

**FELSZÍNALATTI VIZEK TERMÉSZETES RADIOIZOTÓP
TARTALMÁNAK VIZSGÁLATA FELSZÍNALATTI VÍZÁRAMLÁSI
RENDSZER SZEMLELETBEN A VELENCEI-HEGYSÉG ÉS A
VELENCEI-TÓ TÁGABB KÖRNYEZETÉBEN**

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Készítette:

BAJÁK PETRA

Okleveles geológus

Témavezetők:

Dr. Eröss Anita, tudományos munkatárs, Általános és Alkalmazott Földtani
Tanszék, Földrajz- és Földtudományi Intézet, ELTE Eötvös Loránd
Tudományegyetem

Dr. Vargha Márta, vezető szakmai szakértő, Közegészségügyi Laboratóriumi
és Módszertani Főosztály, Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti
Központ



Környezettudományi Doktori Iskola

A doktori iskola vezetője: Dr. Turányi Tamás, egyetemi tanár
Környezeti Földtudományi Doktori Program

A doktori program vezetője: Dr. Szalai Zoltán, egyetemi docens

Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Természettudományi Kar
ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem

Budapest

2024

1. Bevezetés és célkitűzések

A felszínalatti vízkészletek jelentős ivóvízforrásként szolgálnak az emberiség számára, fogyasztási célokra való felhasználásukat azonban korlátozhatja, hogy bizonyos elemek (pl. As, Pb, U) természetes módon képesek feldúsulni az áramlási rendszerek mentén zajló folyamatos kőzet-víz kölcsönhatás eredményeképpen (EDMUNDS ÉS SMEDLEY 1996; VENGOSH és mtsi. 2022).

A kölcsönhatások révén a felszínalatti víz számos természetes eredetű alfa- (^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn és ^{210}Po) és béta-bomló radionuklidot (^{40}K , ^{228}Ra és ^{210}Pb) tartalmazhat, a kimutatási határ alatti koncentrációtól az emberi egészséget veszélyeztető koncentrációkig (HOEHN 1998; NUCCETELLI és mtsi. 2012).

A felszínalatti víz folyamatos és áramlási rendszerekbe rendeződött mozgása a vízben oldott radionuklid koncentrációk térbeli eloszlását is befolyásolja (SKEPPSTRÖM ÉS OLOFSSON 2007; TÓTH 2009). A felszínalatti vízkészletekből származó ivóvizek minőségét befolyásoló folyamatok megértéséhez tehát elengedhetetlen a felszínalatti vízáramlási rendszer szemlélet alkalmazása, mely hatékony eszköz lehet a vízminőségi problémák megértésében, hozzájárulva ezzel a biztonságos ivóvízellátás fenntartásához.

A doktori kutatásomban a Velencei-hegység és a Velencei-tó környezetében végeztem vizsgálatokat, melyek célja az volt, hogy a felszínalatti vizek radionuklid tartalmát vízáramlási rendszer szemléletben értékeljem és feltárjam a vízáramlási rendszerek és a radionuklid koncentrációk térbeli összefüggéseit. A kutatás során az alábbi célkitűzéseket fogalmaztam meg:

1. A felszínalatti vízáramlási rendszerek tulajdonságainak megismerése (hajtóerő, regionális áramlási irányok, vízkémiai tulajdonságok).

2. A felszínalatti vízáramlási rendszerek ismeretében (rezsímjelleg, relatív tartózkodási idő) a mért radionuklid koncentrációk térbeli eloszlásának magyarázata.
3. A Velencei-tó, mint fontos társadalmi és ökológiai jelentőségű természetes tó, elhelyezése a felszínalatti vízáramlási rendszerben, a mért radionuklid koncentrációkat természetes nyomjelzőként alkalmazva.
4. A pannóniai korú sziliciklasztos vízáadó képződményben az urán mobilizációját vezérlő geokémiai folyamatok megértése, valamint általános érvényű következtetések megállapítása az urán kőzet-víz rendszerekben történő viselkedéséről.

2. Alkalmazott módszerek

A kutatási terület felszínalatti vízáramlási rendszereinek regionális léptékű vizsgálatához a medencehidraulika módszereit alkalmaztam (TÓTH 2009). A mért adatokon alapuló hidraulikai feldolgozás keretén belül a rendelkezésre álló adatokból nyomás-eleváció profilokat, tomografikus potenciál térképeket, potenciálkülönbség térképeket és hidraulikus keresztmetszelvényt készítettem a vertikális és a horizontális áramlási irányok meghatározásához.

A hidraulikai feldolgozás eredményei alapján felvázolt felszínalatti vízáramlási képet általános vízgeokémiai vizsgálatok (általános vízkémia, ^{226}Ra , ^{222}Rn , összes urán aktivitás, $\delta^2\text{H}$ és $\delta^{18}\text{O}$ stabil izotóp arányok), valamint a COMSOL Multiphysics szoftverben elkészített 2D numerikus szimuláció alkalmazásával pontosítottam, illetve támasztottam alá.

A laboratóriumi vizsgálatokhoz vízmintákat gyűjtöttem. A mintázás során a helyszínen rögzítettem a terepi paramétereket (hőmérséklet, pH, fajlagos elektromos vezetőképesség, oldott oxigén tartalom,

redoxpotenciál). Az általános vízkémiai paraméterek (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) és a nyomelemek koncentrációi a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ, valamint az ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék laboratóriumaiban kerültek meghatározásra. A vizsgált radionuklidok közül a ^{226}Ra és az összes urán ($^{234}\text{U}+^{235}\text{U}+^{238}\text{U}$) aktivitáskoncentráció értékeket egy hazánkban egyedül az ELTE-n alkalmazott, innovatív technika, a szelektíven adszorbeáló ún. Nucfilm diszkek segítségével az ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszékének Müller-Surbeck laboratóriumában található alfa-spektrométerrel mértem meg, míg a ^{222}Rn aktivitáskoncentrációt az ELTE TTK Atomfizikai Tanszékén található TriCARB 1000TR folyadékszintillációs detektor segítségével határoztam meg. A $\delta^2\text{H}$ és $\delta^{18}\text{O}$ méréseket a Finn Földtani Szolgálat (GTK) espoo-i telephelyén található izotóplaboratóriumban végeztem el, egy PICARRO L2130-i $^2\text{H}/^{18}\text{O}$ izotóp analízátor segítségével.

Az urán felszínalatti víz általi mobilizációját vezérlő geokémiai folyamatok vizsgálata egy 1D geokémiai modell elkészítésén keresztül valósult meg, melyhez a PHREEQC szoftvert használtam fel.

3. Eredmények, az értekezés tézisei

A doktori kutatásom során felhasznált módszerek segítségével elért eredmények együttes értékelése alapján az alábbi tézisekben összefoglalt eredményekre és megállapításokra jutottam:

- 1) A regionális, medence léptékű, mért adatokon alapuló hidraulikai feldolgozás keretében meghatároztam, hogy a Velencei-hegység és tágabb környezetében a vizsgált mélységtartományban ((-250)–250 mBf) a felszínalatti víztükör helyzeti magasságában tapasztalható változások mozgatják a vízáramlási rendszereket.

- a. Megállapítottam, hogy 0 mBf eleváció felett a fő horizontális vízáramlási irányok a Vértes, a Velencei-hegység, valamint a kiemelt löszhátak felől a Duna, a Sárvíz-völgy, a Sárrét és a Velencei-tó irányába mutatnak. A ((-250)–0 mBf eleváció tartományban a Sárvíz-völgy és a Duna megcsapoló hatását figyeltem meg, a lokális domborzati változások hatása eltűnt.
 - b. Az elkészített 62 nyomás-eleváció profil fele beáramlási rezsimjellegűt, azaz lefelé irányuló vízmozgást mutatott, melyek a kutatási terület magasabb tengerszint feletti magasságú részeire jellemzőek. Az alacsonyan fekvő térszínekre kiáramlási rezsimjellegű volt jellemző. A leáramlást, mint domináns vertikális áramlási irányt a különbségtérképek, valamint a hidraulikus keresztmetszélvény segítségével is kimutattam.
 - c. Megfigyeltem, hogy a be- és kiáramlási rezsimet jelző profilok egymással szomszédosak, ami lokális áramlási rendszerek jelenlétére utal a vizsgált mélységben.
- 2) A hidraulikai adatfeldolgozás eredményei alapján felállított koncepcionális modellt a vízgeokémiai vizsgálatok és a numerikus modellezés eredményeivel is alátámasztottam.
- a. A felszínalatti vízből gyűjtött vízmintákra alacsony hőmérséklet, TDS és a HCO_3^- dominanciája jellemző, míg a $\delta^{2}\text{H}$ és $\delta^{18}\text{O}$ stabil izotóp arányok recens éghajlaton hullott csapadékból való eredetet mutatnak. Ezeket a jellemzőket a lokális áramlási rendszerek és a beáramlási területek bizonyítékaként azonosítottam.
 - b. A 2D vízáramlás modell segítségével igazoltam, hogy a be- és kiáramlási rezsimjellegű területek mozaikosan váltják egymást. A szelvény mentén az áramlási intenzitás mélységgel való

csökkenését figyeltem meg, amit a mélységgel csökkenő hidraulikus vezetőképesség értékekkel magyaráztam.

- 3) Kimutattam, hogy a vizsgálati területen regionális kiterjedésben geogén eredetű uránszennyezés van jelen a felszínalatti vizekben.
 - a. Az urán jelenlétét a terület felszínalatti vízáramlási viszonyaival magyaráztam, vagyis a sekély behatolási mélységű, rövid tartózkodási idejű, oxidatív környezettel és HCO_3^- anion dominanciával jellemezhető lokális áramlási rendszerek meglétével és a beáramlási területek dominanciájával.
 - b. Az ivóvizekben leggyakrabban előforduló radionuklidok (az összes urán, ^{226}Ra és ^{222}Rn) aktivitáskoncentrációjának mérése alapján megállapítottam, hogy az ivóvízben mért, 0,1 Bq/l vizsgálati szintet meghaladó összesalfa-aktivitás a vízben oldott urán jelenlétével magyarázható. Az általam mért aktivitás értékek a 0,1 mSv/év indikatív dózishoz tartozó származtatott koncentráció (^{234}U : 2,8 Bq/l és ^{238}U : 3 Bq/l) alatt voltak, így nem áll fent egészségkockázat.
- 4) A geokémiai modellezés segítségével kvantitatív és kvalitatív módon is igazoltam a hidraulikai adatfeldolgozás és a vízgeokémiai vizsgálatok eredményei alapján felállított, a radionuklidok térbeli eloszlását magyarázó koncepcionális modellt.
 - a. Azonosítottam a területen a pannóniai-kvarter korú sziliciklasztos összlet azon geokémiai jellemzőit (redoxpotenciál, szervesanyag bomlási sebesség, karbonáttartalom), melyek az urán felszínalatti vízben való mobilizációját vezérlik.
 - b. Meghatároztam a redukzív környezet kialakulásának lehetséges időpontját (~560 év), mely nagyságrendileg megegyezett a felszínalatti víz feltételezett tartózkodási idejével.

- c. Megállapítottam, hogy a PHREEQC szoftver alkalmas a felszínalatti víz urán tartalmában megfigyelhető változások modellezésére, továbbá az urán kőzet-víz rendszerben való geokémiai viselkedését befolyásoló folyamatokat számszerűsítésére.
- 5) Feltártam a Velencei-tó és a felszínalatti vízáramlási rendszerek kapcsolatát: a tó a felszínalatti vízáramlási rendszerek megcsapolódási pontja.
- a. A Velencei-tó felé a Velencei-hegység, a gárdonyi magaslat és Székesfehérvár irányából tartó vízáramlást azonosítottam.
- b. A gárdonyi Bika-völgyben gyűjtött felszínalatti vízmintákban a tóban mért értékekkel hasonló nagyságrendbe eső összes urán aktivitást mértem, ami a tó vizében az urántartalom felszínalatti víz eredetére utal.
- c. A felszínalatti vizek és tó hasonló vízgeokémiai jellege alapján megerősítettem, hogy a jellegzetes, szódatavakra jellemző geokémiai karakter a felszínalatti vizekből származik. Erre utal még a felszínalatti vizekben domináns Mg^{2+} tartalom is, mely a tó vizére is jellemző.
- d. A hidraulikai és geokémiai vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy a tavat lokális áramlási rendszerek táplálják, ami a tó emberi és klimatikus hatásokkal szembeni érzékenységét eredményezi.

4. Felhasznált irodalom

- EDMUNDS, W, SMEDLEY, P. (1996). Groundwater geochemistry and health: an overview. *Geological Society, London, Special Publications*, 113(1), 91-105. <http://doi.org/10.1144/GSL.SP.1996.113.01.08>.
- HOEHN, E. (1998). Radionuclides in groundwaters: contaminants and tracers. Paper presented at the *Groundwater quality: remediation and protection Tübingen*. http://hydrologie.org/redbooks/a250/iahs_250_0003.pdf.
- NUCCETELLI, C, RUSCONI, R, FORTE, M. (2012). Radioactivity in drinking water: regulations, monitoring results and radiation protection issues. *Annali dell'Istituto superiore di sanità*, 48, 362-373. http://doi.org/10.4415/ANN_12_04_04.
- SKEPPSTRÖM, K, OLOFSSON, B. (2007). Uranium and radon in groundwater. *European Water*, 17(18), 51-62. https://www.ewra.net/ew/pdf/EW_2007_17-18_05.pdf.
- TÓTH, J. (2009). Gravitational systems of groundwater flow: theory, evaluation, utilization: *Cambridge University Press*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511576546>.
- VENGOSH, A, COYTE, RM, PODGORSKI, J, JOHNSON, TM. (2022). A critical review on the occurrence and distribution of the uranium- and thorium-decay nuclides and their effect on the quality of groundwater. *Science of the Total Environment*, 808, 151914. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151914>.

5. Doktori kutatáshoz kapcsolódó publikációk

- BAJÁK P.**; CSONDOR K.; PEDRETTI D.; MUNIRUZZAMAN M.; SURBECK H.; IZSÁK B.; VARGHA M.; HORVÁTH Á.; PÁNDICS T.; ERŐSS A (2022) Refining the conceptual model for radionuclide mobility in groundwater in the vicinity of a Hungarian granitic complex using geochemical modelling. *Applied Geochemistry* 137, Paper: 105201, 12 p. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2022.105201>.
- BAJÁK P.**; HEGEDŰS-CSONDOR K.; TILJANDER M.; KORKKA-NIEMI K.; SURBECK H.; IZSÁK B.; VARGHA M.; HORVÁTH Á.; PÁNDICS T.; ERŐSS A. (2022) Integration of a Shallow Soda Lake into the Groundwater Flow System by Using Hydraulic Evaluation and Environmental Tracers. *Water* 14(6), Paper: 951, 20 p. <https://doi.org/10.3390/w14060951>.

6. Egyéb publikációk

- BAJÁK P.**; MOLNÁR B.; HEGEDŰS-CSONDOR K.; TILJANDER M.; JOBBÁGY V.; KOHUTH-ÖTVÖS V.; IZSÁK B.; VARGHA M.; HORVÁTH Á.; CSIPA E. et al. (2023) Natural Radioactivity in Drinking Water in the Surroundings of a Metamorphic Outcrop in Hungary: The Hydrogeological Answer to Practical Problems. *Water* 15(9), Paper: 1637, 20 p. <https://doi.org/10.3390/w15091637>.
- TÓTH Á.; **BAJÁK P.**; SZIJÁRTÓ M.; TILJANDER M.; KORKKA-NIEMI K.; HENDRIKSSON N.; MÁDL-SZŐNYI J. (2023) Multimethodological Revisit of the Surface Water and Groundwater Interaction in the Balaton Highland Region—

- Implications for the Overlooked Groundwater Component of Lake Balaton, Hungary. *Water*, 15(6), Paper: 1006. <https://doi.org/10.3390/w15061006>.
- CZAUNER B.; ERŐSS, A.; SZKOLNIKOVICS-SIMON SZ.; MARKÓ Á.; **BAJÁK P.**; TRÁSY-HAVRIL T.; SZIJÁRTÓ M.; SZABÓ Zs.; HEGEDŰS-CSONDOR K.; MÁDL-SZŐNYI J. (2022) From basin-scale groundwater flow to integrated geofluid research in the hydrogeology research group of Eötvös Loránd University, Hungary. *Journal of Hydrology X*, 17, Paper: 100142. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2022.100142>.
- PEDRETTI D.; VRIENS B.; SKIERSZKAN E.K.; **BAJÁK P.**; MAYER K.U.; BECKIE R.D. (2022) Evaluating dual-domain models for upscaling multicomponent reactive transport in mine waste rock. *Journal of Contaminant Hydrology*, 244, Paper: 103931, 11 p. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2021.103931>.
- CSONDOR K.; **BAJÁK P.**; SURBECK H.; IZSÁK B.; HORVÁTH Á.; VARGHA M.; PÁNDICS T.; ERŐSS A. (2021) Parti szűrésű vízbázisok természetes radioaktivitása nuklidspecifikus mérések tapasztalatai alapján. *Hidrologiai Közlöny*, 101(2), 44-53, 10 p. https://www.hidrologia.hu/mht/letoltes/HK2021_04.pdf.
- ERŐSS A.; HORVÁTH Á.; HEGEDŰS-CSONDOR K.; **BAJÁK P.**; KOVÁCSNÉ BODOR P.; MÁDLNÉ SZŐNYI J. (2021) Radon a felszínalatti vizekben. *Sugárvédelem*, 14(2), 37-42, 6 p. https://epa.oszk.hu/04300/04398/00017/pdf/EPA04398_sugarvedelem_2021_2_37-42.pdf.
- MEDICI G.; **BAJÁK P.**; WEST L.J.; CHAPMAN P.J.; BANWART S.A. (2021) DOC and nitrate fluxes from farmland; impact on a dolostone aquifer KCZ. *Journal of Hydrology*, 595, Paper: 125658. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125658>.
- CSONDOR K.; **BAJÁK P.**; SURBECK H.; IZSÁK B.; HORVÁTH Á.; VARGHA M.; ERŐSS A. (2020) Transient nature of riverbank filtered drinking water supply systems - A new challenge of natural radioactivity assessment. *Journal of Environmental Radioactivity*, 211, Paper: 106072. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106072>.

7. Doktori kutatáshoz kapcsolódó konferenciaközlemények

- BAJÁK, P.**; HEGEDŰS-CSONDOR, K.; CSEPREGI, A.; ERŐSS, A. (2022): A Velencei-tó és a felszínalatti vizek kapcsolatának vizsgálata. In: Felszín Alatti Vizekért Alapítvány XXVIII. Almássy Endre konferencia a felszín alatti vizekről – Absztraktkötet, pp. 14-15.
- ERŐSS, A.; **BAJÁK, P.**; HEGEDŰS-CSONDOR, K.; IZSÁK, B.; VARGHA, M.; PÁNDICS, T.; HORVÁTH, Á. (2022): Ivóvizek természetes radioaktivitásának eredete az elmúlt évek kutatási eredményeinek tükrében. In: Felszín Alatti Vizekért Alapítvány XXVIII. Almássy Endre konferencia a felszín alatti vizekről – Absztraktkötet. pp. 7-8.
- ERŐSS, A.; **BAJÁK, P.**; HEGEDŰS-CSONDOR, K.; IZSÁK, B.; VARGHA, M.; PÁNDICS, T.; HORVÁTH, Á.; JOBBÁGY, V.; PELCZAR, K.; HULT, M. (2022): Environmental radioisotopes in hydrogeological studies. In: Book of Abstracts – VIII.

Terrestrial Radioisotopes in Environment International Conference on Environmental Protection, pp. 28-28.

- BAJÁK, P.;** HEGEDŰS-CSONDOR, K.; TILJANDER, M.; KORKKA-NIEMI, K.; IZSÁK, B.; VARGHA, M.; PÁNDICS, T.; TÓTH, Á.; CSEPREGI, A.; ERŐSS, A. (2022): Regional Groundwater Flow Studies To Integrate A Shallow Soda Lake Into the Gravity-Driven Groundwater Flow System – A Case Study From Hungary. In: 49th IAH Congress Abstracts, no. 140349.
- BAJÁK, P.;** HEGEDŰS-CSONDOR, K.; TILJANDER, M.; KORKKA-NIEMI, K.; IZSÁK, B.; VARGHA, M.; HORVÁTH, Á.; PÁNDICS, T.; ERŐSS, A. (2022): Investigation of the contribution of groundwater to the water budget of a shallow soda lake in Hungary by using stable and radioactive isotopes as natural tracers. In: EGU General Assembly 2022: Abstracts (Bécs, Ausztria), no. EGU22-10323.
- BAJÁK, P.;** HEGEDŰS-CSONDOR, K.; TILJANDER, M.; KORKKA-NIEMI, K.; IZSÁK, B.; VARGHA, M.; PÁNDICS, T.; HORVÁTH, Á.; ERŐSS, A. (2022): Joint application of groundwater mapping and environmental tracers to reveal the interconnection between groundwater and Lake Velence. In: 52. Ifjú Szakemberek Ankétja, pp. 16-17.
- BAJÁK, P.;** CSONDOR, K.; PEDRETTI, D.; MUNIRUZZAMAN, M.; IZSÁK, B.; VARGHA, M.; HORVÁTH, Á.; PÁNDICS, T.; ERŐSS, A. (2021): Regional-scale hydrogeological and local-scale geochemical investigation of natural radioactivity of groundwater-derived drinking water. In: ISZA 2021 Program and Abstract book, pp. 32-33.
- BAJÁK, P.;** CSONDOR, K.; PEDRETTI, D.; MUNIRUZZAMAN, M.; KOHUTH-ÖTVÖS, V.; IZSÁK, B.; VARGHA, M.; HORVÁTH, Á.; PÁNDICS, T.; ERŐSS, A. (2021): Hydrogeological investigation of the radionuclide content in groundwater in the vicinities of two crystalline outcrops in Hungary. In: IAH2021 Book of Abstracts, no. 371, pp. 207-207.
- BAJÁK, P.;** CSONDOR, K.; PEDRETTI, D.; MUNIRUZZAMAN, M.; IZSÁK, B.; VARGHA, M.; HORVÁTH, Á.; PÁNDICS, T.; ERŐSS, A. (2021): Natural Uranium Contamination in Groundwater – Understanding the Mobilization and Transport Processes with the Help of Hydrogeology and Geochemical Modeling. In: International Symposium on Geofluids: 7-9 July 2021 – virtual event (Budapest, Magyarország), pp. 95-95.
- ERŐSS, A.; **BAJÁK, P.;** CSONDOR, K.; IZSÁK, B.; VARGHA, M.; HORVÁTH, Á.; PÁNDICS, T. (2021): Geogenic radionuclide contamination in groundwater – a new challenge in drinking water supply. In: International Symposium on Geofluids: 7-9 July 2021 – virtual event (Budapest, Magyarország), pp. 51-51.
- BAJÁK, P.;** CSONDOR, K.; PEDRETTI, D.; MUNIRUZZAMAN, M.; IZSÁK, B.; VARGHA, M.; HORVÁTH, Á.; PÁNDICS, T.; ERŐSS, A. (2021): The controls of radionuclide mobility in a siliciclastic aquifer in Hungary: Hydrogeological investigations and geochemical modeling. In: European, Geosciences Union General Assembly EGU General Assembly 2021: Conference Abstracts, no. EGU21-8804.

- BAJÁK, P.**; CSONDOR, K.; PEDRETTI, D.; MUNIRUZZAMAN, M.; IZSÁK, B.; VARGHA, M.; HORVÁTH, Á.; PÁNDICS, T.; ERŐSS, A. (2021) Geokémiai modellezés alkalmazása felszínalatti vizek radionuklid tartalmának vizsgálatakor – Geochemical modeling to understand the natural radioactivity of groundwater. In: XVI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia absztrakt kötet (16th Carpathian Basin Conference for Environmental Sciences abstract book), pp. 34.
- BAJÁK, P.**; CSONDOR, K.; SURBECK, H.; IZSÁK, B.; VARGHA, M.; HORVÁTH, Á.; PÁNDICS, T.; ERŐSS, A. (2020): Hydrogeology as an efficient tool for evaluating natural radionuclide content of drinking water. In: IX. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia Absztraktkötet (9th Interdisciplinary Doctoral Conference Book of Abstracts), Pécs, Magyarország, p. 146.
- BAJÁK, P.**; CSONDOR, K.; SURBECK, H.; IZSÁK, B.; VARGHA, M.; HORVÁTH, Á.; PÁNDICS, T.; ERŐSS, A. (2020): Radionuclide content of drinking water in Hungary - How can hydrogeological approach help to understand? A case study in the vicinity of a granitic complex. In: VII. Terrestrial Radioisotopes in Environment: International Conference on Environmental Protection (Veszprém, Magyarország) pp. 41-42.
- BAJÁK, P.**; CSONDOR, K.; SURBECK, H.; IZSÁK, B.; VARGHA, M.; HORVÁTH, Á.; PÁNDICS, T.; ERŐSS, A. (2020): The natural radioactivity of groundwater from a hydrogeological point of view. In: Kárpát-medencei Környezettudományi Kutatások Aktuális Eredményei absztrakt kötet (Current Research of Environmental Sciences in the Carpathian Basin abstract book), (Budapest, Magyarország), pp. 6-6.
- BAJÁK, P.**; CSONDOR, K.; SURBECK, H.; IZSÁK, B.; VARGHA, M.; HORVÁTH, Á.; PÁNDICS, T.; ERŐSS, A. (2020): How can flow system approach help to understand the natural radionuclide content of the drinking water originated from groundwater sources? Case study in the vicinity of a granitic complex. In: EGU General Assembly 2020: Abstracts, no. EGU2020-1181.
- BAJÁK, P.**; CSONDOR, K.; SURBECK, H.; IZSÁK, B.; VARGHA, M.; HORVÁTH, Á.; PÁNDICS, T.; ERŐSS, A. (2019): A felszínalatti vizek természetes radioaktivitása hidrogeológiai megközelítésben – egy esettanulmány példáján. In: Felszín, Alatti Vizekért Alapítvány XXVI. Almássy Endre konferencia a felszín alatti vizekről. pp. 28-30.
- BAJÁK, P.**; CSONDOR, K.; SURBECK, H.; IZSÁK, B.; HORVÁTH, Á.; VARGHA, M.; PÁNDICS, T.; ERŐSS, A. (2019): Radionuclide content of groundwater in hydrogeological approach. Case study in the adjacent area of a granitic complex. In: 46th IAH Congress Abstracts pp. 477-477.
- ERŐSS, A.; CSONDOR, K.; **BAJÁK, P.**; SURBECK, H.; IZSÁK, B.; HORVÁTH, Á.; VARGHA, M.; PÁNDICS, T. (2019): Natural radioactivity of groundwater, the new challenge in drinking water quality: how can flow system approach help? In: 46th IAH Congress Abstracts pp. 124-124.