KARSZTFEJLŐDÉS V.
Szombathely, 2000. pp. 273-281.

RADONMÉRÉSEK DUNÁNTÚLI BARLANGOKBAN

HAKL JÓZSEF[1] - VÁRHEGYI ANDRÁS[2]

[1]MTA Atommagkutató Intézete, 4001 Debrecen Bem tér 18/C.
[2]Mecsekérc Környezetvédelmi Kft., 7633 Pécs, Esztergár L. u.19.

Abstract. The effect of water intrusion and air current changes on temporal variation of airborne radon concentration was studied in Alba-Regia, Tapolca Tavas and Csodabogyós cave, Transdanubium, Hungary. We have shown, that the appearance of water in cave can increase significantly airborne radon levels on hourly-weekly time scales in the Alba-Regia cave. The effect was attributed to the water forced infiltration of radon rich fracture air into cave environment at upper levels of the cave and to a long lasting decrease of extra radon sources at deeper levels of the cave. The reappearance of karst water in the Tapolca Tavas cave decreased the magnitude of annual airborne radon concentration changes as well the mean radon levels. The effect was attributed both to the decrease of ventilation and to the closing of paths to the possibly localized more strong radon sources. We have identified airborne radon concentration transient caused by the collapse of ceiling in the Csodabogyós cave. Surprisingly, airborne radon levels in this cave in addition to the typical cave-outside temperature difference control were influenced as well as by barometric pressure variations.

Bevezetés

Magyarországon ezidáig lefolytatott barlangi levegő radonkoncentráció mérések döntő többségükben a külszíni meteorológiai paraméterek felszín alatti klíma befolyásoló szerepét mutatták. Jellemzőek a tisztán felszín-barlang hőmérsékletkülönbség, mint kontrollparaméter által vezérelt esetek, de megfelelő üregkonfiguráció esetén a felszíni légnyomás változások hatása is jelentős. Mindezen esetekben a radioaktív radon gáz rendkívül érzékeny nyomjelzője a felszín alatti levegő mozgásának (*HAKL J.*, 1997; *HAKL J.-HUNYADI I.-VÁRHEGYI A.* 1997).

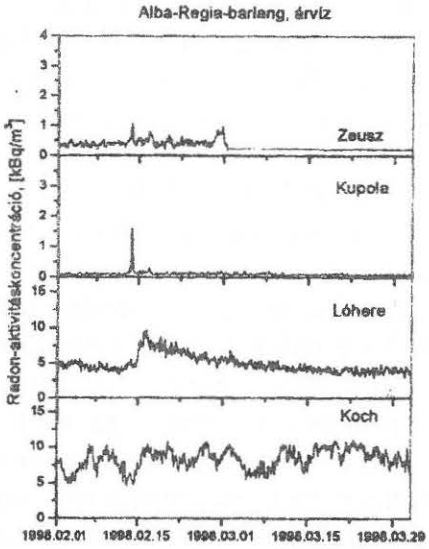
A barlang egy adott helyén megfigyelt időbeni radon képben azonban változások is állhatnak be, ha a légmozgások pályája vagy erőssége változik akár mesterséges (bontás) akár természetes (omlás, karsztvízszint emelkedés) okokból, de akkor is, ha a radon források elérhetősége változik (árvizek). Cikkünkben ezen jelenségeket vizsgáljuk néhány dunántúli barlangban felvett radon idősor példáján, ismertetve az adott barlangban tapasztalt tipikus radon alapképet és a tranziens jelenséget egyaránt.

A radonkoncentráció mérések Dataqua egy- vagy többcsatornás radon monitorokkal illetve nyomdetektorokkal folytak. A vizsgálatokhoz az OTKA 2011, 3005, T016558 és T017560 nyújtott anyagi támogatást. Köszönetünket

fejezzük ki Rénes László, Szolga Ferenc és Varga Miklós barlangászoknak önzetlen segítségükért.

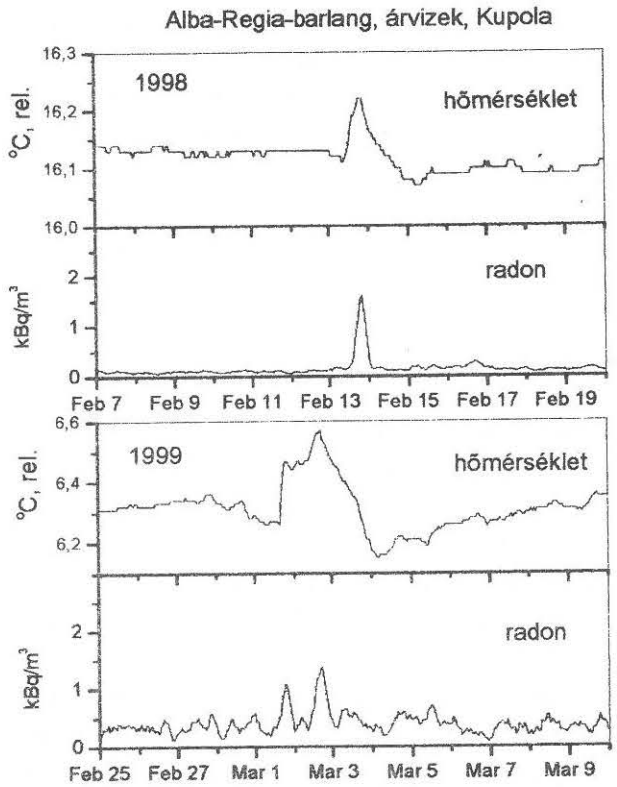
Alba-Regia-barlang

A Tési fennsíkon található Alba-Regia-barlangban 1994. márciusa és 1998. májusa között összesen 8 mérési helyen (folyamatosan 3-5 Dataqua műszerrel) folyt radonkoncentráció mérés. Méréseink alapján elmondható, hogy a barlang légkörzés szempontjából összetett rendszer és nem írható le egyszerű modellekkel. Ennek oka lehet, hogy a barlang rendkívül bonyolult szerkezetű. A felső szinten található Zeusz-Kupola szakaszon a radonkoncentrációt a felszín-barlang hőmérsékletkülönbség szignifikánsan befolyásolja. Az itt jellemző téli alacsony radonszintek a beömlő hideg levegő hatására alakulnak ki. A gyors téli hatásokat a radonkoncentráción túl a Kupolánál elhelyezett hőmérő is egyértelműen jelzi. A másik bejárat (Gubanc, Első-terem) környezetében szintén van évszakos trend, de Gubancnál a változások a felső szakasz többi pontjához képest rendkívül simák. A barlang mélyebb szakaszán (Koch, Lóhere, Fehér-terem, Kínkapu) az előzőekkel ellentétben semmilyen hosszabb távú radonkoncentráció változás iránya nem jósolható, sőt ezen a részen a közeli helyek radonkoncentráció változásai sem korrelálnak egymással (persze még itt is vannak változások, azaz a felszíni hatások lejutnak).



1.ábra. A radon szint időbeli változása az Alba-Regia-barlangban a befolyó víz útja mentén
Figure 1. Temporal change of radon concentration along the way of the cave flood.

Ezt a „*sztatikus*" képet zavarja meg a tél végi gyors lefutású árvizek hatása. A barlangi idősorokon jól megfigyelhető a víz hatására kialakuló zavar terjedése és annak lecsengése. A barlang felső szakaszán a téli időszakra jellemző alacsony radonszintet egy rövid időre túlkompenzálta a víz hatására megjelenő radon csúcs (*1. ábra*: Zeusz, Kupola), de a folyamatosan beömlő hideg levegő hamarosan eltüntette ezt a jelet.



2. ábra. A Kupolánál mért hőmérséklet és radonkoncentráció időbeli változása a két téli árvíz során az Alba-Regia-barlangban. A hőmérsékleti adat csak relatív pontosságú.
Figure 2. Temporal variation of radon concentration and ambient air temperature at Kupola in the Alba-Regia cave during the two floods. Note, that temperature scale is only of relative accuracy.

A folyamat részletei jól tanulmányozhatók a Kupolánál felvett radon és hőmérséklet idősorokon (*2. ábra*). A radonnal szemben a hőmérséklet először csökken, majd nő (ekkor jelenik meg a radon), újból csökken és egy újabb enyhe növekedés után mintegy 0,05 °C fokkal alacsonyabb szinten stabilizálódik a kiindulási értéknél. Ez a folyamat úgy is értelmezhető, hogy a barlang főjáratán végigrohanó hideg víz hűteni kezdi a mérési hely

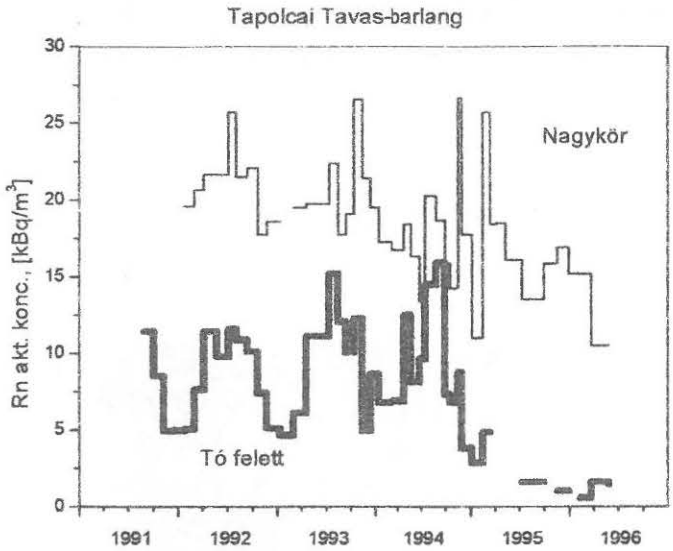
környezetét, amely folyamatot a nagyobb hőkapacitású vékonyabb hasadékokon késéssel érkező víz átmeneti melegítő hatása szakít meg, miközben kipréseli a repedésekből a radonban dúsabb póruslevegőt. A vékonyabb hasadékok áthűlése után folytatódik a lehűlés, majd az árvízi hozam csökkenése után a környezet beáll a kissé magasabb egyensúlyi hőmérsékletre. A barlang mélyebb részén csak a Lóherénél állt be változás. Itt az árvíz megjelenésének hatására néhány napon belül kétszeresére nőtt a radon szint, majd kb. 1 hónap alatt, a radon bomlási állandójának felével, 10^{-6} s^{-1} időállandóval vissza állt az eredeti radon szint. Ez azt mutatja, hogy nem egyszeri radon beömlés szellőzésmentes lecsengésével állunk szemben, hanem egy extra radon forrás erőssége csengett le időben. Ez a forrásváltozás kapcsolatban lehet az árvíz után még csendesen folydogáló barlangi patak fokozatos eltűnésével.

A jelenség megismétlődött egy év múlva, kétszeres csúcsot okozva (azaz kétcsúcsú volt az árvízi hozam is).

Tapolcai Tavas-barlang

A Tapolcai Tavas-barlang több pontján éveken keresztül folyt nyomdetektoros radonkoncentráció mérés. Tipikusan magas nyári és alacsony téli radonkoncentráció értékeket tapasztaltunk (*3. ábra*). A barlang elhelyezkedéséből kifolyólag a téli hideg levegő hígító hatását tapasztaljuk itt is. Nyáron a pillanatnyi radonszinteket valószínűleg, a Tapolcai Kórház-barlangban tapasztaltaknak megfelelően, a légköri nyomás erőteljesen befolyásolja.

Ez az évszakos radon kép változott meg fokozatosan a víz újbóli lassú megjelenésével. A *3. ábrán* két tipikus adatsort tüntettünk fel. Jól látható, hogy a radonszintek évszakos váltakozása megszűnt és a radonszintek fokozatosan csökkentek. A vízszint emelkedésének hatása itt kettős. Egyrészt csökkenti a barlangi terek átszellőzésének lehetőségét azzal, hogy bizonyos barlangszakaszokat lezár (lehetetlenné téve a detektorcserét) s ezzel csökkentve az évszakos változások erősségét, másrészt szemmel láthatólag csökkenti az átlagos radonszintet, azaz a radon források erősségét is. Ez utóbbi jelenség azt jelzi, hogy a barlangi radon források nem egyenletes eloszlásúak és esetleges távolabbi illetve alacsonyabban fekvő barlangi részek jelentősebben járultak hozzá a barlangi radon háztartáshoz.

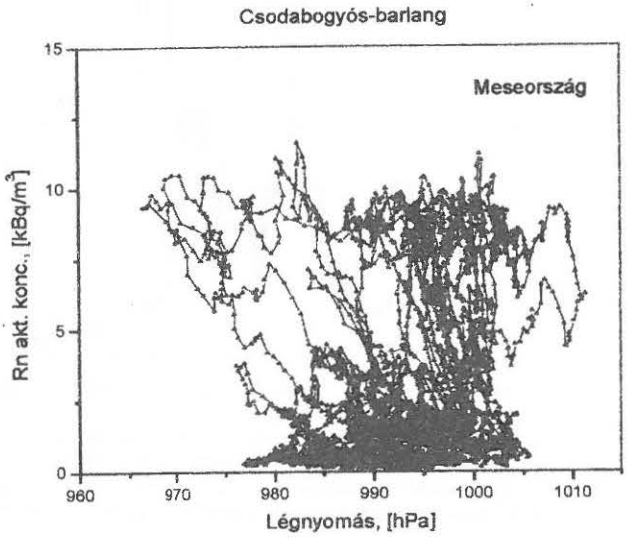


3. ábra. A havi átlagos radonkoncentráció változása a Tapolcai Tavas-barlang két pontján. A víz 1994/95 fordulójától kezdve tette fokozatosan lehetetlenné a mérést.
Figure 3. The temporal variation of monthly average radon concentration at two measuring sites in the Tapolca Tavas cave.The increasing water level has made the measurements impossible starting from the turn 1994/95.

Csodabogyós-barlang

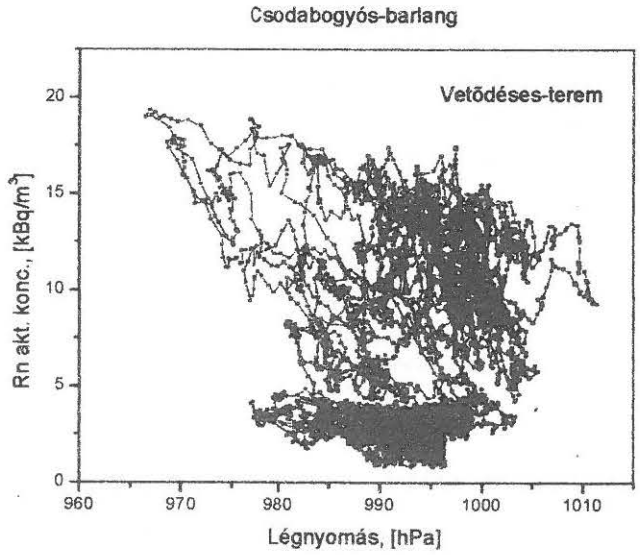
A Keszthelyi-hegységben Balatonederics mellett található Csodabogyós-barlang két pontján (Meseország, Vetődéses-terem) 1994. júniusa és 1995. márciusa között folytattunk radonkoncentráció méréseket. Ez időszak alatt (is) a barlangban erős feltáró munka folyt, párhuzamosan építve és bontva az alsóbb szinteket. A radonkoncentráció változások jellege alapján tipikusan hőmérsékletvezérelt felső jellegű barlangról van szó, azaz télen magas, nyáron pedig alacsony radonszintet tapasztaltunk. Ez egyértelműen azt mutatja, hogy a rendszer átszellőzik az alsó bejáratán keresztül. Tapasztalataink alapján hőmérsékletvezérelt erős légjárás esetén a légnyomásváltozások hatása általában marginális a radonszintekre. Jelen esetben mindezek ellenére rendkívül érdekes a radon-légnyomás fázisdiagram. A magasabb szinten (Meseország) az elvárásnak megfelelően a radonszint nem nagyon függ a légnyomástól, azaz a mérési pontok burkolójának vízszintes az irányultsága. Ezzel szemben mélyebben, a Vetődéses-teremben, határozottabb nyomásfüggést tapasztalunk (aminek a nyomai azért már felfedezhetők a Meseországban is). Ez ezt jelenti, hogy

felszín-barlang hőmérsékletkülönbségen túl ezt a rendszert az atmoszférikus légnyomás változások és (a hegy kitettsége miatt) a szél is befolyásolja.



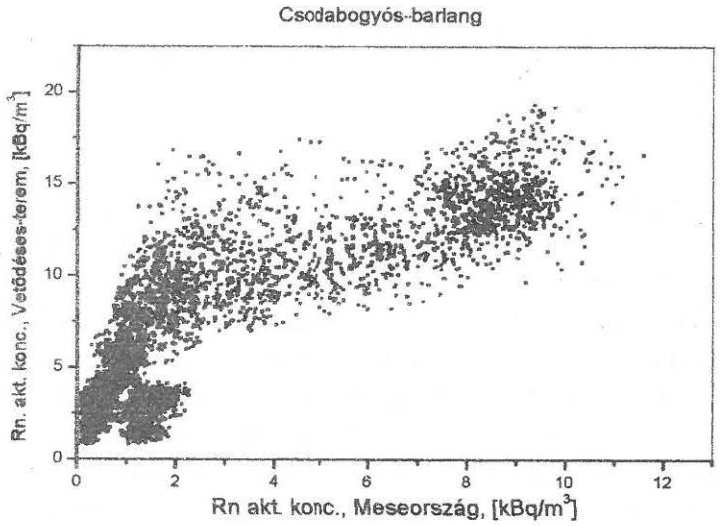
4. ábra. Radonszint a külső légnyomás függvényében a Meseországban. Figyelemre méltóak a lefele irányultságot mutató trajektóriák. Az ábrázoláshoz az adatokat öt pontos mozgó átlaggal simítottuk.
Figure 4. Radon concentration vs. ambient air pressure at the Meseország. Remarkable are trajectories showing downward direction. The data were smoothed by five point moving averaging.

Ábrázolva a két mérési helyen tapasztalt radonszinteket egymás függvényében (*6. ábra*) a pontok tendenciájukban két különböző meredekségű egyenes mellett szóródnak, az évszakosan változó légmozgási módnak megfelelően. A görbe azt mutatja, hogy a Vetődéses-teremben a magas téli radonszintek sokkal szűkebb intervallumban mozognak, mint a felszínhez közelebb lévő Meseországban, azaz a Meseország sokkal érzékenyebben reagál a környezetében beálló változásokra. Ezt az érzékenységet tükrözi a többi ponttól határozottan elkülönülő ponthalmaz léte is, amelyből a rendszer szinte pillanatszerűen „*esett ki*" egy alacsonyabb nyári szintre. E pillanatnyi nyár közepi változás okai ismeretlenek, de emberi beavatkozást sejtünk a háttérben. Ősszel a rendszer felfelé mozogva a fázistérben eléri a téli magas radonszinteket.



5. ábra. Radonszint a külső légnyomás függvényében a Vetődéses-teremben. Figyelemre méltó a 'ponthalmaz' dőlése a Meseországban tapasztaltakhoz képest. Az ábrázoláshoz az adatokat öt pontos mozgó átlaggal simítottuk.

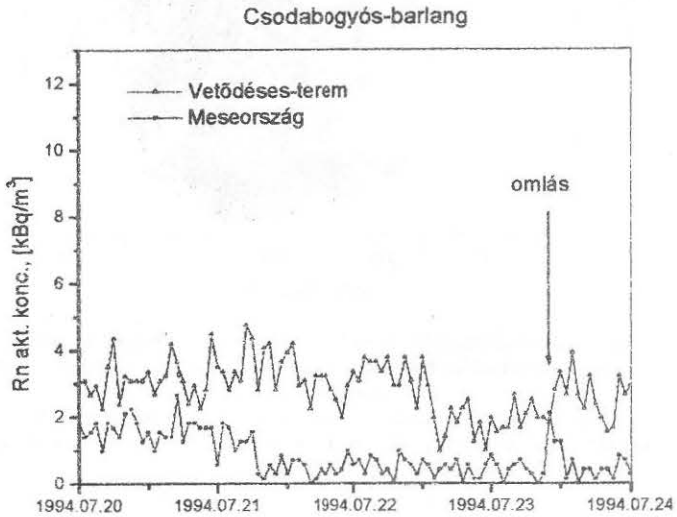
Figure 5. Radon concentration vs. ambient air pressure at the Vetődés hall. Remarkeble is the tilt of 'data pile' in contrast to data obtained at Meseország. The data were smoothed by five point moving averaging.



6. ábra. A Meseországban és a Vetődéses-teremben mért radonszintek egymás függvényében. Az ábrázoláshoz az adatokat öt pontos mozgó átlaggal simítottuk.

Figure 6. Radon concentration at Meseország vs. radon concentration at Vetődéses hall. The data were smoothed by five point moving averaging.

Ebben a rendszerben határozottan azonosítani lehet egy terem mennyezet beszakadásának hatását, amely egy nyári tábor alatt fordult elő. A *7. ábrán* jól látható módon a beszakadás idején a radonszint megemelkedett a Meseországban, de ez a hatás három óra alatt gyakorlatilag eltűnt, a szellőzés kisöpörte a leszakadás során felszabadult radont. Az ábrán a június 21-i esés az előzőekben ismeretlen eredetű hatásként említett változás kezdő szakasza.



7. ábra. Radonszint változása a két mérési ponton a barlangban tapasztalt két tranziens idején.
Figure 7. Temporal change of radon concentrations in the cave in the time of two sudden events.

Összefoglalás

Az Alba-Regia-, a Tapolcai Tavas- és a Csodabogyós-barlangokban vizsgáltuk a víz megjelenésének illetve a felszín alatti légáramlás változásának hatását a barlangi levegő radonkoncentrációja. Az Alba-Regia-barlangban a víz megjelenése a barlang felső részén órás, az alsó részén hetes időskálán növelte meg a radonszintet. A jelenséget a barlang felső részén a víz által kiszorított radondús levegőnek, míg az alsóbb részen a víz által modulált extra radon forrás lassú lecsengésének tulajdonítottuk. A Tapolcai Tavas-barlangban a víz újbóli megjelenése csökkentette az évszakos változások erősségét és az átlagos radon szintet. A jelenséget a szellőzés csökkenésének és a radon források elzáródásának tulajdonítottuk. A Csodabogyós-barlangban mennyezetomlás hatására kialakuló radon tranzienst azonosítottunk. Meglepő módon ezt a felszín-barlang

hőmérsékletkülönbség által erősen vezérelt rendszert az atmoszférikus légnyomás változások is jelentősen befolyásolják.

IRODALOM

HAKL J. (1997): Application of Rn-222 as a natural tracer in environmental studies. - PhD értekezés. Debrecen, Kossuth Lajos Tudományegyetem

HAKL J.-HUNYADI I.-VÁRHEGYI A. (1997): Radon monitoring in caves. - In: Radon Measurements by Etched Track Detectors. Applications in Radiation Protection, Earth Sciences and the Environmental. Eds: S.A.Durrani, R.Ilic. Singapore, World Scientific, p. 261-283