

**TERMÁLVÍZ MEGCSAPOLÓDÁSHOZ KÖTHETŐ VÍZKÉMIAI ÉS
KIVÁLÁSI FOLYAMATOK KÍSÉRLETI TANULMÁNYOZÁSA**

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

KÉSZÍTETTE:

KOVÁCSNÉ BODOR PETRA

Okleveles geológus

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar,
Környezettudományi Doktori Iskola, Környezeti Földtudomány Doktori
Program

Témavezető: MÁDLNÉ DR. SZŐNYI JUDIT, egyetemi docens, Általános és
Alkalmazott Földtani Tanszék, Eötvös Loránd Tudományegyetem



A Környezeti Földtudományi Doktori Program vezetője: Dr. Szabó Csaba,
egyetemi docens

A Környezettudományi Doktori Iskola vezetője: Prof. Jánosi Imre, egyetemi
tanár

Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék
Természettudományi Kar
Eötvös Loránd Tudományegyetem
Budapest

2020

1. Bevezetés és célkitűzések

A Budai-termálkarszt egy aktív hipogén karsztrendszer, ahol az oldódási és kiválási folyamatok ma is zajlanak és ahol a döntően karbonátos Dunántúli-középhegység felől érkező regionális felszínalatti vízáramlás termálvízként csapolódik meg. A felszínre bukkanó termálvíz oldott CO₂ és oldottanyag-tartalma magas, oldottoxigén-tartalma alacsony. A termálforrások forrásbarlangokban csapolódnak meg, amelyekben az intenzív termálvíz termelés miatt szinte álló víz található. Emiatt a forrásvizek és kiválásaik helyszíni vizsgálatával a folyamatokat csak közvetve, elméleti szinten tudták azonosítani. A közvetett bizonyítékok alapján az aktívan zajló folyamatokról egy koncepcionális modell született [ERŐSS, 2010].

A legfőbb céloom ezért egy olyan *in situ* kísérlet megtervezése és kivitelezése volt, melyben a termálvíz és az abból képződő kiválások tulajdonságait egyidejűleg tanulmányozhattam, az oldódási folyamatok és hatásaik kizárásával. Egy folytatásos *in situ* kísérletet végeztem el, ahol a termálvíz fizikai-kémiai paramétereiből a végbemenő folyamatokra következtettem, és a képződő kiválásokat időben és a vízáramlás mentén tanulmányoztam.

A Budai-termálkarszt forrásainak és kiválásainak eddig megismert tulajdonságait figyelembe véve az *in situ* kísérlettel megvizsgáltam a biofilm- és a karbonátképződés körülményeit, kapcsolatát a termálvíz fizikai-kémiai paramétereivel, kialakulásuk okát, időbeli és hossz-szelvény menti fejlődését; a képződő kiválások jellegét és hatását a termálvízre, valamint a biogeokémiai kiválás adszorpciós képességét, az adszorbeált elemek (nyomelemek és radionuklidok) mennyiségének időbeni alakulását, különösen az adszorbeált ²²⁶Ra mennyiségét, ennek hatását a víz ²²²Rn aktivitáskonzentrációjára.

2. Alkalmazott módszerek

Az *in situ* kísérlet során víz- és levegőméréseket végeztünk, illetve a termálvízből képződő biogeokémiai kiválásokat különböző módszerekkel vizsgáltuk.

A **termálvíz** terepi paramétereit (hőmérséklet, pH, fajlagos elektromos vezetőképesség, oldottoxigén-tartalom) a helyszínen HQ40d Multi-Parameter Meter műszerrel mértük meg. A folyamatos mérések során a vízhőmérsékletet és fajlagos elektromos vezetőképességet CTD Diver, a pH-t Greisinger GE 100 BNC pH elektródával felszerelt Greisinger GMH 5550 kézi műszer rögzítette. A fő ionok (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) koncentrációját hagyományos laboratóriumi módszerekkel határoztuk meg (titrálás, lángfotometria, turbidimetria, ELTE TTK Mikrobiológiai, Általános és Alkalmazott Földtani és Természetföldrajzi Tanszék). A ^{226}Ra és a $^{234}\text{U}+^{238}\text{U}$ aktivitáskoncentrációját alfa-spektrometriával mértem meg (ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Müller Imre és Heinz Surbeck Hidrogeológiai Laboratórium). A ^{222}Rn aktivitáskoncentrációjának mérése folyadékszcintillációs módszerrel, Tricarb 1000TR műszeren történt (ELTE TTK Atomfizikai Tanszék). A nyomelemek koncentrációját tömegspektrométerrel vizsgáltuk (ICP-MS Element 2, Thermofinnigan, ELTE TTK Analitikai Kémiai Tanszék). A víz $\delta^{18}\text{O}$, δD , $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{34}\text{S}$ stabilizotóp-összetételét Thermo Finnigan Delta plus XP stabilizotóp-arány mérő tömegspektrométerrel mértük (MTA ATOMKI Izotóp Klimatológiai és Környezetkutató Központ). A szulfid koncentrációját UV/VIS Evolution300 műszerrel (EPA Method 376.2:1978, MSZ 448-14:1990) vizsgáltuk, míg a metán koncentrációját HP-5890-GC_01-FID/TCD műszerrel (WBSE-27:2002) (Wessling Hungary Kft.). A fenti víz fizikai-kémiai paraméterek mérése mellett kiszámoltam a víz CO_2 parciális nyomását és karbonátra vonatkoztatott telítettségét PHREEQC-2 vízkémiai modellező szoftverrel. Szintén a PHREEQC-2 szoftverrel végeztem reaktív transzport modellezést a

vízáramlás mentén zajló fizikai-kémiai folyamatok bizonyítására. Az egyes mért paraméterek közötti, illetve a mért és modellezett eredmények közötti kapcsolatot korrelációanalízissel vizsgáltam SPSS szoftver segítségével. A **levegő** hőmérsékletét és relatív páratartalmát Voltcraft DL-120TH műszerrel mértük.

A termálvízből képződő **biogeokémiai kiválások** időbeli fejlődését Olympus BH2 típusú ráesőfényes (ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék) és átesőfényes mikroszkóppal (ELTE TTK Mikrobiológiai Tanszék) vizsgáltam. A kiválások tömegét Mettler Toledo B154 típusú analitikai mérleggel mértem meg (ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék). A kiválások liofilizálását követően az alábbi módszereket alkalmaztuk az ásványos és elemi összetétel, a vastartalmú fázisok, a radioaktivitás és a stabilizotóp-összetétel meghatározására: röntgenpordiffrakció (Siemens D5000 röntgen-pordiffraktométer, ELTE TTK Ásványtani Tanszék), tömegspektrométer (Element2, ThermoFinnigan, ELTE TTK Analitikai Kémiai Tanszék), Mössbauer-spektroszkópia (WISSEL és KFKI Mössbauer-spektrométerek, ELTE TTK Analitikai Kémiai Tanszék), gamma-spektroszkópia (Canberra-Packard BE5030-7915-30ULB gamma-spektrométer, MTA Atomki Izotóp Klimatológiai és Környezetkutató Központ), Thermo Finnigan Delta plus XP stabilizotóp-arány mérő tömegspektrométer (MTA Atomki Izotóp Klimatológiai és Környezetkutató Központ). A biofilm mikroszkópos szerkezetét EVO MA 10 Zeiss pásztázó elektronmikroszkóppal (MTA Ökológiai Kutatóközpont), a karbonátok morfológiáját AMRAY 1830 pásztázó elektronmikroszkóppal (ELTE, Kőzettani és Geokémiai Tanszék) vizsgáltuk.

3. Eredmények, az értekezés tézisei

Doktori kutatásomban egy aktív hipogén karsztrendszer, a Budai-termálkarszt megcsapolódó termálvizeiben a kiválások képződésének és az azt

meghatározó folyamatok megismerését tűztem ki célul. Ehhez egy *in situ* kísérletet terveztem és valósítottam meg, melyben a termálvíz áramlási pályája mentén egyidejűleg vizsgáltam a víz fizikai-kémiai paramétereit és a vízből képződő kiválásokat. Ezáltal megismertem a kiválások képződési körülményeit, kialakulását és időbeli fejlődését, hatásukat a víz paramétereire, valamint, hogy időben hogyan alakul a kiválások által adszorbeált elemek mennyisége. Az *in situ* kísérlet legfőbb eredményeit az alábbi tézisekben foglalom össze:

1. A Budai-termálkarszton és nemzetközi szinten is elsőként dolgoztam ki és valósítottam meg egy *in situ* kísérletet szisztematikus módon, ellenőrzött körülmények között szimulálva a hipogén karsztrendszer barlangi termálforrásainak felszínre jutását és a kilépésnél zajló folyamatokat. A kísérlet során a termálvíz megcsapolódását és hossz-szelvény menti áramlását monitorozva és modellezve egyidejűleg nyomon követtem a víz és a belőle képződő kiválások jellemzőit és változásait az oldódási folyamatok kizárásával. Az *in situ* kísérlet előkészítése, körülményei és eredményei alapját képezik más területeken és további paraméterek vizsgálatára irányuló hasonló kísérletek kivitelezésének.

2. Megállapítottam, hogy a Gellért-hegy kútjában megcsapolódó termálvíz hőmérséklete, pH-ja, oldottoxigén-tartalma és fajlagos elektromos vezetőképessége a három hónapos monitorozás alapján időben állandó, összhangban a korábbi, de csak egy-egy alkalomra vonatkozó terepi mérési eredményekkel. Ezzel kimutattam, hogy az *in situ* kísérletben a vízáramlás menti változások értelmezésénél a belépő termálvíz terepi paramétereinek időbeli változását nem kell figyelembe venni.

3. A vízáramlás mentén nyomon követett fizikai-kémiai paraméterváltozásokkal és reaktív transzport modellezéssel bizonyítottam a korábban a Gellért-hegyi megcsapolódási terület forrásaiban és a kapcsolódó barlangokban feltételezett folyamatokat [ERÖSS, 2010]: a vízben oldott CO₂ és

²²²Rn kigázosodását és a levegő oxigénjének a vízbe való beoldódását. Az egyes paraméterek kapcsolatát alátámasztottam korrelációanalízissel is. Vizsgálataim alapján kimutattam, hogy a barlangi levegő paraméterei a vízben zajló folyamatokra nincsenek hatással.

4. Az *in situ* kísérlettel igazoltam, hogy a forráskilépésnél zajló mikrobiológiai és fizikai-kémiai folyamatok nem válnak el élesen egymástól, egyidejűleg zajlanak, azaz a korábban DOBOSY és mtsi. [2016] által bevezetett biogeokémiai kiválás kifejezés alkalmazható. Ugyanakkor a képződő kiválások domináns jellegében kimutattam egy hossz-szelvény menti és időbeli szekvenciát. A keletkező biogeokémiai kiválások két altípusát ismertem fel és ennek megfelelően a következő új nevezéktant vezettem be: 1) „biofilm jellegű biogeokémiai kiválás” és 2) „karbonátos jellegű biogeokémiai kiválás”. Az új terminológiát a következőképpen javaslom alkalmazni, melyet dolgozatomban is követek:

- „biofilm jellegű biogeokémiai kiválás”, röviden „biofilm”, melyben a mikroorganizmusok jelenléte és a hozzájuk köthető mikrobiológiai folyamatok (pl. extracelluláris polimer szubsztancia (EPS) termelése) dominálnak és kevés ásványszemcsét is tartalmaz,

- „karbonátos jellegű biogeokémiai kiválás”, röviden „karbonát”, melyben a fizikai-kémiai folyamatok a meghatározók, ezért a CaCO₃ összetételű kristályos fázis dominál, ahol a kristályok felszínén vagy a kristályokban mikroorganizmusok által képzett sejtcsoportosulások is megfigyelhetők.

5. Eredményeimmel bizonyítottam, hogy a felszínre lépő alacsony oldottoxigén-tartalmú reduktív termásvíz a légköri oxigén beoldódása miatt oxidatívává válik, így a vízben oldott Fe²⁺ oxidálódik. Ennek hatására a forráskilépési hely közelében, az első 8 m-en ferrihidritet tartalmazó biofilm képződik. A modellezési és mérési eredmények összevetése alapján feltételezem, hogy a ferrolízis folyamata gátolhatja a karbonátképződést ott,

ahol ferrihidrit alakul ki.

6. Az elvégzett *in situ* folytatási kísérlet eredményeit a stagnáló kísérlettel [BURKUS, 2017; ANDA, 2019] összevetve igazoltam, hogy az érett biofilm kialakulása, a biofilmképződés sebessége és a biofilm által adszorbeált elemek mennyisége összefüggést mutat a víz hidrodinamikájával. A folyamatosan felszínre lépő áramló termálvíz elősegíti a biofilmképződést azáltal, hogy folytonosan szállítja a kiválási felülethez a planktonikus mikroorganizmusokat, valamint a növekedésükhöz és szaporodásukhoz szükséges különféle tápelemeket és energiaforrásokat.

7. Vizsgálataimmal kimutattam, hogy a biofilm által nagy mennyiségben adszorbeált ^{226}Ra (8000–10000 Bq/kg) rövid idő alatt is (kísérleti viszonyok között néhány hét alatt) a víz oldott ^{222}Rn aktivitáskoncentrációjának növekedését okozza (130 Bq/l-rel). A vízben oldott ^{222}Rn intenzív kigázosodását a Budai-termálkarszton elsőként bizonyítottam mérésekkel és reaktív transzport modellezéssel. A ^{222}Rn leányelememének, a ^{210}Pb jelenlétét is kimutattam és megállapítottam, hogy a vízáramlás mentén kialakuló karbonátokba a vízben oldott ^{222}Rn arányában épül be, ezáltal követi annak áramlás menti csökkenését.

8. A termálvíz és a belőle képződő karbonát egyidejű vizsgálatával megtudtam adni a Gellért-hegyen megcsapolódó termálvizekre jellemző kritikus karbonátra vonatkoztatott túltelítettség értékét és megállapítottam, hogy a karbonátok kiválása 5-10-szeres túltelítettség mellett kezdődik. Ez referencia érték lehet nemzetközi szinten is, mert itt bizonyítottan abból a vízből keletkezett a karbonát, amivel érintkezik. Ez sokszor kétséges a természetes forrásrendszerek kiválásai esetén.

9. A biogeokémiai kiválások fejlődésének vizsgálatával feltártam, hogy a biofilm- és a karbonátképződés határa a kísérlet során nem csak térben, de idővel is változott. A víz fizikai-kémiai paramétereinek egyidejű mérésével bizonyítottam, hogy az idővel fokozódó CO_2 kigázosodás a kritikus

karbonáttúltelítettség érték helyét a befolyáshoz közelebb tolta (a 12 hetes kísérlet körülményei között 30–40 m-rel). Ennek következtében a karbonátkiválás határa is egyre közelebb került a befolyáshoz. A kísérletben emiatt volt egy szakasz, ahol először biofilm, majd később karbonát képződött. Ezt az átmenetet néhány nyomelem (Al, As, Fe, Pb) koncentrációja is követte.

10. Meghatároztam, hogy az *in situ* folyatási kísérlet körülményei között a karbonátkiválási ráta 0,34–2,66 g/cm²/év. Kimutattam ugyanakkor, hogy értékei időben, a vízáramlás mentén és lokálisan is változnak. A kísérleti körülmények, a víz fizikai-kémiai paramétereinek részletes dokumentációjával a kiválási ráta értékek is referenciaként, összehasonlítási alapként szolgálnak más karbonátképző rendszerek eredményeinek értékeléséhez.

11. Elkülönítettem az *in situ* kísérlet során képződött karbonátok két típusát a kristálymorfológia alapján: 1) önálló romboédes kristályok és kristálycsoportok alkotta karbonátot, amely kialakulásában a relatíve alacsony túltelítettségnek van szerepe és a mikrobiológiai folyamatok is hatással lehetnek rá, 2) dárda alakú, romboédes kristályokból álló, összetett kristályaggregátumot, amelyet a Gellért-hegyi aktív forrásbarlangok kalcitlemezeiben korábban is megtaláltak [Virág és mtsi., 2013b; Ambrus, 2014; Virág, 2018]. Ennek kialakulását a gyors CO₂ kigázosodás és a magas karbonáttúltelítettség (13-17-szeres) okozza.

Felhasznált irodalom

- ANDA D (2019) A Budai Termálkarszt víz és biofilm prokarióta közösségeinek sokfélesége összefüggésben a hipogén karsztosodással. ELTE TTK Mikrobiológia Tanszék, PhD disszertáció, 134p.
- BURKUS V (2017) Termálvízből történő biofilm képződés folyamatainak értékelése a Török-forrásban zajló *in situ* kísérletben. ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, MSc diplomamunka, 77p.

- DOBOSY P, SÁVOLY Z, ÓVÁRI M, MÁDL-SZŐNYI J, ZÁRAY GY (2016) Microchemical characterization of biogeochemical samples collected from the Buda Thermal Karst System, Hungary. *Microchemical Journal* 124: 116–120.
- ERŐSS A (2010) Characterization of fluids and evaluation of their effects on karst development at the Rózsadomb and Gellért Hill, Buda Thermal Karst, Hungary. ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, PhD disszertáció, 232p.

Doktori kutatáshoz kapcsolódó publikációk

- KOVÁCS-BODOR P, ANDA D, JURECSKA L, ÓVÁRI M, HORVÁTH Á, MAKK J, POST V, MÜLLER I, MÁDL-SZŐNYI J (2018) Integration of *in situ* experiment and numerical simulations to reveal the physicochemical circumstances of organic and inorganic precipitation at a thermal spring. *Aquatic Geochemistry* 24(3): 231–255.
- KOVÁCS-BODOR P, CSONDOR K, ERŐSS A, SZIEBERTH D, FREILER-NAGY Á, HORVÁTH Á, BIHARI Á, MÁDL-SZŐNYI J (2019) Natural radioactivity of thermal springs and related precipitates in Gellért Hill area, Buda Thermal Karst, Hungary. *Journal of Environmental Radioactivity* 201: 32–42.
- KUZMANN E, HOMONNAY Z, KOVÁCS K, BODOR P, MÁDL-SZŐNYI J (2017) Mössbauer study of biofilms formed along a canal of Gellért Hill, Buda Thermal Karst, Hungary. *Hyperfine Interactions* 238(1), 73, 4p
- WEIDINGER T, NAGY B, MÁDLNÉ SZŐNYI J, BODOR P, SALAVEC P, TORDAI Á (2016) Terepi mérések a Gellért-hegy belsejétől a Száraz Andokig. – In: PONGRÁCZ R, MÉSZÁROS R (szerk.): *Kutatási és operatív feladatok meteorológusként*, Egyetemi Meteorológiai Füzetek 27: 162–172.

Egyéb publikációk

- BODOR P, ERŐSS A, MÁDLNÉ SZŐNYI J, CZUPPON GY (2014) A Duna és a felszín alatti vizek kapcsolata a rózsadombi megcsapolódási területen. *Karsztfeljlődés* 19: 63–75.
- BODOR P, ERŐSS A, MÁDLNÉ SZŐNYI J, KOVÁCS J (2015) A csapadék hatása a rózsadombi források utánpótlódási és megcsapolódási területén. *Földtani Közlöny* 145(4): 385–396.
- ENYEDI NT, ANDA D, BORSODI AK, SZABÓ A, PÁL SE, ÓVÁRI M, MÁRIALIGETI K, KOVÁCS-BODOR P, MÁDL-SZŐNYI J, MAKK J (2019) Radioactive environment adapted bacterial communities constituting the biofilms of hydrothermal spring caves (Budapest, Hungary). *Journal of Environmental Radioactivity* 203: 8–17.

- MÁDL-SZŐNYI J, CZAUNER B, IVÁN V, TÓTH Á, SIMON SZ, ERŐSS A, BODOR P, HAVRIL T, BONCZ L, SŐREG V (2019) Confined carbonates – regional scale hydraulic interaction or isolation? *Marine and Petroleum Geology* 107: 591–612.
- MÁDL-SZŐNYI J, PULAY E, TÓTH Á, BODOR P (2015): Regional underpressure: a factor of uncertainty in the geothermal exploration of deep carbonates, Gödöllő Region, Hungary. *Environmental Earth Sciences* 74(12): 7523–7538.

Doktori kutatáshoz kapcsolódó válogatott konferenciaközlemények

- ANDA D, MAKK J, SZABÓ A, BODOR P, MÁDL-SZŐNYI J, MÁRIALIGETI K, BORSODI A (2017) Analysis of the biofilm formation in a hydrothermal spring cave using in situ experimental model system. 7th Congress of European Microbiologists (FEMS), 2017. július 9–13., Valencia, Spanyolország, Paper: FEMS7-2074
- ANDA D, SZABÓ A, BODOR P, FELFÖLDI T, MAKK J, MÁDL-SZŐNYI J, BORSODI A (2018) Experimental study of the biofilm formation associated with the discharging thermal water in Gellért Tunnel. *A Magyar Mikrobiológiai Társaság 2018. évi Nagygyűlése és a XIII. Fermentációs Kollokvium, 2018. október 17–19., Eger, Magyarország*
- BODOR P, ANDA D, BURKUS V, HORVÁTH Á, KUZMANN E, HOMONNAY Z, FUTÓ I, MAKK J, MÁDL-SZŐNYI J (2017) Evolution of bacterial biofilms and chemical precipitates in thermal springs depending on flow kinetics (Buda Thermal Karst, Hungary). – In: POSAVEC K, MARKOVIĆ T (szerk.) 44th Congress of International Association of Hydrogeologists, 2017. szeptember 25–29., Dubrovnik, Horvátország, Paper: T5.2.2.
- BODOR P, ANDA D, JURECSKA L, HORVÁTH Á, ÓVÁRI M, POST V, MÜLLER I, MÁDL-SZŐNYI J (2017) In situ measurement and modelling of physicochemical parameters at discharging thermal water – Experimental study 1. – In: SMERDON B, TÓTH Á, MÁDL-SZŐNYI J (szerk.) *Characterizing regional groundwater flow systems: Insight from practical applications and theoretical development*, 2017. június 26–28., Calgary, Kanada, p.58.
- BODOR P, ANDA D, MAKK J, HORVÁTH Á, KUZMANN E, HOMONNAY Z, MINDSZENTY A, ÓVÁRI M, MÁDL-SZŐNYI J (2017) Evolution of biogeochemical precipitation at discharging thermal water – Experimental study 2 – In: SMERDON B, TÓTH Á, MÁDL-SZŐNYI J (szerk.) *Characterizing regional groundwater flow systems: Insight from practical applications and theoretical development*, 2017. június 26–28., Calgary, Kanada, p.65.

- KOVÁCS-BODOR P, ANDA D, MAKK J, ÓVÁRI M, BIHARI Á, BRAUN M, FUTÓ I, MÁDL-SZŐNYI J (2019) In situ experimental study of the formation and physicochemical circumstances of thermal water-related biogeochemical precipitates and calcites. Geophysical Research Abstracts, EGU General Assembly, 2019. április 7–12., Bécs, Ausztria, Paper: EGU2019-8052
- KOVÁCS-BODOR P, CSONDOR K, ERŐSS A, SZIEBERTH D, BIHARI Á, BRAUN M, HORVÁTH Á, LEÉL-ŐSSY SZ, MÁDL-SZŐNYI J (2018) Peculiar discharge features of regional groundwater flow systems – physical and chemical properties of biofilms in thermal springs. 45th Annual Congress of International Association of Hydrogeologists, 2018. szeptember 9–14., Daejeon, Dél-Korea, Paper: FP-513
- KOVÁCS-BODOR P, ERŐSS A, MÁDL-SZŐNYI J, FREILER-NAGY Á, HORVÁTH Á, BIHARI Á (2018) Natural radioactivity of evolving biogeochemical precipitate in thermal spring caves of Gellért Hill area, Budapest. – In: KOVÁCS T, TÓTH-BODROGI E, BÁTOR G (szerk.) VI. Terrestrial Radioisotopes in Environment International Conference on Environmental Protection, 2018. május 22-25., Veszprém, Magyarország, p.29.
- KOVÁCS-BODOR P, GYÓRI O, KOVÁCS Z, BIHARI Á, ÓVÁRI M, POST V, MÁDL-SZŐNYI J (2018): In situ experimental study of chemical and biogeochemical precipitates of a flowing thermal water. – In: Bertrand C (szerk.) The European bi-annual conference on the Hydrogeology of Karst and Carbonate Reservoirs, EuroKarst2018, 2018. július 2–6., Besançon, Franciaország, pp.98–99.
- KOVÁCS-BODOR P, GYÓRI O, KOVÁCS Z, POST V, MÁDL-SZŐNYI J (2018) Experimental evolution of thermal water-related precipitates. – Geophysical Research Abstracts, EGU General Assembly, 2018. április 8–13., Bécs, Ausztria, Paper: EGU2018-10268.
- KOVÁCS-BODOR P, HORVÁTH Á, BIHARI Á, MÁDL-SZŐNYI J (2018) In situ experimental study of natural radioactivity of microbiological and chemical precipitates in a flowing thermal water. – In: KOVÁCS T, TÓTH-BODROGI E, BÁTOR G (szerk.) VI. Terrestrial Radioisotopes in Environment International Conference on Environmental Protection, 2018. május 22-25., Veszprém, Magyarország, p.48.
- KOVÁCS-BODOR P, RÁBA I, GYÓRI O, MINDSZENTY A, MÁDL-SZŐNYI J (2018): Application of in situ experimental results in the problem of evolving precipitates in thermal water systems. – In: Bertrand C (szerk.) The European bi-annual conference on the Hydrogeology of Karst and Carbonate Reservoirs, EuroKarst2018, 2018. július 2–6., Besançon, Franciaország, pp.96–97.

