

RADON A FELSZÍNALATTI VIZEKBEN

Eröss Anita*¹, Horváth Ákos², Hegedűs-Csondor Katalin¹, Baják Petra¹, Kovácsné Bodor Petra³, Mádlné Szőnyi Judit¹

¹ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Tóth József és Erzsébet Hidrogeológia Professzúra, Budapest

²ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Fizika Intézet, Atomfizikai Tanszék, Budapest

³Országos Vízügyi Főigazgatóság, Budapest

*eross.anita@ttk.elte.hu

A kézirat beérkezett: 2021.11.22.

Közlésre elfogadva: 2021.11.24.

Radon in groundwater

Radon is a well-known natural tracer of groundwater flow systems and plays an important role in the understanding of their characteristics and subsurface processes. In this paper we show that radon occurs in various environments, in various activity concentrations. Hence, due the continuity of the subsurface and the very diverse utilization of groundwater it should be considered in the monitoring of every type of use and should be assessed its health effect and risk.

Keywords – radon, groundwater, iron- and manganese-oxihydroxides, flow systems

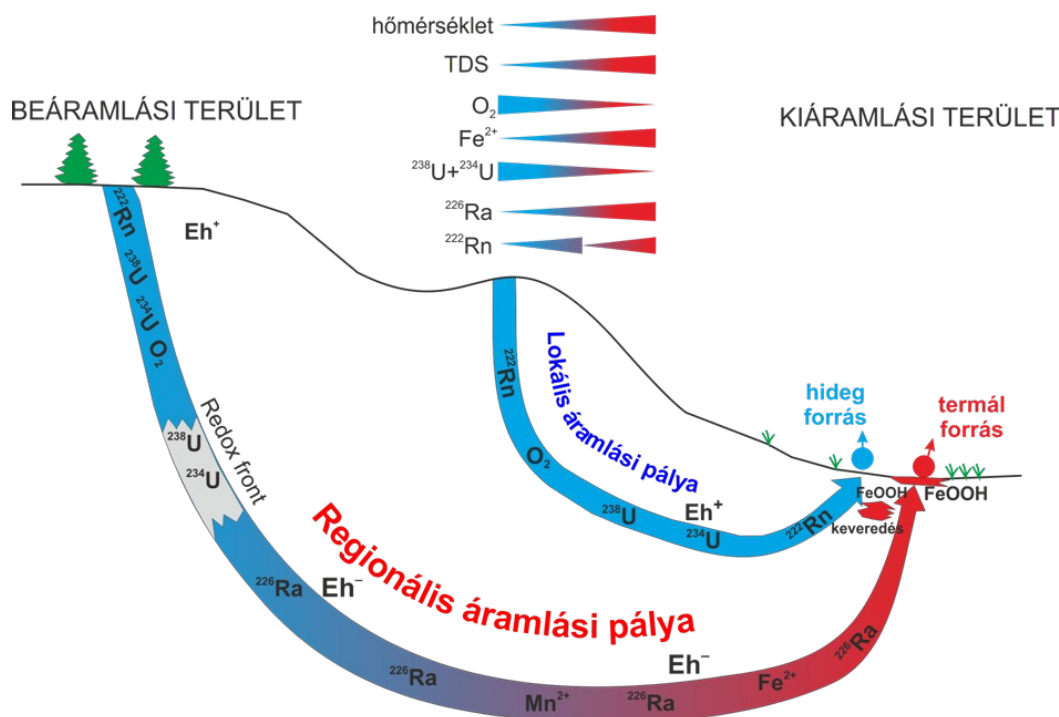
A radon a felszínalatti vizekben régóta ismert és használt természetes nyomjelző, mely a felszínalatti vízáramlási rendszerek megismerését segíti. A cikkben példákon keresztül illusztráljuk, hogy milyen sokféle környezetben fordul elő a radon. Mindezzel azt kívánjuk hangsúlyozni, hogy a felszín alatti térrészben mozgó vizek összefüggése és sokrétű felhasználása miatt minden felhasználási módnál számolni kell vele, és a hozzá kapcsolódó egészségügyi kockázattal.

Kulcsszavak – radon, felszínalatti vizek, vas- és mangán-oxihidroxidok, áramlási rendszerek

A felszínalatti vizek fontos erőforrást képviselnek hazánkban, hiszen az ivóvízellátás döntő hányada (95%), az ásványvizek, valamint a gyógy- és rekreációs céllal kitermelt termálvizek teljes egészében a felszín alól származnak [1]. Ez az elkülönítés emberi eredetű, és csak a víz felhasználási módját tükrözi. Valójában egy adott térségben a felszínalatti vízkészletek vízföldtani szempontból összefüggenek [2], azonban a jelenleg is használt talaj- és rétegvíz fogalmak is az összefüggések felismerését nehezítő elkülönítést erősítik. A különböző víztípusok közül csak az ivóvíz ellenőrizendő, jogszabályban előírt vízminőségi paraméterei között szerepel a radon [3], fontos tehát áttekintenünk, hogy hogyan kerül a radon a felszínalatti vizekbe, a vízkészletek felszín alatti összefüggései és előbb említett sokrétű felhasználása miatt.

A felszínalatti vizekben a radioaktív izotópok közül az urán, a rádium és annak leányeleme, a radon fordul elő a leggyakrabban. A felszín alatti vizek radioaktív izotóp tartalmával kapcsolatos ismeretek igen széleskörűek, annak köszönhetően, hogy ezeket a felszínalatti vizek áramlási rendszereinek jellemzésére természetes nyomjelzőként régóta alkalmazzák [4–7] (1. ábra). Jelenlétük ugyanis az eltérő fizikai és geokémiai tulajdonságaiknak köszönhetően a felszínalatti áramlási pályák egy-egy szegmensére jellemző. A legfontosabb különbség, hogy az urán oxidatív, a rádium redukzív körülmények között oldódik a felszínalatti vízben. Ugyanakkor a radon mozgását – nemesgáz mivoltából

adódóan – elsősorban a vízáadó fizikai, mintsem kémiai tulajdonságai befolyásolják. Az alábbiakban a felszínalatti víz radionuklid tartalmát természetes nyomjelzőként felhasználó kutatások radon szempontjából legfontosabb aspektusait emeljük ki.



1. ábra. Radionuklidok és vízkémiai paraméterek a felszínalatti vízáramlási rendszerekben.

TDS: összes oldott anyag tartalom, Eh: oxidációs-redukációs potenciál, FeOOH: vas- és mangán-oxihidroxid kiválások ([33] után módosítva)

A felszínalatti vizek utánpótlódását a felszín alá beszivárgó csapadék biztosítja, mely a vízszintet elérve válik felszínalatti vízzé. Felszín alatti útja során a mozgó víz kölcsönhatásba kerül a környezetével, a kőzetekkel, így tesz szert oldottanyag-tartalmára, így kerülnek bele a jótékony vagy éppenséggel egészségre káros anyagok [8].

A csapadékvíz a felszín alá kerülve a vízszint felett és alatt a rádiumtartalmú ásvány szemcsékből kiszabaduló radonban gazdagodik. Jól ismert azonban, hogy radon az ásvány szemcséből leginkább akkor képes kiszabadulni és a szemcsék közti pórusterbe kerülni, ha a rádium a szemcse szélén található. Éppen ezért a felszínalatti vizek radontartalmáért sok esetben nem csak az alapkőzet rádiumtartalma felelős, hanem a rádiumot a szemcse felületén megkötni képes anyagok. Ilyenek a vas- és mangán-oxihidroxidok [5, 9, 10], melyek mállási, talajképződési és egyéb, az oxidációs állapot megváltozásával járó folyamatok gyakori képződményei, ezáltal szinte mindenhol megtalálhatók. Ezek a gyengén kristályosodott anyagok ásvány szemcsék bevonataként vagy önálló kiválásként sokféle elemet képesek a felületükön megkötni, köztük a rádiumot is. Ilyen módon a radon kiszabadulása a pórusterbe is biztosított. Ettől kezdve a radon detektálása – rövid, 3,8 napos felezési ideje miatt – csak attól függ, hogy mindez hol történik, azaz a detektálás milyen távol van a rádium felületi megkötődési helyétől, azaz a radon forrásától.

A felszínalatti vizek áramlását a beszivárgási és megcsapolódási területek vízszint magasságkülönbsége indukálja [11], éppen úgy, ahogyan a folyók esetében (1. ábra). A különbség, hogy ez a vízmozgás a felszínalatti térrészben zajlik, különféle áramlási rendszerekbe (lokális – rövid, kis behatolási mélységű; regionális – hosszú, vízválasztótól a fő folyóvölgyig tartó) szerveződve (1. ábra).

Általánosságban elmondható, hogy ez az áramlás (a karsztoktól eltekintve) lassú szivárgás (0,1–1 m/nap), tehát ha jelentősebb radon aktivitáskoncentrációt mérünk a felszínalatti vizekben, közeli forrást kell keresnünk. Rövid felszín alatti útvonal a lokális áramlási pályákat jellemzi (1. ábra). Ilyen lokális, rövid tartózkodási idejű rendszerek táplálják például a Velencei- vagy a Soproni-hegység forrásait, melyek a gránitos (átlagos urán koncentráció 9,9 ppm [12]), illetve metamorf alapkőzetnek (átlagos urán koncentráció 2,2–3,4 ppm [13]) köszönhetően jelentős radontartalommal rendelkeznek. A Velencei-hegység forrásainak vizében a max. 314 Bq/l radon aktivitáskoncentráció mellett jelentős az oldott urántartalom is (0,142 Bq/l) [14], köszönhetően annak, hogy az urán oxidatív körülmények között oldódik és szállítódik a felszínalatti vizekben [15] (1. ábra). Ugyanakkor a Soproni-hegység forrásaiban mérhető radonaktivitást (max. 232 Bq/l) [16, 17] nem kíséri magas oldott urántartalom (max. 0,093 Bq/l) [18], mely az eltérő alapkőzetre (eltérő urántartalom) és a különböző mértékű kőzet–víz kölcsönhatásra vezethető vissza. Azaz a felszínalatti vízáramlás szállító szerepe mellett számos más tényező is szerepet játszik a mért aktivitás kialakulásában.

A karbonátos kőzetekben a felszínről beszivárgó esővíz hatására kialakult ún. epigén karsztrendszerek esetében a radon szerepe különösen fontos lehet. Itt jól fejlett karsztjáratok kötik össze a forrásokat a beszivárgási területekkel, ezeken keresztül gyors, akár 100 m/órát is elérő áramlás zajlik. A talajzónából származó radon tehát gyorsan, jelentős távolságokra is elszállítható [19]. A svájci Jura-hegységből származó esettanulmányok például a heves csapadékeseményekhez köthető, megnövekedett radonkoncentrációról számolnak be, mely a csapadékesemény kezdetét követően, ~8 óra elteltével jelentkezik a forrásokban, jelezvén a frissen, a talajzónán keresztül beszivárgott víz megérkezését [4, 20]. Ilyen típusú rendszerekben a radon folyamatos monitorozása a karsztos vízáradó dinamikájáról szolgáltat hasznos hidrogeológiai információt, ezáltal segítve a biztonságos vízellátást, a vízhozam mellett a vízminőség tekintetében is. A heves esőzésekkel ugyanis sokféle szennyezőanyag is bemosódhat a karsztos vízáradókba, melyek így koncentráltan, nagyon gyorsan juthatnak el az ivóvízellátást biztosító forrásokhoz, kutakhoz. A vízáradó sérülékenységének megítéléséhez fontos tehát az áramlási sebességek ismerete, mellyel az olyan esetek, mint például a miskolci karsztárvízhez [21] vagy Walkerton (Ontario, Kanada [22]) világszerte megismert vízbalesetéhez kötődő megbetegedések elkerülhetők.

A karsztokról és a gránitos vagy metamorf környezet forrásairól leírtak alapján sokan azt gondolhatják, hogy a radon csak lokális felszínalatti vízáramlási rendszerekben fordul elő. Azaz csak ilyen rendszerekből táplálkozó vízellátás esetében jelenthet egészségügyi kockázatot. Azonban a fentebb említett vas- és mangán-oxihidroxidok gyakran képződnek olyan felszínalatti vizekhez kapcsolódóan, amelyek regionális pályán mozogva hosszabb időt töltenek a felszín alatt. Mivel hosszú időt töltenek a levegőtől elzárva, ezeknek a vizeknek nincs, vagy nagyon alacsony az oldotoxigén-tartalma (azaz redukzív), és sok esetben magas hőmérsékletűek, azaz termálvizek (melegebbek, mint 30°C) is lehetnek (1. ábra). Emellett a hosszabb felszín alatti útvonalon nagyon sokféle elem, köztük rádiumban is gazdagodhatnak. Erről tanúskodik számos hazai termálvíz és ásványvíz, melyek esetében akár 3 Bq/l rádium aktivitáskoncentrációt is mértek [9, 23–25]. A regionális pálya végén, ezek természetes megcsapolódási pontjainál, amikor források formájában újra oxidatív környezetbe, a felszínre lépnek ezek a hosszú utat bejárt vizek, gyakran képződnek a már említett vasas-mangános kiválások, melyek kialakulásában a fiziko-kémiai jellemzők megváltozása mellett mikrobiológiai folyamatok is szerepet játszanak [9, 26]. Hasonló környezeti állapotváltozás (redukzívból oxidatív válnó környezet) történik a kutakkal történő vízkitermelés során is (pl. felszínalatti víz kitermelése gyógyvizek használata, termálfürdők vízellátása céljából). Ezek a kiválások képesek sok nyomelemet, köztük a rádiumot is megkötni, és ezzel radonforrássá válni. Ez a jelenség figyelhető meg például a budapesti

Gellért-hegy környezetében található termálforrásokban, ahol az ásvány szemcséken vagy biológiailag aktív anyagokon a rádium felhalmozódása magas, akár 1000 Bq/l radon aktivitáskonzentrációt eredményez [9, 27]. A felszínre lépő termálvízből kiváló karbonátok és biofilmek képződési körülményeit és radonforrásként betöltött szerepüket a feltételeket mesterségesen kontrollálva egy terepi kísérlet során is vizsgálták [28]. A kísérlet eredményeképpen kiderült, hogy a termálvízből képződő biológiai kiválások már néhány hét alatt képesek nagy mennyiségű rádiumot megkötni, mely kimutatható (akár 130 Bq/l) radontartalom-növekedést eredményez a vízben [28]. Hasonló kiválás a termálvizes és gyógyvizes medencék esetében is gyakran megfigyelhető a medencék falán, a csővezetékekben. Ezek vizsgálata a jövő feladata. Az eddigi kutatások alapján ezek a kiválások is hozzájárulhatnak a légtér radontartalmához és az ott dolgozók sugárterheléséhez.

A radon nyomjelző szerepe a mélységi barlangképződés folyamatainak megértése szempontjából is fontos. Vas- és mangán-oxihidroxidok képződnek különböző tulajdonságú (pl. hőmérséklet, oldottóxigén-tartalom) vizek természetes vagy mesterséges keveredésénél is. Amennyiben a különböző eredetű (felszíni-oxidatív és mélységi-reduktív) vizek az áramlási rendszerek mentén karbonátos kőzetekben keverednek, úgy az mélységi oldódáshoz, ún. mélységi vagy hipogén barlangképződéshez vezet. Ilyen keveredési folyamatokhoz köthető a világhírű budapesti barlangrendszerek egy részének kialakulása is, melyek közül a Molnár János-barlang ma is aktív barlangképződéssel jellemezhető [9, 29–31]. Sok esetben, a barlangban meghatározott helyen, a bűvárok által azonosított jól látható vas-oxihidroxidos kiválások jelzik a keveredés helyét. Ezek a kiválások azonban többnyire csekély mennyiségben fordulnak elő, így ismét a radon nyújthat segítséget az aktív keveredési-barlangképződési zónák azonosításához. Hiszen a magasabb radonkoncentrációk ezen kiválások közelében észlelhetők [32]. Hasonló vízkeveredés előfordulhat a vízellátásban, geotermikus rendszereknél, a felszínalatti vizek felhasználása során, ezért ezzel a jelenséggel az ottani vezetékekrendszerekben, medencékben is számolni kell, amikor a belső légtér radonterhelését vizsgáljuk.

Látható tehát, hogy a radon a felszínalatti vizekben, ugyan eltérő aktivitáskonzentrációban, de gyakorlatilag mindenhol előfordul (>3 Bq/l), járjanak be a vizek akár rövidebb, akár hosszabb felszín alatti utat. Éppen ezért legyen bármilyen, felhasználás alapján elkülönített víztípusról (ivóvíz, öntözővíz, ásványvíz, gyógyvíz, termálvíz) is szó, fontos a rendszeres monitoring és adatfeldolgozás, amit a felszínalatti vizekre felhasználási módtól független, egységes szabályozás valósíthatna meg. Az említett példák azt is illusztrálják, hogy a radon nem csak egészségügyi kockázati tényező, de vízföldtani szempontból kiváló természetes nyomjelző. Nemesgázként nem lép reakcióba a környezetével, ezért jól alkalmazható a vízáramlás követésére, a különböző víztartók tulajdonságainak, és a bennük zajló folyamatok minél jobb megértésére. Az így megszerzett információk pedig a felhasználás és az egészségügyi kockázat értékelése során is kamatoztathatók.

IRODALOM

- [1] Barreto, S., Bártfai, B., Engloner, A., Liptay, Á. Z., Madarász, T., Vargha, M. (2017). Water in Hungary (Status overview for the National Water Programme of the Hungarian Academy of Sciences)
- [2] Tóth, J. (1995). Hydraulic continuity in large sedimentary basins. *Hydrogeology Journal*, 3(4), 4-16.
- [3] (313/2015 (X.28) Kormányrendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről szóló 201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet jogharmonizációs célú módosításáról

- [4] Eisenlohr, L., Surbeck, H. (1995). Radon as a natural tracer to study transport processes in a karst system. An example in the Swiss Jura. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences. Serie 2, Sciences de la Terre et des Planetes*, 321(9), 761-767.
- [5] Gainon, F., Goldscheider, N., & Surbeck, H. (2007). Conceptual model for the origin of high radon levels in spring waters—the example of the St. Placidus spring, Grisons, Swiss Alps. *Swiss Journal of Geosciences*, 100(2), 251-262.
- [6] Hoehn, E. (1998). Radionuclides in groundwaters: contaminants and tracers. IAHS Publication no. 250.
- [7] Swarzenski, P.W. (2007). U/Th series radionuclides as coastal groundwater tracers. *Chemical Reviews*, 107(2), 663–674.
- [8] Tóth, J. (1999). Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes, and manifestations. – *Hydrogeology Journal*, 7(1), 1–14.
- [9] Eröss, A., Mádl-Szőnyi, J., Surbeck, H., Horváth, Á., Goldscheider, N., Csoma, A. (2012). Radionuclides as natural tracers for the characterization of fluids in regional discharge areas, Buda Thermal Karst, Hungary. *Journal of Hydrology*, 426–427, 124-137.
- [10] Surbeck, H. (2007). Dissolved gases as natural tracers in karst hydrogeology; radon and beyond. In: Goldscheider, N., & Drew, D. (Eds.). (2007). *Methods in Karst Hydrogeology*. IAH: International Contributions to Hydrogeology, 26. Taylor&Francis Group, London, UK. ISBN 978-0-415-42873-6, 141-143
- [11] Tóth, J. (1962). A theory of groundwater motion in small drainage basins in central Alberta, Canada. *Journal of Geophysical Research*, 67(11), 4375-4387.
- [12] Bérczi, J. (1982). Velencei hegységi térképezés során gyűjtött minták neutronaktiválós vizsgálata és értékelése. BME. Kézirat. Országos Földtani és Geofizikai Adattár, Budapest
- [13] Török, K. (2001). Multiple fluid migration events in the Sopron Gneisses during the Alpine high-pressure metamorphism, as recorded by bulk-rock and mineral chemistry and fluid inclusions. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen*, 177(1), 1-36.
- [14] Baják, P., Csondor, K., Pedretti, D., Muniruzzaman, M., Surbeck, H., Izsák, B., Vargha, M., Horváth, Á., Pándics, T., Eröss, A. (2021). Refining the conceptual model for radionuclide mobility in groundwater in the vicinity of a Hungarian granitic complex using geochemical modeling. *Applied Geochemistry* (elfogadott kézirat)
- [15] Porcelli, D., Swarzenski, P. W. (2003). The Behavior of U- and Th-series Nuclides in Groundwater. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 52(1), 317–361.
- [16] Aros, G. (2003). Természetes radioaktivitás vizsgálata a Soproni-hegységben. Szakdolgozat. ELTE. 84p.
- [17] Freiler, Á. (2016). A radonkibocsátás kőzettani és tektonikai hátterének vizsgálata a Soproni-hegységben és környékén. Szakdolgozat. ELTE. 149p.
- [18] Molnár, B. (2021). Radioaktív források? Kőzet-víz kölcsönhatások nyomában a Soproni-hegységben. TDK dolgozat. ELTE.
- [19] Goldscheider, N., & Drew, D. (Eds.). (2007). *Methods in Karst Hydrogeology*. IAH: International Contributions to Hydrogeology, 26. Taylor&Francis Group, London, UK. ISBN 978-0-415-42873-6
- [20] Savoy, L., Surbeck, H., & Hunkeler, D. (2011). Radon and CO₂ as natural tracers to investigate the recharge dynamics of karst aquifers. *Journal of Hydrology*, 406(3-4), 148-157.
- [21] Hernádi, B., Czesznak, L., Juhász, B., Kovács, P., Lénárt, L., Tóth, M., Tóth, K. (2014). Karsztársvizek keletkezése a keleti Bükkben - Karst flood's genesis in the east part of Bükk. *Karsztfelődés*, XIX. 105-124.

- [22] Worthington, S.R.H., Smart, C.C., Ruland, W.W. (2002). Assessment of groundwater velocities to the municipal wells at Walkerton. *Ground and Water: Theory to Practice*, 1081-1086.
- [23] Baradács, E., Hunyadi, I., Dezső, Z., Csige, I., Szerbin, P. (2001). ²²⁶Ra in geothermal and bottled mineral waters of Hungary. *Radiation Measurements*, 34, 385–390.
- [24] Kovács, T., Bodrogi, E., Dombovari, P., Somlai, J., Nemeth, C., Capote, A., Tarjan, S. (2004). U-238, Ra-226, Po-210 concentrations of bottled mineral waters in Hungary and their committed effective dose. *Radiation Protection Dosimetry*, 108(2), 175-181.
- [25] Erőss, A., Surbeck, H., Csondor, K., Horváth, Á., Mádl-Szőnyi, J., & Lénárt, L. (2015). Radionuclides in the waters of the Bükk region, Hungary. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 303(3), 2529-2533.
- [26] Borsodi, A. K., Knáb, M., Krett, G., Makk, J., Márialigeti, K., Erőss, A., Mádl-Szőnyi, J. (2012). Biofilm bacterial communities inhabiting the cave walls of the Buda Thermal Karst System, Hungary. *Geomicrobiology Journal*, 29(7), 611-627.
- [27] Kovács-Bodor, P., Csondor, K., Erőss, A., Szieberth, D., Freiler-Nagy, Á., Horváth, 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.
- [28] Kovács-Bodor, P. (2020). Termásvíz megcsapolódáshoz köthető vízkémiai és kiválási folyamatok kísérleti tanulmányozása. *Doktori disszertáció*. ELTE. 173p.
- [29] Erőss, A. (2010). Characterization of fluids and evaluation of their effects on karst development at the Rózsadomb and Gellért Hill, Buda Thermal Karst, Hungary. *Doktori disszertáció*. ELTE. 171p.
- [30] Mádl-Szőnyi, J., Tóth, Á. (2015). Basin-scale conceptual groundwater flow model for an unconfined and confined thick carbonate region. *Hydrogeology Journal*, 23(7), 1359-1380.
- [31] Mádlné Szőnyi, J. (2020). Felszínalatti vízáramlások mintázata fedetlen és kapcsolódó fedett karbonátos víztartó rendszerekben, a Budai-termáلكarszt tágabb környezetének példáján. *Akadémiai nagydoktori thesis*. ELTE. 131p.
- [32] Csondor, K., Erőss, A., Horváth, Á., & Szieberth, D. (2017). Radon as a natural tracer for underwater cave exploration. *Journal of Environmental Radioactivity*, 173, 51-57.
- [33] Erőss, A., Csondor, K., Surbeck, H., Mádlné Szőnyi, J., Horváth, Á., Lénárt, L. (2014). Karsztvizek geokémiai jellemzése különös tekintettel a radionuklidokra a Bükk környezetében. *Karsztfelődés*, XIX. 77-89.