

Borbás Edit–Kovács József–Vid Gábor–Fehér Katalin–**Maucha László**

A BARADLA- ÉS A BÉKE-BARLANG VIZEINEK KÉMIAI VIZSGÁLATA ADATELEMZŐ MÓDSZEREK FELHASZNÁLÁSÁVAL

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során az aggteleki Baradla- és Béke-barlang vízrendszerében végeztünk vízkémiai vizsgálatokat. A vizsgált területen összesen 94 vízmintát gyűjtöttünk. A felszínen négy forrásból vettünk mintát, a Baradla-barlangban négy, a Béke-barlangban két mintavételi pontunk volt. A barlangi mintavételezést a barlangi patakokból, valamint az üledékben létesített fűrt megfigyelőkutakból végeztük.

A mintákat az alábbi kémiai paraméterekre vizsgáltuk: pH, fajlagos elektromos vezetőképesség, összes keménység, lúgosság, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , HCO_3^- , Cl^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- . A vízkémiai vizsgálatok eredménye alapján megállapítottuk, hogy a barlangi vizek elsősorban a karszt természetes állapotára jellemző Ca^{2+} és HCO_3^- tartalmúak.

Megvizsgáltuk a felszíni meteorológiai folyamatok hatását a vizek kémiai összetételére a 2010. februári hóolvadás idején. A vizsgálatból kiderült, hogy szoros kapcsolat mutatható ki az időjárási viszonyok és a megfigyelőkutakban mért vízszintértékek, valamint a vizek kémiai összetétele között.

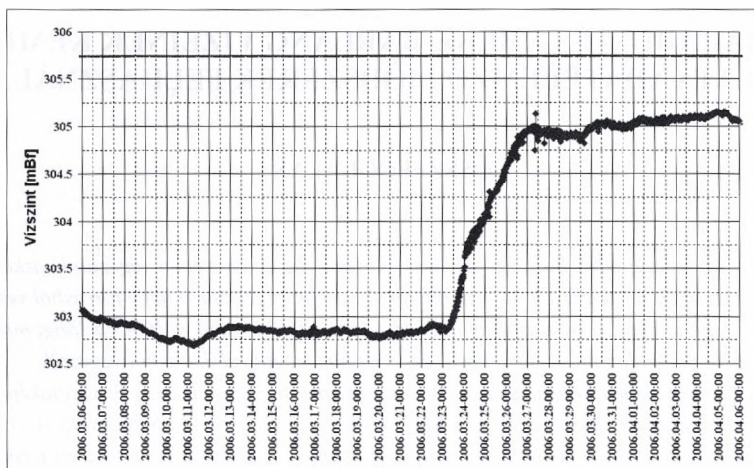
A vízkémiai vizsgálatok eredményei alapján többváltozós adatelemző módszer alkalmazásával mutattunk ki összefüggéseket a mérési pontok között. A csoportosítás eredményeként a barlangi üledékekben létesített kutak a vízkémiai tulajdonságaikat tekintve élesen elkülönültek a barlangi patakoktól, valamint a felszíni forrásoktól is. Az eddig a Béke-barlang vízrendszeréhez tartozónak gondolt Komlós-forrás elkülönült a barlangon áthaladó Komlós-pataktól, ami a Ház-sarki-forrással mutat rokonságot.

Előzmények

Az Aggteleki-karszt nagy forrásait (Jósva-, Komlós-, Nagy-Tohonya-, Kis-Tohonya-források, Szabókút, Babot-kút) Maucha László munkatársaival együtt közel harminc éven keresztül rendszeresen vizsgálta a Jósvalői Papp Ferenc karsztkutató állomáson (MAUCHA L. 1998). Részben ezzel egyidőben, részben később, amikor már a rendszeres vizsgálatok abbamaradtak, különböző intézmények és barlangkutató csoportok (az 1970–1980-as években a MÁFI a VMTE Baradla Barlangkutató Csoporttal, a 1990-es évek végétől napjainkig Fehér Katalin vezetésével a Pagony Barlangkutató Csoport, 2002-től Vid Gábor, Berényi Üveges István, Berényi Üveges Judit vezetésével a Niphargus Barlangkutató Egyesület) folytattak kutatásokat.

2002-ben Berényi Üveges István, Berényi Üveges Judit és Vid Gábor megkezdték a Baradla- és a Béke-barlang több méter vastag üledékrétegének vizsgálatát. Megállapították, hogy az üledék anyaga finomhomok-közteliszti szemcseméretű, nagyrészt kvarcból áll, egyéb ásványok kisebb, alárendelt mennyiségben fordulnak elő (BERÉNYI *et al.* 2006). A kézi fűrésos mintavételezés során az üledékekben áramló vizet figyeltek meg, és elvégezték ennek első vizsgálatait is. A Baradla-barlangban két fűrészt, a Béke-barlangban egy fűrészt később béléscsővezeték és beszűrőztek, észlelő kutakat alakítottak ki, ezzel hosszú időn keresztül vizsgálhatóvá és – összehasonlíthatóan – megfigyelhetővé tették az üledékben áramló vizeket.

Az elsőként elkészült Olimposz-kútban 2006-ban kísérletet tettek a vízszint folyamatos regisztrálására (1. ábra). A tavaszi hóolvadás hatására négy nap alatt két métert emelkedett a vízszint, amiből arra következtettek, hogy a barlangi üledékben áramló víz kapcsolatban áll a felszíni meteorológiai folyamatokkal (BERÉNYI *et al.* 2006).



1. ábra. A 2006 évi tavaszi hóolvadás hatása az Olimposz észlelőkút vízszintjére (BERÉNYI *et al.* 2006)
 Figure 1. Groundwater levels in the Olympos observation well after snow melting in 2006

Munkánk célja az üledékekben megfigyelt vizek további vizsgálata volt, az üledékben áramló vizek és a barlang patakja, illetve a barlangok forrásai kapcsolatának meghatározása.

Vizsgálati módszerek

2009. december és 2010 májusa között tíz helyen, összesen tíz alkalommal végeztünk vízmintavételt kéthetes időközönként, a 2010. februári hóolvadás idején egy további mérést is beiktattunk. A felszínen négy forrásból vettünk mintát (Jósva Táró-forrás, Jósva Medence-forrás, Komlós-forrás, Ház-sarki-forrás), a Baradla-barlangban négy, a Béke-barlangban két mintavételi pontunk volt. A barlangi mintavételezés a barlangok patakjából, valamint a telepített fűrt kutakból történt az alábbi helyszíneken:

Baradla-barlang:

- Styx-kút (Tigris-teremből a Styx patak felé vezető járatban, talpmélység: 475 cm),
- Styx patak,
- Olimposz-kút (talpmélység: 645 cm),
- Olimposz gödör.

Béke-barlang:

- Béke-kút (a barlang 86-os pontjánál, talpmélység: 470 cm),
- Komlós-patak.

A Béke-barlangban árvízkor egy esetben, a Styx kútban pedig több alkalommal – mivel nem volt benne víz – nem tudtunk mintát venni. A vízmintavétel mellett minden alkalommal feljegyeztük a kutak vízszintjét is.

A vízminták laboratóriumi vizsgálatát az érvényben levő szabványok szerint végeztük titrimetriás és spektrofotometriás módszerekkel a következő kémiai paraméterekre: pH, fajlagos elektromos vezetőképesség, összes keménység, lúgosság, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , HCO_3^- , Cl^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- .

A mintavételi helyekről összesen 94 mintát gyűjtöttünk, a 15 vizsgált paraméter alapján ez 1410 adatot jelent. A felhasználható adatok számát azonban csökkentette, hogy néhány paramétert különböző okok miatt nem vettünk figyelembe:

- Az NO_2^- , Cl^- , PO_4^{3-} és NH_4^+ paraméterek értékei minden mérési ponton a legtöbb esetben a kimutatási határ alatt voltak, így nem lehetett őket figyelembe venni az adatelemzés során.
- Az összes keménység és lúgosság-értékeket sem használtuk fel, mivel a kalcium-, magnézium- és hidrogénkarbonát-ion-tartalom ezekből származtatott mennyiségek.

Így az adatelemzéshez összesen 940 adat állt a rendelkezésünkre.

A vizsgált kémiai paraméterek alapján többváltozós adatelemző módszerek felhasználásával hasonlítottuk össze a mintavételi helyszíneket.

Eredmények

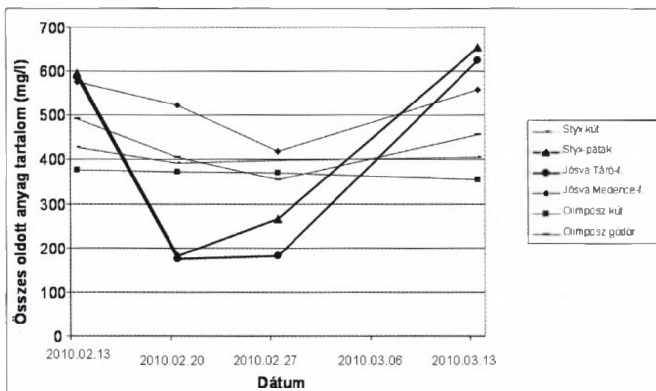
2010. februárjában jelentős hóolvadás következett be a vizsgált barlangok vízgyűjtő területein. Megvizsgáltuk ennek hatását a vizek kémiai összetételére. Az összes oldott anyag-tartalom jelentős csökkenése figyelhető meg elsősorban a barlangi patakok és a források vizében (1. táblázat).

1. táblázat – Table 1.

A vizek összes oldott anyagtartalmának (mg/l) változása a 2010. februári hóolvadást követően
Total Dissolved Solids values (mg/l) of the sampling points after snow melting in February 2010

| Dátum | Styx-kút | Styx patak | Jósva-táró f. | Jósva Medence f. | Olimposz-kút |
|----------------------|----------------|--------------|---------------|------------------|--------------|
| 2010. 02. 13. | 428 | 595 | 587 | 576 | 377 |
| 2010. 02. 20. | 392 | 182 | 174 | 523 | 372 |
| 2010. 02. 27. | 398 | 265 | 182 | 418 | 371 |
| 2010. 03. 13. | 405 | 654 | 624 | 558 | 354 |
| | Olimposz gödör | Komlós patak | Ház-sarki-f. | Komlós-forrás | Béke-kút |
| 2010. 02. 13. | 492 | 573 | 556 | 645 | 609 |
| 2010. 02. 20. | 406 | nincs adat | nincs adat | nincs adat | nincs adat |
| 2010. 02. 27. | 355 | 388 | 657 | 640 | 603 |
| 2010. 03. 13. | 457 | 660 | 650 | 654 | 576 |

A legnagyobb, közel 70 százalékos változás a Baradla-rendszerben a Styx patak és a Jósva Táró-forrás adataiban mutatkozik (2. ábra).



2. ábra. A Baradla-barlang vizeinek összes oldott anyag-tartalom változása
Figure 2. Total Dissolved Solids values in Baradla Cave

A hóolvadás hatása a barlangi megfigyelőkutak vízszintváltozásaiban is jelentkezik (2. táblázat). A Baradla-barlangban levő kutakban egy héttel az áradás után jelentős, több mint 1–1,5 méteres vízszintemelkedés figyelhető meg, míg a Béke kútban a vízszintváltozás nem volt számottevő.

A mintavételi pontoknak a teljes vizsgált időszakra vonatkozó jellemző összes oldott anyag-tartalmát a 3. táblázat tartalmazza. Az adatokból kitűnik, hogy a Baradla-barlang kútjaiban az összes oldott anyag-tartalom jóval alacsonyabb, mint a barlang más mérési pontjain. Ezt összehasonlítva a hóolvadás után bekövetkezett összes oldott anyag mennyiségének változásával (1. táblázat), valamint vízszintváltozási adatokkal (2. táblázat), feltételezhető, hogy az áradmányvizek jelentős szerepet játszanak a kutakban levő víz kémiai tulajdonságainak kialakításában.

A Béke-barlang esetén nincs jelentős eltérés a különböző pontok mért adatai között. Mivel a vízszint sem változott lényegesen a hóolvadás utáni időszakban, feltételezhető, hogy a megfigyelő kút vizének összetételét tekintve az áradmányvizek itt kevésbé meghatározóak.

2. táblázat – Table 2.

A kutakban mért vízszint-értékek 2010. január 31. és április 11. között
Groundwater levels in the observation wells between 31 January 2010 and 11 April 2010

| Dátum | Olimposz-kút | Styx-kút | Béke-kút |
|-------------------|------------------------|------------|------------|
| | Szint csóperemtől (cm) | | |
| 2010.01.31 | 202 | 281,5 | 83 |
| 2010.02.13 | 239,5 | 252 | 85,5 |
| 2010.02.20 | 251 | 230 | nincs adat |
| 2010.02.27 | 65,5 | 138 | 98 |
| 2010.03.13 | 65 | 155 | 77 |
| 2010.03.27 | 82 | 174 | 80,5 |
| 2010.04.11 | 172,5 | 196 | 79,5 |

3. táblázat – Table 3.

A mintavételi pontok jellemző összes oldott anyag értékei
Characteristic Total Dissolved Solids values of the sampling points

| | mg/l | | mg/l |
|---------------------|------------|-----------------|------------|
| Jósva Táró-f. | 536 | Olimposz gödör | 464 |
| Jósva Medence-f. | 554 | Komlós-f. | 631 |
| Styx-patak | 586 | Ház-sarki-f. | 635 |
| Styx kút | 393 | Komlós patak | 622 |
| Olimposz kút | 369 | Béke kút | 592 |

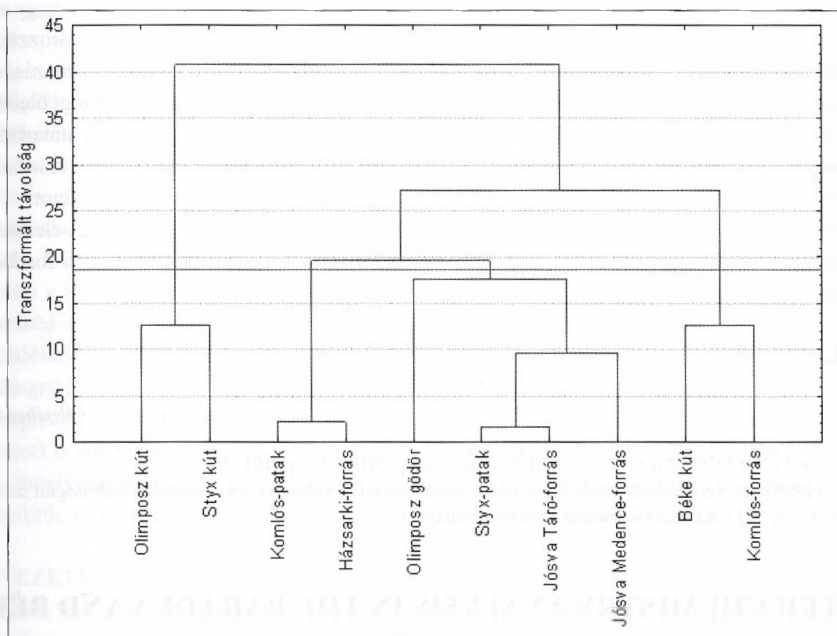
Klaszteranalízis

A többváltozós adatelemzés fontos eszköze a klaszteranalízis, mely módszer alkalmazásának célja, hogy meghatározzuk a hasonló viselkedésű megfigyelési pontokat a mért paraméterek alapján.

Az elemzés során minden vizsgált pont esetén az alábbi paraméterek jellemző értékeit használtuk fel: pH, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, Na⁺, K⁺. Nem vettük figyelembe a minták vezetőképességét, mivel értékei valamennyi ionnal nagymértékben korrelálnak. Így a tíz mintavételi pontra 80 elemű adathalmaz állt rendelkezésünkre.

A klaszterezés előtt megvizsgáltuk, hogy a paraméterek mennyire korrelálnak egymással. A terület karsztos jellegéből következik a Ca^{2+} és a HCO_3^- erős korrelációja (0,94), illetve gyengén korrelál még a K^+ és az NO_3^- (0,65). A többi paraméter vonatkozásában nincs jelentős lineáris korreláció.

Munkánk során a vizsgált források/patakok/kutak csoportosítása volt a cél, ezért a klaszterezés módszerei közül az úgynevezett hierarchikus osztályozást használtuk, ahol a vízszintes tengelyen a mintavételi helyszínek, a függőleges tengelyen pedig a távolság helyezkedik el (3. ábra). Ez a módszer először minden vizsgált pontot külön osztálynak tekint, majd az egyes osztályok összevonásával újabb osztályozási szinteket alakít ki. A hierarchikus klaszterezés eredményeként az ún. dendogramot kapjuk.



3. ábra. A mintavételi helyekre készített dendogram
 Figure 3. Dendogram for the characteristic parameters of the sampling point

A klaszter 41-es távolságnál két, egymástól határozottan elkülönülő csoportra bontható. Az egyik csoportban csak két mintavételi hely található: a Baradla-barlang megfigyelőkútjai. A másik ágon további három alcsoportot különböztethetünk meg, így a vizsgált pontokat összesen négy csoportba soroltuk (transzformált távolság 18).

Az előzetes feltételezésnek megfelelően a Baradla-barlang és a Béke-barlang pontjai elkülönülnek egymástól.

A kialakult csoportokból megállapítható, hogy a barlangi üledékekben létesített megfigyelőkutak a vízkémiai tulajdonságaikat tekintve élesen elkülönülnek a barlangban folyó patakoktól, valamint a Baradla-barlang esetén a felszíni forrásoktól is.

A Béke-vízrendszer pontjai közül a Béke-kút a Komlós-forrással, a Ház-sarki-forrás a Komlós-patak-kal mutat rokonságot. A Komlós-forrás és a Béke-kút kapcsolata további vizsgálatokat igényel.

A Béke-kút és a Komlós-patak is élesen elkülönül annak ellenére, hogy kb. 2 méter távolságban van egymástól a két mintavételi pont. Ugyanez érvényes a Baradla-barlangban az Olimposz-kút és Olimposz-gödör kapcsolatára is. Az éles elkülönülések magyarázata további vizsgálatokat igényel.

ÖSSZEFOGLALÁS

Megvizsgáltuk a felszíni meteorológiai folyamatok hatását a vizek kémiai összetételére a 2010 februári hóolvadás idején. A vizsgálatból kiderült, hogy a hóolvadás után a nyelőkön bejutó híg áradmányvizek hatására nagymértékben lecsökkent a barlangi patakok és a felszíni forrásvizek összes oldott anyag-tartalma. A megfigyelőkutakból vett vízmintákban ez a változás nem volt ennyire érzékelhető, viszont a Baradla-barlangban levő kutakban kb. egy héttel az áradás után jelentős vízszintemelkedés következett be. A Béke-kútban a vízszintváltozás nem volt számottevő. A mérési pontok vizeire jellemző összes oldott anyag-tartalom, valamint a kutakban mért vízszintváltozás elemzése alapján feltételezhető, hogy a Baradla-barlangban a kutakban levő víz kémiai tulajdonságait alapvetően az áradmányvizek határozzák meg.

A vízkémiai vizsgálatok eredményei alapján többváltozós adatelemző módszer alkalmazásával mutattunk ki összefüggéseket a mérési pontok között. A csoportosítás eredményeként a barlangi üledékekben létesített kutak a vízkémiai tulajdonságaikat tekintve elkülönültek a barlangban folyó patakoktól, valamint a felszíni forrásoktól is. Az eddig a Béke-barlang vízrendszeréhez tartozónak gondolt Komlós-forrás elkülönült a barlangon áthaladó Komlós-pataktól, ami a Ház-sarki-forrással mutat rokonságot.

Víznyomjelzéses vizsgálatokkal összhangban (GRUBER P.–LIEBER T. 2010) az adat-elemzés is kimutatta, hogy a Béke-barlang vize jelenleg nem a Komlós-forrásban, hanem a Ház-sarki-forrásban lép a felszínre.

IRODALOM

BERÉNYI ÜVEGES I., BERÉNYI ÜVEGES J., VID G. (2006): *Adalékok a Baradla-barlang fejlődésének elméletéhez üledék vizsgálatok alapján* – Karszt és Barlang I–II. pp. 33–40.

GRUBER P., LIEBER T. (2010): *Jósvafő vizei* – Élet és Tudomány 2010/15., pp. 461–463.

MAUCHA L. (1998): *Az Aggteleki-hegység karszthidrológiai kutatási eredményei és zavartalan hidrológiai adatsorai 1958–1993.* – A VITUKI Rt. Hidrológiai Intézete, Budapest.

WATER CHEMISTRY ANALYSIS IN THE BARADLA AND BÉKE CAVES

SUMMARY

The aim of our study was to compare the chemical composition of the water in the observation wells in the caves to the water of the springs that is the outlet of the karst water of the caves. 94 water samples were collected in the examined area. We collected samples from 4 springs on the surface, there were 4 sampling points in Baradla Cave and 2 in Béke Cave.

Samples were analyzed for the following chemical parameters: pH, electric conductivity, hardness, alkalinity, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , HCO_3^- , Cl^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- . Based on the results of the hydrochemistry analyses we determined that the water content is mostly Ca^{2+} and HCO_3^- , which is specific to the natural state of the karst.

We examined the meteorological processes' effects on the water chemical characteristics in the time of snow melting in February 2010. According to my measurement there is a close connection between the weather conditions and the water level in the observation wells and the chemical characteristics.

Based on the hydrochemistry examination results we applied cluster analysis to evince the correlation between the sampling points. As a result of the classification the observation wells in the sediment is separated from the cave creeks and the springs on the surface. Komlós Spring which was thought that belongs to Béke Cave is separated from the cave.