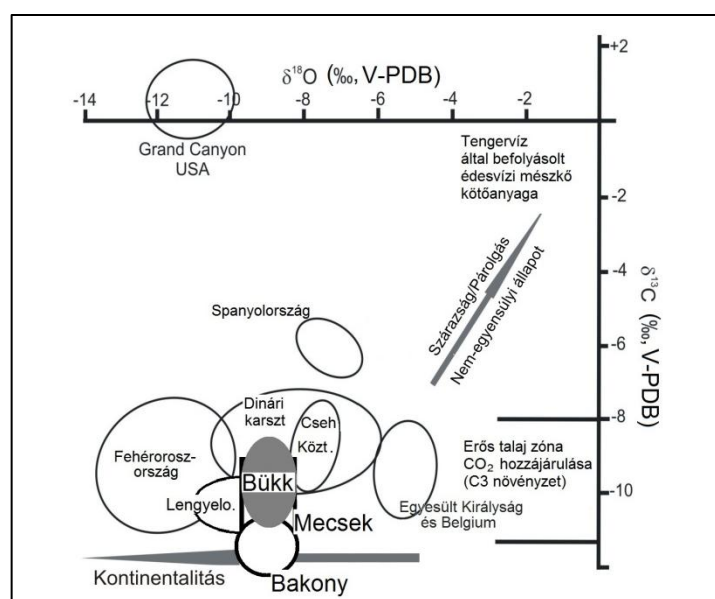
Fig. 12 Freshwater tufa of Szalajka-creek compared with data from Bakony Mts. (Hungary).

Legend: 1: Szalajka-creek, 2: Csurgó-spring, 3: Judit-spring, 4: Szömörke-valley.

A 12. ábra és a III. táblázat mutatja a szelvény menti mérőállomásokon gyűjtött mésztufa minták szén- és oxigénizotópos összetételét, illetve ezen értékek átlagát. Látható, hogy a mésztufa minták $\delta^{13}\text{C}$ értékei nem különböznek el markánsan egymástól sem a különböző időpontokban gyűjtött bükki minták, sem pedig a bükki és bakonyi mésztufa minták összehasonlításakor. A bakonyi minták szénizotópos összetétele $-11,9$ ‰ és $-10,0$ ‰ (V-PDB) között változott, átfedve a bükki minták értékeivel. A bakonyi minták kissé negatívabb $\delta^{13}\text{C}$ értékeit okozhatta a jelentősebb talajaktivitás, és a növényi tevékenység által termelt szerves eredetű CO_2 , amely egyes bakonyi mintáknál erőteljesebben lehetett jelen. Az értékeket befolyásolhatta továbbá, hogy a bakonyi minták a nyári (augusztus), míg a Szalajka-

pataki minták az októberi, februári, májusi, és augusztusi időszakból származnak. A nyáron aktívabb növényi tevékenység miatt a kiváló karbonát értéke izotóposan negatívabb lehet, mint a vegetáció nélküli időszakokban (PENTECOST 2005).

Az oxigénizotópos összetétel azt tükrözi, hogy a mésztufák hideg vízzű forrásból, patakból váltak ki. A bakonyi minták vízhőmérséklete, amiből a karbonát kivált, 9,2-13,1 °C között, a Szalajka-pataké 10,1-12,2 °C (ősz); 7,4-8,7 °C (tél); 10,1-12,3 °C (tavasz) között változott.



13. ábra. A Szalajka-patak mésztufáinak stabilizotópos összetételének összevetése bakonyi, mecseki mésztufákkal és egyéb nemzetközi előfordulásokkal. Az ábra ANDREWS (2006) alapján, Koltai et al. (2012. b) ábrájának felhasználásával készült.

Fig. 13 Stable isotope values of the Szalajka tufa samples fit to the data of tufas from other Hungarian mountains (e.g. Bakony Mts., Mecsek Mts..) and to the values from the neighbouring countries established by ANDREWS (2006).

A Szalajka-patak mésztufái a stabil szén- és oxigénizotópos összetétel szempontjából hasonlóak a bakonyi (BÓDAI et al 2015), mecseki (KOLTAI et al. 2012 a,b), és a bükki Sebesvíz (KELE 2009) mésztufáinak stabilizotópos összetételéhez, valamint a nemzetközi irodalmakat (pl. ANDREWS et al. 1997, ANDREWS 2006) is figyelembe véve a szomszédos országok mésztufáinak stabilizotópos értékeihez (13. ábra). Ennek fő oka az, hogy mésztufák térbeli és földrajzi elhelyezkedésével az éghajlati adottságok is változnak, ami kimutatható a mésztufák izotópos összetételének méréseiből.

I. táblázat. A vízmintákon mért paraméterek.
Table I. Measured parameters from the water.

| Hely: Bükk hegység, Szalajka-völgy, Szalajka-patak | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| Mérőpont | Szal-1 | Szal-2 | Szal-2.5 | Szal-3 | Szal-4 | Szal-5 | Szal-5.5 | Szal-6 | Szal-7 | Szal-8 | Szal-9 | Szal-10 | Szal-11 | Szal-12 | Szal-13 | Szal-14 | Szal-15 | |
| Forrástól való távolság (m) | - | 413 | 450 | 462,3 | 530 | 704,3 | 710 | 772,9 | 836,7 | 996,7 | 997,7 | 1125,7 | 1550,7 | 1784,7 | 2055,7 | 2276,7 | 2461,7 | |
| pH | 2013.10.15 | 7,97 | 8,45 | - | - | 8,72 | 8,37 | - | 8,55 | 8,14 | 8,30 | 8,24 | 8,48 | 8,62 | 8,58 | 8,39 | 8,49 | 8,53 |
| | 2016.02.11 | 7,2 | 7,7 | 7,9 | 7,9 | 8,2 | 8,2 | - | 7,2 | 7,9 | 7,9 | 8,1 | 8,1 | 8,1 | 8,2 | 8,3 | 8,3 | 8,3 |
| | 2016.05.22 | 7,82 | 7,91 | 8,2 | 8,28 | 8,92 | 8,31 | 8,76 | 8,83 | 9,31 | 8,18 | 8,03 | 8,71 | 8,67 | - | 8,44 | 8,48 | 8,52 |
| | 2016.08.16 | 7,21 | 8,16 | 8,07 | 8,52 | 8,85 | 8,55 | 8,73 | 8,25 | 8,72 | 8,06 | 7,89 | 8,22 | 8,05 | - | 8,17 | 8,07 | 8,26 |
| T (°C) | 2013.10.15 | 8,6 | 10,1 | - | 10,2 | 11,1 | 9,9 | - | 11,0 | 12,4 | 11,9 | 11,8 | 11,9 | 11,9 | 12,2 | 12,1 | 12,1 | 12,1 |
| | 2016.02.11 | 8,9 | 7,6 | 7,5 | 7,4 | 7,5 | 7,4 | - | 8,2 | 11,5 | 8,2 | 8,1 | 8,5 | 8,6 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 6,7 |
| | 2016.05.22 | 8,5 | 10,1 | 10,3 | 10,4 | 10,7 | 10,9 | 11,3 | 10,8 | 12,0 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,7 | - | 11,9 | 12,0 | 12,3 |
| | 2016.08.16 | 9,1 | 10,6 | 10,8 | 10,5 | 10,9 | 11,3 | 14,0 | 12,0 | 12,5 | 12,2 | 12,6 | 12,6 | 13,0 | - | 15,1 | 15,3 | 15,3 |
| EC (µS) | 2013.10.15 | 507 | 503 | - | 478 | 457 | 468 | - | 473 | 472 | 483 | 483 | 480 | 484 | 472 | 485 | 479 | 484 |
| | 2016.02.11 | 490 | 470 | 480 | 480 | 470 | 400 | - | 460 | 480 | 460 | 460 | 390 | 470 | 420 | 440 | 400 | 410 |
| | 2016.05.22 | 486 | 490 | 488 | 484 | 470 | 458 | 464 | 462 | 476 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2016.08.16 | 464 | 452 | 468 | 476 | 450 | 450 | 472 | 438 | 460 | 448 | 412 | 448 | 456 | - | 448 | 444 | 446 |

II. táblázat. A Szalajka patak mentén gyűjtött vízminták stabilizotópos összetétele.
Table II Stable isotope composition of water samples collected downstream.

| Helyszín: Bükk hegység, Szilvásvárad, Szalajka-völgy | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| | 2013.10.15. | | 2016.02.11. | | 2016.05.22. | | 2016.08.16. | |
| Mérőállomás (szám) | $\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW, ‰) | δD (V-SMOW, ‰) | $\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW, ‰) | δD (V-SMOW, ‰) | $\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW, ‰) | δD (V-SMOW, ‰) | $\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW, ‰) | δD (V-SMOW, ‰) |
| Szal1- | -10,5 | -73 | -10,5 | -71 | -10,5 | -70 | -10,4 | -72 |
| Szal-2 | -10,4 | -72 | -10,6 | -72 | -10,5 | -71 | -10,3 | -71 |
| Szal-3 | -10,4 | -72 | -10,6 | -71 | -10,5 | -70 | -10,3 | -70 |
| Szal-4 | -10,4 | -73 | -10,6 | -72 | -10,5 | -70 | -10,3 | -70 |
| Szal-5 | -10,3 | -72 | -10,6 | -72 | -10,5 | -69 | -10,3 | -70 |
| Szal-6 | -10,4 | -71 | -10,5 | -72 | -10,3 | -70 | -10,4 | -70 |
| Szal-7 | -10,5 | -72 | -10,4 | -71 | -10,4 | -70 | -10,3 | -70 |
| Szal-8 | -10,4 | -72 | -10,4 | -71 | -10,4 | -6 | -10,3 | -70 |
| Szal-9 | -10,5 | -72 | -10,4 | -70 | -10,4 | -70 | -10,2 | -70 |
| Szal-10 | -10,4 | -72 | -10,4 | -71 | -10,3 | -70 | -10,2 | -70 |
| Szal-11 | -10,4 | -72 | -10,4 | -72 | -10,4 | -70 | -10,2 | -70 |
| Szal-12 | -10,2 | -72 | -10,5 | -72 | - | - | - | - |
| Szal-13 | -10,4 | -72 | -10,4 | -71 | -10,3 | -69 | -10,1 | -70 |
| Szal-14 | -10,4 | -71 | -10,5 | -72 | -10,1 | -69 | -10,0 | -69 |
| Szal-15 | -10,3 | -71 | -10,4 | -72 | -10,1 | -69 | -10,0 | -70 |

III. táblázat. A Szalajka patak mentén gyűjtött mésztufák stabilizotópos összetétele.
 Table III Stable isotope composition of freshwater tufa samples collected downstream at the Szalajka-creek.

| Helyszín: Bükk hegység, Szilvássvár, Szalajka-völgy | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------|------------|------------|------------|----------------------------------|------------|------------|------------|-----------------------------------|------------|------------|------------|
| Mérőállomás | $\delta^{13}\text{C}$ (‰, V-PDB) | | | | $\delta^{18}\text{O}$ (‰, V-PDB) | | | | $\delta^{18}\text{O}$ (‰, V-SMOW) | | | |
| | 2013.10.15 | 2016.02.11 | 2016.05.22 | 2016.08.16 | 2013.10.15 | 2016.02.11 | 2016.05.22 | 2016.08.16 | 2013.10.15 | 2016.02.11 | 2016.05.22 | 2016.08.16 |
| Szal-2 | -10,55 | -10,26 | -10,17 | -10,12 | -8,78 | -8,54 | -8,42 | -8,83 | 21,85 | 22,10 | 22,23 | 21,81 |
| Szal-3 | -10,70 | -9,85 | -9,83 | -10,49 | -9,87 | -8,71 | -8,50 | -9,27 | 20,73 | 21,93 | 22,15 | 21,35 |
| Szal-4 | -10,17 | -9,88 | -9,77 | -10,16 | -9,52 | -8,00 | -8,48 | -8,94 | 21,10 | 22,66 | 22,17 | 21,70 |
| Szal-5 | -10,62 | -10,13 | -9,95 | -9,38 | -9,30 | -8,55 | -8,30 | -8,48 | 21,33 | 22,10 | 22,36 | 22,17 |
| Szal-6 | -10,18 | -9,63 | -9,99 | -10,15 | -8,91 | -8,64 | -8,30 | -8,55 | 21,72 | 22,00 | 22,35 | 22,10 |
| Szal-8 | -8,21 | -9,54 | -9,70 | -9,80 | -8,42 | -8,34 | -8,17 | -8,40 | 21,91 | 22,32 | 22,48 | 22,25 |
| Szal-9 | -9,85 | -9,89 | -9,73 | -10,06 | -8,67 | -8,64 | -8,61 | -8,64 | 21,98 | 22,01 | 22,04 | 22,00 |
| Szal-10 | -10,09 | -9,42 | -8,96 | -10,03 | -9,19 | -8,69 | -8,70 | -8,80 | 21,43 | 21,96 | 21,95 | 21,84 |
| Szal-11 | -10,26 | -9,64 | -8,59 | -10,20 | -9,61 | -9,10 | -8,60 | -9,02 | 21,00 | 21,53 | 22,05 | 21,61 |
| Szal-12 | -9,70 | -9,49 | - | - | -9,45 | -8,99 | - | - | 21,16 | 21,64 | - | - |
| Szal-13 | -9,88 | -9,45 | -8,95 | -9,88 | -9,57 | -8,97 | -8,58 | -9,65 | 21,05 | 21,66 | 22,07 | 20,96 |
| Szal-14 | -10,02 | -9,45 | -9,41 | -9,25 | -9,23 | -9,36 | -8,98 | -8,83 | 21,39 | 21,26 | 21,65 | 21,81 |
| Szal-15 | -9,61 | -9,63 | -9,59 | -8,94 | -9,74 | -9,55 | -8,75 | -9,11 | 20,87 | 21,07 | 21,89 | 21,52 |

Vagyis a mésztufa gátak izotópos értékei tükrözik a csapadékvíz oxigénizotópos összetételét, ami az adott területre jellemző klímáról (pl. a kontinentális hatás) szolgáltatathat információt.

Összefoglalás

Munkánk során a szilvásváradai Szalajka-forrást, a belőle eredő Szalajka-patak vizét, valamint a patakban kiváló mésztufa képződményeket vizsgáltuk. Célunk a folyásirányú szelvény mentén bekövetkező pH, T és EC, valamint stabilizotóp-összetételbeli változások szezonális jellemzése volt. Megfigyeléseink alapján a vízhőmérsékleti értékeket a növényzet, a felszín alatti haladás és utánpótlás, valamint a felszíni hozzáfolyások vízhőmérséklete és a pisztrángos tavak meglete befolyásolhatták. A víz hőmérséklete évszakos változást mutatott, télen a mért értékek csökkentek folyásirányban, míg ősszel, tavasszal és nyáron növekedtek.

A pH és a vezetőképesség értékeknél kimutatható, hogy pH esetében a növekedés, vezetőképesség esetében a csökkenés a vizesésnél történő erős CO₂ kigázosodás miatti mésztufa kiváláshoz kapcsolódott. A kezdeti változások után azonban az értékek nem változtak jelentősen a szelvény mentén.

A Szalajka-patak vizének $\delta^{18}\text{O}$ értékei nyáron pozitívabbak, télen pedig negatívabbak, valamint az őszi és tavaszi mintázás adatai a téli és nyári adatok között helyezkednek el. Jelentősebb különbséget a szelvény vége felé figyelhetünk csak meg. A víz δD értékei közül a tavaszi és nyári eredmények pozitívabbak, melyekre a melegebb időszak miatt bekövetkező nagyobb mértékű párolgás lehetett hatással. Összességében elmondható, hogy sem a vízminták, sem pedig a mésztufa minták stabilizotópos összetétele nem változott jelentősen a Szalajka-patak mentén vizsgált folyásirányú szelvény esetében és a szezonális eltérések sem mondhatóak jelentősnek.

A Szalajka-patak mésztufái a stabilizotópos mérések alapján hasonlóságot mutatnak a Bakonyban és a Mecsekben található mésztufák, valamint a szomszédos országok mésztufáinak értékeivel. Ennek oka feltehetőleg az előfordulások hasonló földrajzi elhelyezkedésében (kontinentális hatás mértéke hasonló lehet) keresendő.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük Dr. Demény Attilának, a MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézet igazgatójának a lehetőséget, hogy mintáinkon stabilizotóp-geokémiai vizsgálatok készülhettek, illetve az Intézet munkatársainak, Czuppon Györgynek és Hegyi Istvánnak a mérésekben nyújtott segítségét. Köszönet

Fehér Katalinnak, az ELTE Környezet-és Tájföldrajzi Tanszék oktatójának, hogy rendelkezésünkre bocsátotta a terepei műszereket. Köszönjük a Bükk Nemzeti Park Igazgatóságának méréseink engedélyezését. Kele Sándort az OTKA (101664) kutatási projekt és a Bolyai János kutatási ösztöndíj támogatta.

IRODALOM

AMBACH W.–DANSGAARD W.–EINSER H.–MOLLER J. (1967): The altitude effect on the isotopic composition of precipitation and glacier ice in the Alps – *Tellus* XX, 4, pp. 596–600.

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 – Elsevier. *Earth–Science Reviews* 75. pp. 85–104.

AUJESZKY G.–SCHEUER GY. (1979): A Ny-bükki karsztforrások foglaltsainak vízföldtani tapasztalatai – *Hidrológiai Közlöny*. 59(2) pp. 63–77.

BÓDAI B.–KELE S.–KÁRMÁN K.–CZUPPON GY.–MÓGA J. (2015): A bakonyi Csurgó-kút vizének és forrásmészkövének stabilizotóp-geokémiai vizsgálata – *Karsztfelődés* XX. pp. 49–62. DOI: 10.17701/15.

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.

KANO A.–MATSUOKA J. –KOJO T.–FUJII H. (2003): Origin of annual laminations in tufa deposits, southwest Japan – Elsevier. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 191. pp. 243–262.

KAWAI T.–KANO A.–MATSUOKA J.–IHARA T. (2006): Seasonal variation in water chemistry and depositional processes in a tufa-bearing stream in SW-Japan, based on 5 years of monthly observations – *Chemical Geology*. 232. pp. 33–53.

- KELE S.* (2009): Édesvízi mészkövek vizsgálata a Kárpát-medencéből: paleoklimatológiai és szedimentológiai elemzések – PhD Thesis. ELTE. Földtudományi Doktori Iskola. 176 p.
- KOLTAI G.–KELE S.–KÁRMÁN K.–KEVEINÉ B.I.* (2012a): Édesvízi mészkövet lerakó források geokémiai vizsgálata a Mecsekben – Karsztfelődés 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 – Elsevier. Earth and Planetary Science Letters 192. pp. 31–44.
- OSÁCAR 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.
- PELIKÁN P.* [szerk.] (2005): A Bükk hegység földtana – Magyar Állami Földtani Intézet. Budapest. pp. 147–177.
- PENTECOST A.* (2005): Travertine – Springer-Verlag. pp. 1–30., 49–73., 77–81., 129–146., 197–217.
- SPÖTL C.–VENNEMANN T.W.* (2003): Continuous-flow isotope ratio mass spectrometric analysis of carbonate minerals – Rapid communications in mass spectrometry, 17, pp. 1004–1006.
- ZSILÁK GY. L.* (1960): A szilvásvárad Szalajka-völgy hidrológiai és hidrogeológiai vizsgálata – Hidrológiai Közlöny. 40(1) pp. 58–65.

internet_A (2016.06.27.):

<http://www.szalajka-volgy.hu/latnivalok/szalajka-forras>

internet_B (2016.06.27.):

<http://www.szalajka-volgy.hu/latnivalok/szikla-forras>