

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**A radon tér- és időbeli változása okainak
meghatározása magyarországi és erdélyi mofetták
légterében**

Sóki Erzsébet

Témavezető: Dr. Csige István



DEBRECENI EGYETEM
Fizikai Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2020

Készült

a Debreceni Egyetem Fizikai Tudományok Doktori Iskolájának
Fizikai módszerek interdiszciplináris kutatásokban programja
keretében
az Atommagkutató Intézetben (ATOMKI)

Bevezetés

Az alacsony hőmérsékletű ($< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$), főként szén-dioxidot tartalmazó gázfeltörést, valamint a rá telepített gázfürdőt egyaránt mofettának nevezzük. A többnyire utóvulkáni tevékenységhez köthető jelenség igen gyakori a Kárpát-Pannon térségben, különösen Erdélyben, a Hargita hegyvonulatának déli részén található Csomád-hegység környezetében, ugyanakkor magyarországi példák is jól ismertek, kiváltképp Mátraderecske és Parádfürdő esetében.

A száraz szén-dioxid gázszivárgásokra alapozva fürdőhelyek jöttek létre, ahol elsősorban érszűkületes betegeket kezelnek a természetes eredetű gázokat egy medencében összegyűjtve, amelyben a betegek egy 1-2 hetes terápiás kúra keretében napi kb. fél órát töltenek el. A szén-dioxid mellett egyéb gázok is előfordulnak a gázelegyben, így megtalálható benne az urán 238-as izotóp bomlási sorában a földkéregben keletkező radon gáz is. A radon egyrészt kiváló természetes eredetű nyomjelzője a mofettagázok transzportjának, másrészt a szén-dioxidos szárazfürdőkben szolgáltatot teljesítő személyzet szempontjából egészségügyi kockázati tényezőt is jelenthet.

Célkitűzés

Doktori kutatásom fő célja a radon gáz természetes mofettákban, valamint terápiás célból épített szén-dioxid szárazfürdőkben való előfordulásának, térbeli és időbeli változásainak vizsgálata, valamint a mofettagázok transzportját meghatározó felszín alatti gázdinamikai törvényszerűségek felderítése. Továbbá célul tűztem ki, hogy viszonylag egyszerű matematikai modellek felhasználásával elméleti úton is meghatározzam a ^{222}Rn -aktivitáskoncentráció tér- és időbeli változásait. Szintén célom volt, hogy összevegyem a kísérletileg

mért adatokat a modellszámítások eredményeivel a mofettagázok és benne a radon gáz transzportját jellemző paraméterek értékeinek becslése céljából.

Vizsgálati módszerek

A légtéri átlagos ^{222}Rn -aktivitáskoncentráció meghatározását CR-39 típusú (TASTRAK, Anglia) nyomdetektorral végeztük. A detektor az MTA-ATOMKI Radon Csoportja által kifejlesztett Radamon nevezetű radonmérő eszközben került elhelyezésre. Ez a mérőegység a vízben oldott ^{222}Rn -aktivitáskoncentráció mérésére is alkalmas. Ehhez a radondetektort mindössze egy – a víz detektorba jutását megakadályozó – gondosan megválasztott vékony ($15\text{ }\mu\text{m}$) gumimembránba (masculan[®] condom) kell helyezni, amely ugyanakkor a vízben oldott radon gázt kellő mértékben átengedi.

Az időbeli változások tanulmányozására egy Genitron Instruments gyártmányú AlphaGUARD PQ2000 radonmonitort is használtam. A készülék egy 0,56 liter érzékeny térfogatú és 750 V feszültségen üzemelő hengeres ionizációs kamra, melyhez egy digitális jelfeldolgozó egység csatlakozik. A radon aktivitáskoncentráció monitorozását igen széles ($2\text{ Bq/m}^3 - 2\text{ MBq/m}^3$) méréstartományban végző eszköz egyidejűleg a hőmérséklet, a légnyomás és a relatív páratartalom mérésére is alkalmas. Továbbá kültéren egy Davis Instruments Vantage Pro2 típusú mikrometeorológia állomással mértük az időjárási paraméterek (hőmérséklet, légnyomás, relatív páratartalom, csapadékmennyiség) változását.

A gyors, jellemzően napi változások vizsgálatára korábban Dataqua gyártmányú félvezető-detektoros radonmonitorokat is alkalmaztunk. A mérőtérfogatba diffundáló ^{222}Rn és rövid életű, alfa-bomló leányelemei által kibocsátott alfa-részecskéket egy Hamamatsu fotodióda, vagy egy Canberra

PIPS félvezető detektor érzékeli. Míg a 3 cm^2 -es ORTEC gyártmányú félvezető-detektorral szerelt Dataqua radonmérő műszer érzékenysége $17\text{ beütés/óra/(kBq/m}^3\text{)}$, addig az 1 cm^2 -es Hamamatsu fotodiódával rendelkező $7\text{ beütés/óra/(kBq/m}^3\text{)}$. Az itt bemutatott munkában alkalmazott Dataqua radonmonitorok a radonkoncentrációt befolyásoló egyéb paraméterek (légnyomás, hőmérséklet, relatív páratartalom) monitorozására is alkalmasak.

Új tudományos eredmények

A bemutatásra kerülő doktori (PhD) értekezésben négy erdélyi (Kovászna városa) és egy magyarországi (Mátraderecske) mofetta esetében tanulmányoztam a ^{222}Rn -aktivitáskoncentráció tér- és időbeli változásait a mofettagázoknak a felszínközeli talajban és a szén-dioxid gyógygázfürdők légterében való áramlási viszonyainak jobb megértése céljából. Az eredmények kiértékelése céljából már korábban kifejlesztett és nemzetközi összehasonlításon is validált, a gázok transzportját differenciál-egyenletekkel leíró determinisztikus matematikai modelleket alkalmaztam, a konkrét helyzetekre adaptálva őket. A mérések és a modellszámítások eredményeinek összevetéséből koncepcionális modelleket alakítottam ki a gázok felszín alatti transzportjára vonatkozóan. Kutatási eredményeimet az alábbi tézispontokban foglalom össze:

1. Koncepcionális modell igazolása a gázok transzportját leíró földtani-fizikai modellek implementálásával

Kidolgoztam egy olyan általános koncepcionális modellt, amely egyszerre képes számot adni a Bardócz- és Bene-mofettában, valamint a Pokolsárban mért radonkoncentrációk térbeli

eloszlásáról és időbeli változásairól. A koncepcionális modellből következő hidro- és gázdinamikai modellt kvantitatíve is összevettem a mérési eredményekkel. A modellezés során a "trial and error" módszert alkalmaztuk a modellszámítási eredmények mérési adatokra való legmegfelelőbb illeszkedés megtalálása érdekében.

2. A ^{222}Rn -aktivitáskoncentráció alakulása a Pokolsárban

Maratottnyom-detektoros módszerrel évszakonként megmértem a nedves mofetta iszap és gázterében a ^{222}Rn -aktivitáskoncentráció magasság szerinti változását. A mérések értelmezésére a felszín alatti talajban egy advekciós-diszperziós, a medence iszapterében egyenletesen elkeveredő és gázbuborékképződéssel járó kigázosodási, a medence gázterében pedig advekciós-keveredési diffúziós modellt alkalmaztam. A fenti folyamatokat leíró csatolt differenciálegyenlet-rendszer megoldásával viszonylag egyszerű feltételezésekkel sikerült értelmezni a megfigyelt ^{222}Rn -aktivitáskoncentráció tér- és időbeli változásait. Megállapítottam, hogy a Pokolsár vizében kialakuló radonszintet leginkább a talajvíz áramlásának intenzitása határozza meg, míg a Pokolsár légterében leginkább a szél van hatással a radonszintekre. A vízben oldott ^{222}Rn -aktivitáskoncentrációja ezen felül változik a radonnak a víz és gázfázis közötti megoszlási arányának hőmérsékletfüggése miatt is. A légtér esetében a radon forrásának a vízből kiáramló gáz tekinthető. A medence légterében tavasszal kialakuló alacsonyabb aktivitáskoncentráció azzal áll összefüggésben, hogy ebben az évszakban gyakoribb a szeles, viharos időjárás, amely alkalmas arra, hogy a pokolsár légteréből is kiséperje a mofettagázokat.

3. Anomális térbeli eloszlású ^{222}Rn -aktivitáskoncentráció profil a Bardócz- és Bene-mofetta légterében

A Bardócz- és Bene-mofetta esetében a radon-aktivitáskoncentráció a medence aljától a felszín felfelé haladva nem csökken, hanem növekszik, és csak a külső terepszint közelében - a levegővel való keveredés következtében - kezd csökkenni. Különösen figyelemre méltó, hogy ezeknél a mofettáknál a radon aktivitás-koncentrációja a gödör alján mérhető $5\text{--}10\text{ kBq/m}^3$ -es értékről a felszín felé haladva $1\text{--}2$ méterrel feljebb már $20\text{--}30\text{ kBq/m}^3$ -re növekszik. Ez azzal magyarázható, hogy ezekben a mofettákban a ^{222}Rn elsődleges forrása nem a medence alja, hanem az valahol a medence oldalfalán található. A radon forrása nem kizárólag a medencetérbe belépő mofettagáz, hanem attól függetlenül a medence oldalfalain lévő radondiffúziós-áram is. Ilyen értelemben a radon itt nem tekinthető a mofettagázok közvetlen nyomjelzőjének. Más szóval a szén-dioxid koncentrációt nem lehet arányosnak tekinteni a radonkoncentrációval.

4. Mátradereskei Széndioxid Gyógygázfürdő (Mofetta)

4/a. A radon gáz forrása és térbeli eloszlása

Többéves folyamatos méréssel alátámasztottam a feltételezést, amely szerint a Mátradereskei Széndioxid Gyógygázfürdőben a magas ^{222}Rn -aktivitáskoncentráció forrása a kezelő medencék aljáról felszivárgó gyógygáz. Ezt a megállapítást igazolja az a megfigyelés is, hogy a kezelőhelyiségektől távolodva a ^{222}Rn -aktivitáskoncentráció szisztematikusan csökken. A radon profil alulról felfelé csökkenő értékeket mutat, mely vertikális eloszlás megfelel a nemzetközi szakirodalomból ismertnek. A ^{222}Rn -aktivitáskoncentráció a gödör alján ($-2,5\text{ m}$) stabilan magas értéket mutat, míg a padlószint felé haladva ($0,0\text{ m}$) jelentős

mértékű csökkenés tapasztalható a szén-dioxid gáz környezeti levegővel való keveredése révén.

4/b. A radon aktivitáskoncentráció időbeli (szezónális és napi) alakulása

Az évszakos periodicitást a rétegvizek áramlásának szezónális intenzitása okozza. Általános tapasztalat, hogy az intenzitást őszi végi – téli eleji minimum, és tavaszi maximum jellemzi. A mofetta gázhozama, valamint a radon aktivitáskoncentrációja némi késleltetéssel ezt a tendenciát követi. Ennélfogva a téli időszakban alacsony, míg késő tavasszal - kora nyáron jóval magasabb értékek tapasztalhatóak. A Mátraderecskei Széndioxid Gyógygázfürdőben ^{222}Rn -aktivitáskoncentráció időbeli alakulását vizsgálva kimutattam, hogy a szezónalitáson túl napi változás is jellemző. A napszakos változás elsősorban a helyiség szellőztetésével, kisebb mértékben a külső hőmérséklet 24 órás periodicitásával áll összefüggésben.

Publikációs jegyzék

Az értekezés témakörében megjelent tudományos közlemények

Referált folyóiratban megjelent publikációk

1. Sóki, E., Csige, I.: Radon in the dry carbon dioxide spa of Mátraderecske, Hungary. Nukleonika 61 (3), 245-249, 2016. DOI: 10.1515/nuka-2016-0041 IF: **0,760**²⁰¹⁶

Az értekezés alapjául szolgáló, közlésre elfogadott publikációk

1. Sóki, E., Gyila, S., Csige, I.: Anomalous spatial variation of radon in two dry carbon dioxide spas of Covasna, Romania. Romanian Reports in Physics (-) 1-11, 2021. IF: **2,147**²⁰¹⁹

Egyéb publikációk

1. Csige, I., Csegzi, S., Gyila, S., Sóki, E.: Indoor radon levels in areas affected by geogas seepages. In: 14th International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping / eds. I. Barnet, M. Neznal, P. Pacherová, Czech Geological Survey & RADON v.o.s., Prague 29-34, 2018. IF: 0,000⁰
2. Csige, I., Gyila, S., Sóki, E.: Radon a kovásznai Pokolsár vizében és légterében. In: XX. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Gyulafehérvár, 161-165, 2018. IF: 0,000⁰
3. Sóki, E., Gyila, S., Csige, I.: Radonanomáliák a Csomád környéki mofetták légterében. In: XIV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia / szerk. Füleky György, MAG Mezőgazdaságért Alapítvány, Gödöllő, 289-292, 2018. IF: 0,000⁰

4. Gyila, S., Csige, I., Sóki, E.: Újkeletű szeizmo-tektonikus jelek kovásznai ásványvizek és CO₂ - feltörések geofizikai paramétereiben. In: A Kárpát-medence ásványvizei - XIII. Nemzetközi Tudományos Konferencia / szerk. Máthé István, Székely Gabriella, Szép Róbert, Hargita Kiadóhivatal, Sepsiszentgyörgy, 65-76, 2017. IF: 0,000⁰
5. Sóki, E., Gyila, S., Csige, I.: Erdélyi mofetták radonkibocsátása. In: Ahol az elemek találkoznak: víz, föld és tűz határán: 8. Közettani és Geokémiai Vándorgyűlés / szerk. Dégi Júlia, Király Edit, Kónya Péter, Kovács István János, Pál-Molnár Elemér, Thamóné Bozsó Edit, Török Kálmán, Udvardi Beatrix, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest, 150-151, 2017. IF: 0,000⁰
6. Sóki, E., Csige, I.: Spatial and temporal variations of ²²²Rn in some dry CO₂spas of Covasna, Romania. In: III. East European Radon Symposium (TEERAS): Book of Abstracts, Sofia, 27-28, 2017. IF: 0,000⁰
7. Sóki, E., Csige, I.: Radon a mátraderecskei mofettában. In: XLII. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Eötvös Loránd Fizikai Társulat Sugárvédelmi Szakcsoport, Hajdúszoboszló, 31, 2017. IF: 0,000⁰
8. Csige, I., Gyila, S., Sóki, E.: Radon a kovásznai Bardócz-Mofettában. In: XVIII. Nemzetközi Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia / szerk. Wanek Ferenc, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Brassó, 124-128, 2016. IF: 0,000⁰
9. Sóki, E., Gyila, S., Csige, I.: Radon a kovásznai széndioxid szárazfürdőkben. In: XVIII. Székelyföldi Geológus Találkozó / szerk. Papucs András, Sikló Egyesület, Sepsiszentgyörgy, 21-23, 2016. IF: 0,000⁰

10. Sóki, E., Csige, I., Gyila, S.: Radon anomalies in dry carbon dioxide spas of Eastern Transylvania, Romania. In: V. Terrestrial Radioisotopes in Environment: International Conference on Environmental Protection / eds. Tibor Kovács, Edit Tóth-Bodrogi, Gergő Bátor, Social Organization for Radioecological Cleanliness, Veszprém, 15, 2016. IF: 0,000⁰
11. Sóki, E.: Radonanomáliák erdélyi mofetták légterében. In: Fizikus Doktoranduszok Konferenciája (DOFFI; 5.) Cserti József, Dávid Gyula, Koltai János (szerk.) Eötvös Loránd Fizikai Társulat (ELFT), Balatonfenyves, 7, 2016. IF: 0,000⁰
12. Sóki, E., Csige, I.: Radon in the dry carbon dioxide spa of Mátraderecske, Hungary. In: 2nd International Conference on Radon in the Environment: Book of Abstracts / eds. J. Mazur, K. Kozak, Institute of Nuclear Physics, Polish Academy of Sciences, Krakow, 115, 2015. IF: 0,000⁰
13. Sóki, E.: Radon a mátraderecskei Szén-dioxid Gyógygázfürdő egyes helyiségeiben In: Fizikus Doktoranduszok Konferenciája Cserti József, Dávid Gyula, Koltai János (szerk.)Eötvös Loránd Fizikai Társulat (ELFT), Balatonfenyves, 5, 2015. IF: 0,000⁰

Egyéb a dolgozat témaköréhez szorosan nem kapcsolódó publikációk

Referált folyóiratban megjelent publikációk

1. Kapitány, S., Sóki, E., Posta, J., Béni, Á.: Separation/preconcentration of Cr(VI) with a Modified Single-drop Microextraction Device and Determination by GFAAS. ActaChim. Slov 64 248-255, 2017. DOI: 10.17344/acsi.2017.3137 IF: **0,983**²⁰¹⁶
2. Béni, Á., Sóki, E., Lajtha, K., Fekete, I.: An optimized HPLC method for soil fungal biomass determination and its application to a detritus manipulation study. J. Microbiol. Methods 103 124-130., 2014. DOI: 10.1016/j.mimet.2014.05.022 IF: **2,026**²⁰¹⁴

Egyéb publikációk

1. Sóki, E., Béni, Á., Nagy, D., Posta, J.: Króm módosulat-analitika egy cseppes mikroextrakciós technikával. In: "Környezetbarát anyagok és technológiák" konferencia és 56. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés, Galbács Gábor, Kristóf János (szerk.) Veszprém, Paper EM3, 2013. IF: 0,000⁰
2. Sóki, E.: Talajgomba-biomassza vizsgálatok a Síkfőkút DIRT Project keretében. In: XIII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia Konferencia kötet / szerk. Selmeczy Géza Balázs, Üveges Viktória, Pannon Egyetem Környezettudományi Intézet Alkalmi Kiadó, Veszprém, 64, 2012. IF: 0,000⁰



Nyilvántartási szám: DEENK/338/2020.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Sóki Erzsébet
Doktori Iskola: Fizikai Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10057549

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

1. Sóki, E., Gyila, S., Csige, I.: Anomalous spatial variation of radon in two dry carbon dioxide spas of Covasna, Romania.
Rom. Rep. Phys. "Accepted by Publisher" (-), 1-11, 2021. ISSN: 1221-1451.
IF: 2.147 (2019)
2. Sóki, E., Csige, I.: Radon in the dry carbon dioxide spa of Mátraderecske, Hungary.
Nukleonika. 61 (3), 245-249, 2016. ISSN: 0029-5922.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/nuka-2016-0041>
IF: 0.76

Magyar nyelvű konferencia közlemények (3)

3. Csige, I., Gyila, S., Sóki, E.: Radon a kovásznai Pokolsár vizében és légtérében.
In: XX. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Gyulafehérvár, 161-165, 2018.
4. Sóki, E., Gyila, S., Csige, I.: Radonanomáliák a Csomád környéki mofetták légtérében.
In: XIV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Szerk.: Füleky György, MAG Mezőgazdaságért Alapítvány, Gödöllő, 289-292, 2018. ISBN: 9786150016450
5. Csige, I., Gyila, S., Sóki, E.: Radon a kovásznai Bardóc-Mofettában.
In: XVIII. Nemzetközi Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia. Szerk.: Wanek Ferenc, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Brassó, 124-128, 2016.

Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

6. Csige, I., Csegi, S., Gyila, S., Sóki, E.: Indoor radon levels in areas affected by geogas seepages.
In: , Czech Geological Survey & RADON v.o.s, Prague, 29-34, 2018.





Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (4)

7. Sóki, E., Gyila, S., Csige, I.: Erdélyi mofetták radon kibocsátása.
In: Ahol az elemek találkoznak: víz, föld és tűz határán: 8. Közettani és Geokémiai Vándorgyűlés. Szerk.: Dégi Júlia, Király Edit, Kónya Péter, Kovács István János, Pál-Molnár Elemér, Thamóné Bozsó Edit, Török Kálmán, Udvardi Beatrix, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest, 150-151, 2017. ISBN: 9789636713119
8. Sóki, E., Csige, I.: Radon a mátraderecskei mofettában.
In: XLII. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Eötvös Loránd Fizikai Társulat Sugárvédelmi Szakcsoport, Hajdúszoboszló, 31, 2017.
9. Gyila, S., Csige, I., Sóki, E.: Újkeletű szeizmo-tektonikus jelek kovásznai ásványvizek és CO₂ - feltörések geofizikai paramétereiben.
In: A Kárpát-medence ásványvizei - XIII. Nemzetközi Tudományos Konferencia. Szerk.: Máthé István, Székely Gabriella, Szép Róbert, Hargita Kiadóhivatal, Sepsiszentgyörgy, 65-76, 2017. ISBN: 9786068951003
10. Sóki, E., Gyila, S., Csige, I.: Radon a kovásznai szén-dioxid szárazfűrdőkben.
In: XVIII. Székelyföldi Geológus Találkozó. Szerk.: Papucs András, Sikló Egyesület, Sepsiszentgyörgy, 21-23, 2016.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (3)

11. Sóki, E., Csige, I.: Spatial and temporal variations of ²²²Rn in some dry CO₂ spas of Covasna, Romania.
In: III. East European Radon Symposium (TEERAS): Book of Abstracts, [s.n.], Sofia, 27-28, 2017.
12. Sóki, E., Csige, I., Gyila, S.: Radon anomalies in dry carbon dioxide spas of Eastern Transylvania, Romania.
In: V. Terrestrial Radioisotopes in Environment : International Conference on Environmental Protection. Eds.: Tibor Kovács, Edit Tóth-Bodrogi, Gergő Bátor, Social Organization for Radioecological Cleanliness, Veszprém, 15, 2016. ISBN: 9789631255379
13. Sóki, E., Csige, I.: Radon in the dry carbon dioxide spa of Mátraderecske, Hungary.
In: 2nd International Conference on Radon in the Environment : Book of Abstracts. Eds.: J. Mazur, K. Kozak, Institute of Nuclear Physics, Polish Academy of Sciences, Krakow, 115, 2015. ISBN: 9788363542443





További közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

14. Kapitány, S., Sóki, E., Posta, J., Béni, Á.: Separation/preconcentration of Cr(VI) with a Modified Single-drop Microextraction Device and Determination by GFAAS.
Acta Chim. Slov. 64, 248-255, 2017. ISSN: 1318-0207.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17344/acsi.2017.3137>
IF: 1.104
15. Béni, Á., Sóki, E., Lajtha, K., Fekete, I.: An optimized HPLC method for soil fungal biomass determination and its application to a detritus manipulation study.
J. Microbiol. Methods. 103, 124-130, 2014. ISSN: 0167-7012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mimet.2014.05.022>
IF: 2.026

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (2)

16. Sóki, E., Béni, Á., Nagy, D., Posta, J.: Króm módosulat-analítika egy cseppeles mikroextrakciós technikával.
In: "Környezetbarát anyagok és technológiák" konferencia és 56. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés. Szerk.: Galbács Gábor, Kristóf János, Pannon Egyetem, Veszprém, Paer EM3, 2013.
17. Sóki, E.: Talajgomba-biomassza vizsgálatok a Síkfőkút DIRT Project keretében.
In: XIII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia Konferencia kötet. Szerk.: Selmeczy Géza Balázs, Úveges Viktória, Pannon Egyetem Környezettudományi Intézet Akalmi Kiadó, Veszprém, 64, 2012. ISBN: 9786155044533

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 6,037

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
2,907

A DEENK a Jelölt által az IDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudomány-metriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2020.11.12.



Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

**Determination of the causes of spatial and
temporal variations of radon in the airspace of
Hungarian and Transylvanian mofettes**

Sóki Erzsébet

Supervisor: Dr. Csige István



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Doctoral School of Physics

Debrecen, 2020

Prepared in

the Physical Methods in the Interdisciplinary Researches
programme of

the University of Debrecen PhD School in Physics
and the Institute for Nuclear Research (ATOMKI)

Introduction

The emission of low temperature ($< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$), carbon dioxide rich gases from soils, or the dry CO_2 spas based on these natural carbon dioxide emissions, are also called mofettes. This phenomenon mostly related to post-volcanic activity is really common in Transylvania, especially in the surroundings of Harghita and Ciomadul Mountains, however Hungarian examples such as Mátraderecske and Parádfürdő are also well-known.

These mofettes are often utilised as dry carbon dioxide spas to treat patients suffering primarily from vasoconstriction. In these dry “saunas” pools are filled up with gas where patients spend 30 mins daily for 7-14 days. Besides carbon dioxide other gases are also present in the gas mixture, such as radon, which is a decay product of radium and part of the ^{238}U decay chain can be found. On the one hand this radon gas may be used as a natural tracer for the study of transport of pool-filling mofette gas (its carrier gas in the subsurface and in the pools), on the other hand it might pose some radiation risk for the (patients and) staff of such carbon dioxide spas.

Objectives

The main goal of my doctoral research is to investigate the occurrence, spatial and temporal changes of radon gas in natural mofettes and in dry carbon dioxide spas built for therapeutic purposes, and to explore the subsurface gas dynamic regularities determining the transport of mofette gases. Furthermore, I aimed to define theoretically the spatial and temporal variations of ^{222}Rn activity concentration using relatively simple mathematical models. My aim was also to compare experimental data with model calculations in order to estimate

the values of parameters characterizing the transport of mofette gases and radon gas in it.

Measurement method

The airborne ^{222}Rn activity concentration was measured with CR-39 (TASTRAK, England) nuclear track detector. The detector is housed in a radon device called Radamon developed by the Radon Group of the Institute for Nuclear Research. This unit is also suitable for measuring the ^{222}Rn activity concentration dissolved in water. To do this, the radon detector must be placed in a carefully selected thin (15 μm) radon permeable rubber foil (masculan[®] condom) that prevents water entering the detector.

For the study of temporal changes I used an AlphaGUARD PQ2000 radon monitor from Genitron Instruments. The cylindrical ionization chamber of the device is an active volume of 0.56 l with a metallic interior potential of +750 V, to which a digital signal processing unit is connected. AlphaGUARD offers a wide measurement range (2 Bq/m³ – 2 MBq/m³), also measures and records simultaneously ambient temperature, atmospheric pressure and relative humidity. Furthermore, we measured the change of outdoor weather parameters (temperature, air pressure, relative humidity, precipitation) with a Davis Instruments Vantage Pro2 automatic meteorological station.

Semiconductor detector-based Dataqua type continuous radon monitors were also used previously to examine rapid, typically daily changes. The alpha particles emitted by ^{222}Rn and its short-lived decay products, diffusing into the measurement volume are detected by a Hamamatsu photodiode or a Canberra PIPS semiconductor detector. The sensitivity of the unit equipped with 1 cm² Hamamatsu photodiode is 7 cph/kBqm⁻³h,

while the unit equipped with a 3 cm² ORTEC semiconductor detector has a sensitivity 17 cph/kBqm⁻³h. Dataqua radon monitoring devices used in this work are also suitable for monitoring other parameters (temperature, air pressure, relative humidity) that affect radon concentrations.

New scientific results

In this doctoral (PhD) dissertation to be presented, I studied the spatial and temporal variation of ²²²Rn activity concentration of mofette gases - in four mofettes of Transylvania (Covasna town) and in one of Hungary (Mátraderecske) - for the better understanding of flow patterns in the near-surface soil layer and in the airspace of carbon dioxide spas. In order to evaluate the results, I adapted for specific situations a - previously developed and validated in international comparison - deterministic mathematical models describing the transport of gases with differential equations. I developed conceptual models for the underground transport of gases from the results of comparing measurements with model calculations. My research results are summarised in the following thesis points:

1.Verification of conceptual model by implementing geological-physical models describing the transport of gases

I have developed a general conceptual model, which can simultaneously give account of spatial distribution and temporal changes of radon concentrations measured in Hell-Mud, Bardócz and Bene Mofettes. I have also quantitatively compared the hydro- and gas dynamics model resulting from the conceptual model with the measurement results. During modelling, we used the "trial and error" method in order to find

the most appropriate fit of model calculation results to measurement data.

2. Variation of ^{222}Rn activity concentration in Hell-Mud

Using etched track radon detectors, I have measured the seasonal variation of ^{222}Rn activity concentration as a function of altitude in the sludge and gas space of wet mofette. To interpret the measurements, I used an advection-dispersion model in the subsurface soil, a gasification model which involves gas bubble formation with uniform mixing in the sludge of the pool, and an advection-eddy diffusion model in the airspace of the pool. By solving the attached system of differential equations describing the above processes, I was able to interpret, with relatively simple assumptions, the observed spatial and temporal changes of ^{222}Rn activity concentration. I found that the radon levels in the water of Hell-Mud are mostly determined by the intensity of groundwater flow, while in the airspace the wind has the greatest effect on the radon levels. In addition the ^{222}Rn activity concentrations dissolved in water varies also due to the temperature dependent water/air partition coefficient of radon. As for the airspace, the source of radon is the gas outflowing from water. The lower activity concentration in the airspace of the pool in spring is related to that windy, stormy weather is more frequent during this season, which is suitable for sweeping out the mofette gases from the airspace.

3. Anomalous spatial distribution of ^{222}Rn activity concentration profile in the airspace of the Bardócz and Bene Mofette

In the Bardócz and Bene Mofette the radon activity concentration does not decrease from the bottom upwards, but increases, and only begins to decrease near the outdoor ground level due to the mixing of mofette gases with ambient air.

Particularly remarkable that in these two mofettes the radon activity concentration increases (from 5-10 kBq/m³ within 1-2 meters increases up to 20-30 kBq/m³) from the bottom of the pit towards the surface. This can be explained by the fact that in these mofettes, the primary source of ²²²Rn is not located at the bottom of the pool, but somewhere on the sidewalls of the pool. The source of radon is not only the mofette gas entering the pool space, but also the radon diffusion stream on the sidewalls of the pool. In this sense, radon cannot be considered here as a direct tracer of mofette gases. In other words, the carbon dioxide concentration cannot be considered proportional to the radon concentration.

4. Dry Carbon Dioxide Spa of Mátraderecske

4/a. Source and spatial distribution of radon gas

With several years of continuous measurement, I supported the hypothesis that the source of the high ²²²Rn activity concentration in the Dry Carbon Dioxide Spa of Mátraderecske is the gas leaking from the bottom of the treatment pools. This finding is also supported by the observation that the ²²²Rn activity concentration systematically decreases moving away from the treatment rooms. The radon profile shows decreasing values from the bottom up, which vertical distribution corresponds to findings reported in international literature. The ²²²Rn activity concentration at the bottom of the pit (-2.5 m) shows a stably high value, while moving towards the floor level (0.0 m) there is a significant decrease due to the mixing of carbon dioxide with ambient air.

4/b. Variation (seasonal and daily) of ^{222}Rn activity concentration over time

Seasonal periodicity is caused by the seasonal intensity of groundwater flow. It is a general experience that the intensity is characterized by a late autumn - early winter minimum and a spring maximum. The gas yield of mofette as well as the ^{222}Rn activity concentration follow this trend with some delay. Therefore, in winter lower, while in late spring - early summer much higher values can be observed. Examining the temporal variation of ^{222}Rn activity concentration in the dry carbon dioxide spa Mátradereske, I showed that in addition to seasonality, there is a daily change too. The daily change is mainly related to the ventilation of the room, and to a lesser extent related to the 24-hour periodicity of the outside temperature.

List of publication

Scientific papers related to the dissertation

Publications in peer-reviewed journals

1. Sóki, E., Csige, I.: Radon in the dry carbon dioxide spa of Mátraderecske, Hungary. Nukleonika 61 (3), 245-249, 2016. DOI: 10.1515/nuka-2016-0041 IF: **0,760**²⁰¹⁶

Publications related to the dissertation, accepted for publication

1. Sóki, E., Gyila, S., Csige, I.: Anomalous spatial variation of radon in two dry carbon dioxide spas of Covasna, Romania. Romanian Reports in Physics (-) 1-11, 2021. IF: **2,147**²⁰¹⁹

Other publications

1. Csige, I., Csegzi, S., Gyila, S., Sóki, E.: Indoor radon levels in areas affected by geogas seepages. In: 14th International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping / eds. I. Barnet, M. Neznal, P. Pacheroová, Czech Geological Survey & RADON v.o.s., Prague 29-34, 2018. IF: 0,000⁰
2. Csige, I., Gyila, S., Sóki, E.: Radon a kovásznai Pokolsár vizében és légterében. In: XX. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Gyulafehérvár, 161-165, 2018. IF: 0,000⁰
3. Sóki, E., Gyila, S., Csige, I.: Radonanomáliák a Csomád környéki mofetták légterében. In: XIV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia / szerk. Füleky György, MAG Mezőgazdaságért Alapítvány, Gödöllő, 289-292, 2018. IF: 0,000⁰

4. Gyila, S., Csige, I., Sóki, E.: Újkeletű szeizmo-tektonikus jelek kovásznai ásványvizek és CO₂ - feltörések geofizikai paramétereiben. In: A Kárpát-medence ásványvizei - XIII. Nemzetközi Tudományos Konferencia / szerk. Máthé István, Székely Gabriella, Szép Róbert, Hargita Kiadóhivatal, Sepsiszentgyörgy, 65-76, 2017. IF: 0,000⁰
5. Sóki, E., Gyila, S., Csige, I.: Erdélyi mofetták radonkibocsátása. In: Ahol az elemek találkoznak: víz, föld és tűz határán: 8. Közettani és Geokémiai Vándorgyűlés / szerk. Dégi Júlia, Király Edit, Kónya Péter, Kovács István János, Pál-Molnár Elemér, Thamóné Bozsó Edit, Török Kálmán, Udvardi Beatrix, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest, 150-151, 2017. IF: 0,000⁰
6. Sóki, E., Csige, I.: Spatial and temporal variations of ²²²Rn in some dry CO₂spas of Covasna, Romania. In: III. East European Radon Symposium (TEERAS): Book of Abstracts, Sofia, 27-28, 2017. IF: 0,000⁰
7. Sóki, E., Csige, I.: Radon a mátraderecskei mofettában. In: XLII. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Eötvös Loránd Fizikai Társulat Sugárvédelmi Szakcsoport, Hajdúszoboszló, 31, 2017. IF: 0,000⁰
8. Csige, I., Gyila, S., Sóki, E.: Radon a kovásznai Bardócz-Mofettában. In: XVIII. Nemzetközi Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia / szerk. Wanek Ferenc, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Brassó, 124-128, 2016. IF: 0,000⁰
9. Sóki, E., Gyila, S., Csige, I.: Radon a kovásznai széndioxid szárazfürdőkben. In: XVIII. Székelyföldi Geológus Találkozó / szerk. Papucs András, Sikló Egyesület, Sepsiszentgyörgy, 21-23, 2016. IF: 0,000⁰

10. Sóki, E., Csige, I., Gyila, S.: Radon anomalies in dry carbon dioxide spas of Eastern Transylvania, Romania. In: V. Terrestrial Radioisotopes in Environment: International Conference on Environmental Protection / eds. Tibor Kovács, Edit Tóth-Bodrogi, Gergő Bátor, Social Organization for Radioecological Cleanliness, Veszprém, 15, 2016. IF: 0,000⁰
11. Sóki, E.: Radonanomáliák erdélyi mofetták légterében. In: Fizikus Doktoranduszok Konferenciája (DOFFI; 5.) Cserti József, Dávid Gyula, Koltai János (szerk.) Eötvös Loránd Fizikai Társulat (ELFT), Balatonfenyves, 7, 2016. IF: 0,000⁰
12. Sóki, E., Csige, I.: Radon in the dry carbon dioxide spa of Mátraderecske, Hungary. In: 2nd International Conference on Radon in the Environment: Book of Abstracts / eds. J. Mazur, K. Kozak, Institute of Nuclear Physics, Polish Academy of Sciences, Krakow, 115, 2015. IF: 0,000⁰
13. Sóki, E.: Radon a mátraderecskei Szén-dioxid Gyógyázfürdő egyes helyiségeiben In: Fizikus Doktoranduszok Konferenciája Cserti József, Dávid Gyula, Koltai János (szerk.)Eötvös Loránd Fizikai Társulat (ELFT), Balatonfenyves, 5, 2015. IF: 0,000⁰

Other papers

Publications in peer-reviewed journals

1. Kapitány, S., Sóki, E., Posta, J., Béni, Á.: Separation/preconcentration of Cr(VI) with a Modified Single-drop Microextraction Device and Determination by GFAAS. ActaChim. Slov 64 248-255, 2017. DOI: 10.17344/acsi.2017.3137 IF: **0,983**²⁰¹⁶
2. Béni, Á., Sóki, E., Lajtha, K., Fekete, I.: An optimized HPLC method for soil fungal biomass determination and its application to a detritus manipulation study. J. Microbiol. Methods 103 124-130., 2014. DOI: 10.1016/j.mimet.2014.05.022 IF: **2,026**²⁰¹⁴

Other publications

1. Sóki, E., Béni, Á., Nagy, D., Posta, J.: Króm módosulat-analitika egy cseppes mikroextrakciós technikával. In: "Környezetbarát anyagok és technológiák" konferencia és 56. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés, Galbács Gábor, Kristóf János (szerk.) Veszprém, Paper EM3, 2013. IF: 0,000⁰
2. Sóki, E.: Talajgomba-biomassza vizsgálatok a Síkfőkút DIRT Project keretében. In: XIII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia Konferencia kötet / szerk. Selmeczy Géza Balázs, Üveges Viktória, Pannon Egyetem Környezettudományi Intézet Alkalmi Kiadó, Veszprém, 64, 2012. IF: 0,000⁰



Registry number: DEENK/338/2020.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Erzsébet Sóki
Doctoral School: Doctoral School of Physics
MTMT ID: 10057549

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (2)

1. Sóki, E., Gyila, S., Csige, I.: Anomalous spatial variation of radon in two dry carbon dioxide spas of Covasna, Romania.
Rom. Rep. Phys. "Accepted by Publisher" (-), 1-11, 2021. ISSN: 1221-1451.
IF: 2.147 (2019)
2. Sóki, E., Csige, I.: Radon in the dry carbon dioxide spa of Mátraderecske, Hungary.
Nukleonika. 61 (3), 245-249, 2016. ISSN: 0029-5922.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/nuka-2016-0041>
IF: 0.76

Hungarian conference proceedings (3)

3. Csige, I., Gyila, S., Sóki, E.: Radon a kovásznai Pokolsár vizében és légtérében.
In: XX. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Gyulafehérvár, 161-165, 2018.
4. Sóki, E., Gyila, S., Csige, I.: Radonanomáliák a Csomád környéki mofetták légtérében.
In: XIV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Szerk.: Füleky György, MAG Mezőgazdasáért Alapítvány, Gödöllő, 289-292, 2018. ISBN: 9786150016450
5. Csige, I., Gyila, S., Sóki, E.: Radon a kovásznai Bardócz-Mofettában.
In: XVIII. Nemzetközi Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia. Szerk.: Wanek Ferenc, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Brassó, 124-128, 2016.

Foreign language conference proceedings (1)

6. Csige, I., Csegi, S., Gyila, S., Sóki, E.: Indoor radon levels in areas affected by geogas seepages.
In: , Czech Geological Survey & RADON v.o.s, Prague, 29-34, 2018.





Hungarian abstracts (4)

7. Sóki, E., Gyilla, S., Csige, I.: Erdélyi mofetták radonkibocsátása.
In: Ahol az elemek találkoznak: víz, föld és tűz határán: 8. Közöttani és Geokémiai Vándorgyűlés. Szerk.: Dégi Júlia, Király Edit, Kónya Péter, Kovács István János, Pál-Molnár Elemér, Tamóné Bozsó Edit, Török Kálmán, Udvardi Beatrix, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest, 150-151, 2017. ISBN: 9789636713119
8. Sóki, E., Csige, I.: Radon a mátradereskei mofettában.
In: XLII. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Eötvös Loránd Fizikai Társulat Sugárvédelmi Szakcsoport, Hajdúszoboszló, 31, 2017.
9. Gyilla, S., Csige, I., Sóki, E.: Újkeletű szeizmo-tektonikus jelek kovásznai ásványvizek és CO₂ - feltörések geofizikai paramétereiben.
In: A Kárpát-medence ásványvizei - XIII. Nemzetközi Tudományos Konferencia. Szerk.: Máthé István, Székely Gabriella, Szép Róbert, Hargita Kiadóhivatal, Sepsiszentgyörgy, 65-76, 2017. ISBN: 9786068951003
10. Sóki, E., Gyilla, S., Csige, I.: Radon a kovásznai szén-dioxid szárazfürdőben.
In: XVIII. Székelyföldi Geológus Találkozó. Szerk.: Papucs András, Sikló Egyesület, Sepsiszentgyörgy, 21-23, 2016.

Foreign language abstracts (3)

11. Sóki, E., Csige, I.: Spatial and temporal variations of ²²²Rn in some dry CO₂ spas of Covasna, Romania.
In: III. East European Radon Symposium (TEERAS): Book of Abstracts, [s.n.], Sofia, 27-28, 2017.
12. Sóki, E., Csige, I., Gyilla, S.: Radon anomalies in dry carbon dioxide spas of Eastern Transylvania, Romania.
In: V. Terrestrial Radioisotopes in Environment : International Conference on Environmental Protection. Eds.: Tibor Kovács, Edit Tóth-Bodrogi, Gergő Bátor, Social Organization for Radioecological Cleanliness, Veszprém, 15, 2016. ISBN: 9789631255379
13. Sóki, E., Csige, I.: Radon in the dry carbon dioxide spa of Mátradereske, Hungary.
In: 2nd International Conference on Radon in the Environment : Book of Abstracts. Eds.: J. Mazur, K. Kozak, Institute of Nuclear Physics, Polish Academy of Sciences, Krakow, 135, 2015. ISBN: 9788363542443





List of other publications

Foreign language scientific articles in international journals (2)

14. Kapitány, S., Sóki, E., Posta, J., Béni, Á.: Separation/preconcentration of Cr(VI) with a Modified Single-drop Microextraction Device and Determination by GFAAS.
Acta Chim. Slov. 64, 248-255, 2017. ISSN: 1318-0207.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17344/acs.2017.3137>
IF: 1.104
15. Béni, Á., Sóki, E., Lajtha, K., Fekete, I.: An optimized HPLC method for soil fungal biomass determination and its application to a detritus manipulation study.
J. Microbiol. Methods. 103, 124-130, 2014. ISSN: 0167-7012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mimet.2014.05.022>
IF: 2.026

Hungarian abstracts (2)

16. Sóki, E., Béni, Á., Nagy, D., Posta, J.: Króm módszerrel-analítika egy cseppes mikroextrakciós technikával.
In: "Környezetbarát anyagok és technológiák" konferencia és 56. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés. Szerk.: Galbács Gábor, Kristóf János, Pannon Egyetem, Veszprém, Paer EM3, 2013.
17. Sóki, E.: Talajgomba-biomassza vizsgálatok a Síkfőkút DIRT Project keretében.
In: XIII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia Konferencia kötet. Szerk.: Selmecey Géza Balázs, Üveges Viktória, Pannon Egyetem Környezettudományi Intézet Alkalmi Kiadó, Veszprém, 64, 2012. ISBN: 9786155044533

Total IF of journals (all publications): 6,037

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 2,907

The Candidate's publication data submitted to the IDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

12 November, 2020

