KARSZTFEJLŐDÉS
Szombathely, 2000. pp. 283-291.

BARLANGI TEREK KUTATÁSA RADON SEGÍTSÉGÉVEL[1]

MOLNÁR LAJOS[2] - DEZSŐ ZOLTÁN[3]

[2]Debreceni Egyetem Izotópalkalmazási Tanszék 4010 Debrecen Egyetem tér 1.
[3]Debreceni Egyetem Izotópalkalmazási Tanszék 4010 Debrecen Egyetem tér 1.

Abstract: In the years 1998 and 1999, radon measurements in the Hajnóczy cave (Bükk Mountains, Hungary) were done using high sensitivity real time radon monitors. On the basis of the short term radon time series obtained, a revision of the horizontal cave model has been proposed. The analysis of radon data measured at well selected locations was used to explore the cave structure. With this radon tracer method, in just a few days time one new chamber, two chimneys and one shaft were found.

Bevezetés

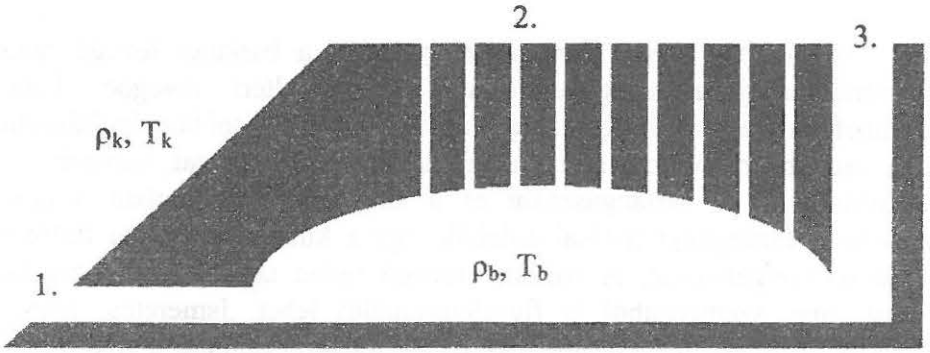
Napjainkban széles körben ismert, hogy a barlangi levegő radon koncentrációja jóval magasabb, mint a szabadtéri levegőé. Ennek köszönhetően szerte a világon, így Magyarországon is többen foglalkoztak már a nagyobb radonszint kialakulásának elméleti leírásával, mérésével és dozimetriájával. A barlangászokat és a társadalmat elsősorban a radon környezet-egészségügyi hatásai érdeklik, így a kutatók főként e területen folytatnak vizsgálatokat. A barlangi levegő radon tartalmának vizsgálata azonban más szempontból is figyelemreméltó lehet. Ismeretes, hogy a radioaktív izotópok felhasználásának egyik jelentős területe a nyomjelzés. Igen sok transzportfolyamat, azok paraméterei vizsgálhatók izotópok segítségével. A radon izotópos nyomjelzésen alapuló barlangi transzport vizsgálatok előnye, hogy nem kíván emberi beavatkozást, mivel a barlang maga termeli ki a nyomjelzőt. Ha mérjük a radon aktivitáskoncentrációjának időbeli és térbeli változását, akkor következtetni tudunk a légmozgás irányára. Ezen keresztül szerencsés esetben rejtett geológiai struktúrák feltérképezése, a barlangi szerkezet kutatása is lehetővé válik.

A *„felső bejáratos"* barlangmodell

Magyarország számos barlangjában több évtizeden keresztül folytak a barlangi radonnal kapcsolatos adatgyűjtések (*HAKL J.* 1997). Ezen mérések alapvető tapasztalata, hogy a legtöbb barlangban a radonszint

[1] készült a 023181 sz. OTKA pályázat támogatásával

időben változik és ez a változás éves periodicitást mutat, mégpedig oly módon, hogy nyáron magasabb a radon koncentráció, mint télen. Ebből arra lehet következtetni, hogy a külső hőmérsékletnek igen fontos szerepe van a barlang légkörzésében és ezen keresztül a kialakuló radonszintben. A jelenség pontos leírására elmélet és modell is született (*ATKINSON, T. C.* et al 1983). Azon barlangok esetében, ahol az úgynevezett vízszintes barlangmodell alkalmazható – ezt mutatja az *1. ábra* – a levegő mozgató ereje a külső és belső hőmérséklet különbsége. Ennek megfelelően a nyári időszakban ezekben a barlangokban a levegő az alsó bejáraton kifelé, télen pedig befelé áramlik. A modellhez kapcsolt elmélet azzal magyarázza a radonszint nyári maximumát, hogy a levegő felülről, a karsztos kőzet repedéshálózatán át szűrődik be a barlangba, eközben mintegy kimossa a pórus-térfogatból a radon gázt, így az bedúsul a barlangi terekben. Télen a levegő a bejáraton keresztül áramlik be és a repedéshálózaton távozik, ezért



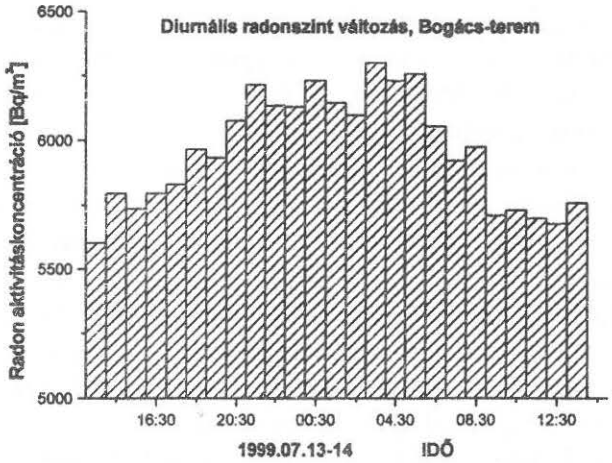
1. alsó bejárat
2. repedéshálózat
3. felső bajárat

1. ábra. Vízszintes barlangmodell
Figure 1 Horizontal cave model

ilyenkor a barlangban a radonszint alacsonyabb.

Megfelelően nagy érzékenységű detektorral azonban a radonszint éves trendje mellett napi (ún. diurnális) változások is észlelhetőek. Ilyen figyelhető meg a *2. ábrán*, amit az odorvári Hajnóczy-barlangban sikerült kimérni. Jól látható, hogy a radon koncentráció egy határozott nappali minimummal rendelkezik, valamint egy maximummal, ami az éjszakai órákban áll be. Ezek a mérési eredmények megerősítik azt a fenti tapasztalatot, hogy a barlangi radonszint korrelációban áll a felszíni

hőmérséklettel. Nyáron napközben a sűrűbb, hideg barlangi levegő valóban kifelé áramlik az alsó bejáraton, azonban a radonszint csökkenése



2. ábra. Hajnóczy-barlang, Bogács-terem diurnális radonszint változása
Figure 2 Diurnal radon variation in Bogács Hall of Hajnóczy cave

arra utal, hogy nem a repedéshálózaton, hanem egy nagyobb keresztmetszetű felső „bejáraton" keresztül tör be a levegő a barlangba. Így a friss, majdnem radonmentes levegő beáramlása csökkenti a barlangban a radonszintet. Az éjszaka kialakuló magasabb radonszint okára könnyen megtaláljuk a magyarázatot, ha végiggondoljuk a dinamikát. Egy térben kialakuló koncentráció nagyságát a források és nyelők száma, és azok fizikai paraméterei határozzák meg. Esetünkben a forrást a barlangi kőzetek radon exhalációja jelenti, nyelőnek pedig azok a jelenségek tekinthetők, melyek hatására a barlangi levegőből eltűnik a radon. Utóbbinak a két legfontosabb eleme a radon radioaktív bomlása és a légcsere. Míg az exhaláció és a radioaktív bomlás időben állandó folyamatok, addig a légcsere intenzitása nem. Így a barlangban kialakuló radonszintet ez utóbbi szabályozza, ezt viszont a külső meteorológiai viszonyok, elsősorban a külső hőmérséklet irányítja. Mivel nyáron éjszaka kisebb a külső-belső hőmérséklet különbsége, mint nappal, a légcsere is ilyenkor a kisebb. Ennek köszönhetően nyáron, éjszaka magasabb lesz a levegő radon aktivitáskoncentrációja. Az éves periodicitás, azaz a nyári és téli átlagos radon koncentrációban mutatkozó különbség is magyarázható a fentebb leírt, úgynevezett *„felső bejáratos"* barlang modellel. A téli hőmérsékleti viszonyok azt eredményezik, hogy a légkörzés iránya megfordul: az alsó bejáraton áramlik be a friss, tiszta levegő és a felső „bejáraton", mintegy kéményen át távozik a barlangi

melegebb levegő. Az átlagosan alacsonyabb radonszintnek pedig az az oka, hogy a légcsere télen intenzívebb. Ekkor ugyanis a külső-belső levegő hőmérséklet különbsége átlagosan nagyobb. Várható az is, hogy a napi változás is megfordul, mert télen éjszaka nagyobb a hőmérséklet különbség, és ennek megfelelően intenzívebb a légcsere, tehát alacsonyabb a radonszint. Télen egy éjszakai minimum és egy nappali maximum várható a levegő radon koncentrációjában.

Ez a modell, amit kísérleti tapasztalatok részben már megerősítenek lehetőséget kínál arra, hogy a radonszint térbeli és időbeli változásait feltérképezve megkeressük a barlang esetleg eddig nem ismert nagyobb keresztmetszetű felszínre nyíló járatait. Ehhez pedig nem kell mást tenni, mint a radonszint csökkenését követni, figyelembe véve a diurnális változást és azt az időeltolódást, amit a bejárattól való távolság és a légmozgás sebessége okoz. Megfelelő érzékenységű detektorral elvégzett radon koncentráció mérésekkel azonban nemcsak a radonszint csökkenését, hanem növekedését is követhetjük. Ha elfogadjuk azt az elméletet, hogy a barlangi radon elsőrendű forrása az agyag (*DEZSŐ Z.* 2000), akkor a barlangon belül azok a területek, amelyek agyagban igen gazdagok térbeli forráscentrumok szerepét tölthetik be. Ilyenek lehetnek alsó, ismeretlen barlang részek, amelyekhez lejáratot találhatunk a radonszint mérésével. Ilyen vizsgálatok indultak meg az aggteleki Baradla-barlangban, 1999-ben.

Mérések a Hajnóczy-barlangban

Nagyobb keresztmetszetű felső bejáratot a radon koncentráció mérésének segítségével a Hajnóczy-barlangban kerestünk. Azért indult meg itt ilyen jellegű méréssorozat, mert egy 1997 nyarán más célból végzett radon mérés (*ÖRKÉNYI H.* 1998) meglepő eredményeket mutatott. Ezeket az eredményeket foglaltuk össze az *1. és 2. táblázatban.* Mint a táblázatokból látható két barlangban végeztük a méréseket. Az Odor-hegy gyomrában két, az eddigi ismeretek szerint egymástól különálló barlang helyezkedik el. Az egyik az Odor-vári cseppkőbarlang, amely ma mintegy 210 méter hosszban ismert és járható. A másik a Hajnóczy-barlang, melyet 1971-ben fedeztek fel és mára már több mint 2 km hosszú járatrendszere ismert. Mindkét barlang bejárata az Odor-hegy ugyanazon oldalán helyezkedik el úgy, hogy a Hajnóczy-barlang bejárata fekszik alacsonyabban. Mindig is foglalkoztatta a barlangkutatókat, hogy van-e belső összeköttetés a két rendszer között? Az 1997-ben végzett radon mérések, melyeket egyébként dozimetriai célokból végeztünk felcsillantották a reményt, hogy az utóbbi kérdés megválaszolásra kerülhet. Ha ugyanis elfogadjuk a „*felső bejáratos*" barlang modellt, akkor a

két barlangban mért igen jelentős diurnális változás megmagyarázható, amennyiben nem két különböző, hanem azonos légkörzéssel rendelkező rendszerként tekintjük a két barlangot. Azaz feltesszük, hogy egy vagy több járaton keresztül kommunikál egymással a két alrendszer.

I.táblázat Radon aktivitáskoncentráció az Odor-vári-csepkőbarlangban, 1997. július 4.
Table 1 Radon activity concentration in Odor-vár-cave

Mérés ideje Time of meas.	C_{Rn} [Bq/m^3]
11:28	5832
11:43	2572
11:58	2087
12:13	1177
12:28	668
12:43	333

II. táblázat Radon aktivitáskoncentráció értékek a Hajnóczy-barlang Rom –termében, 1997. július 3.
Table 2 Radon activity concentration in Rom Hall of Hajnóczy cave

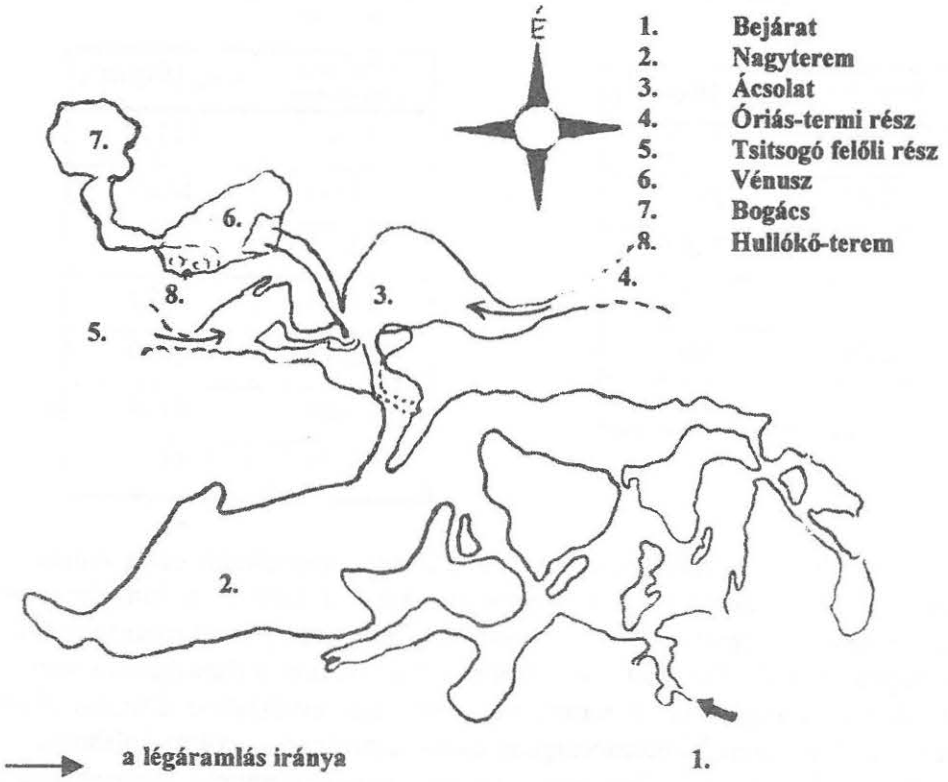
Mérés ideje Time of meas.	C_{Rn} [Bq/m^3]
11:45	11174
12:00	8429
12:15	7773
12:30	7092
12:45	6639
13:00	6104
13:15	6168

1998-ban kezdődtek el azok a mérések, melyeknek célja ennek az átjárónak a megkeresése. A mérésekre két különböző radon detektort használtunk. Az egyik a német Genitron GmbH által gyártott radon monitor, az AlphaGUARD PQ2000 volt. Ennél a készüléknél a detektálásra ionizációs kamrát használnak. A kamra radonnal való feltöltődése diffúzió révén történik. A műszert Németországban radon kamrában a gyártó kalibrálta. A készülék képes a környezet egyéb paramétereinek (hőmérséklet, páratartalom, légnyomás) mérésére, regisztrálására is. A másik detektor az olasz Silena cég által kifejlesztett PRASSI márkanevet viselő készülék volt, melyben egy szcintillációs kamra (ún. Lucas-cella) szolgál a detektálásra. Mivel ezt a detektort a méretei miatt nem tudtuk bevinni a barlangba, ezért a készülék beépített légszivattyúja egy PVC cső segítségével szívta a levegőt a barlang megfelelő részéből.

Kiindulási pontnak a Nagytermet tekintettük, mert az aktív légmozgás csak a terem szélét érinti, s a terem méretére való tekintettel csak igen kis légcserét tud biztosítani. Az itt mért radon koncentráció jól reprezentálja a barlangra jellemző nyári maximumot arra az esetre, amikor a barlangrész nincs az aktív légmozgásban. Feltételezésünket, miszerint ennek

a teremnek kicsi a légcseréje, méréseink megerősítették: a radonszint állandó volt, nem mutatott jelentősebb napi ingadozást.

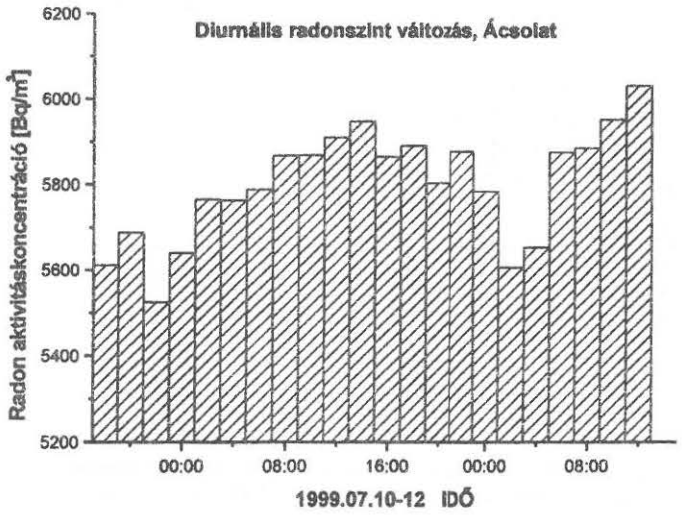
Egy 1975-77 között itt végzett légáramlásmérésből (*MIKLÓS G.* 1978) az derült ki, hogy két fő iránya van a légkörzésnek: az egyik az Óriás-terem felől jön, a másik a Tsitsogó irányából érkezik, s mindkettő az Ácsolatnál fut össze, majd a Mandulán át megy tovább a kijárat felé (*3. ábra*).



3. ábra. Hajnóczy-barlang vázlatos térképe
Figure 3 Sketch of Hajnóczy cave

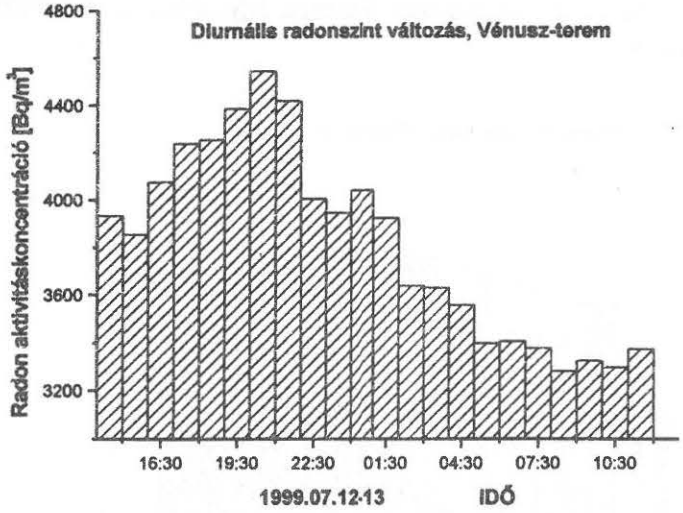
Először az Ácsolatnál kezdtünk egy 48 órás méréssorozatba, amelynek eredményét a *4. ábrán* tüntettük fel. A mérések kiértékelésénél meglepő eredményeket kaptunk. Kiderült ugyanis, hogy ez a terem – igaz kis mértékben – de a radonszint napi menetében a fentebb leírt nyári rezsimhez képest fordított viselkedést mutat. Ezt talán azzal lehet magyarázni, hogy az említett két ismert, feltételezett áramlási irányon kívül a Nagyterem és Ácsolat közötti szűkületben (Mandulában) egy további (harmadik) irányból is van légáramlás, ami azonban csak felülről jöhet, a '80-as években

felfedezett négy teremből álló rendszerből, s ez a nappal itt átáramló friss levegő gyakorlatilag nem érinti az Ácsolat légterét, így abban a radonszint emelkedhet napközben is.



4. ábra. Hajnóczy-barlang, Ácsolatnál mért diurnális radonszint változás
Figure 4 Diurnal radon variation in Ácsolat of Hajnóczy cave

E rendszer Ácsolathoz legközelebbi terme a Vénusz. Az itt mért radon koncentráció értékeket az *5. ábrán* követhetjük nyomon. Látható, hogy egy igen nagy napi változás történt, több mint 20%-kal esett a radonszint. Ez nem csak a hőmérséklet különbségből, hanem hirtelen időjárás változásból is adódhatott. Az azonban kétségkívül elgondolkodtató, hogy a radonszint maximuma jóval az eddig mért értékek alá esett. Bizakodva haladtunk tovább a már ismert két termen keresztül az utolsó teremig, a Bogácsig. Az itt mért eredményeket a *2. ábrán* már korábban bemutattuk. Szép diurnális változást mutat a radonszint. A teremben láthatók voltak friss beomlások is. Minden jel arra utalt, hogy a terem kisebb légjáratokon keresztül kommunikál a felszínnel, ám a teremre jellemző magas koncentráció értékéből arra lehet következtetni, hogy nem itt van az ún. felső bejárat, amin keresztül az intenzív légcsere zajlik. A mérések szerint a Vénusz teremben kellett tovább indulni, de nem az előbbi, már ismert irányba. Az egyetlen lehetőséget az jelentette, ha felfelé indulunk el. Ennek a teremnek a jellegzetessége, hogy nagy mennyiségű törmelék ömlött bele. A törmelék



5. ábra. Hajnóczy-barlang Vénusz-terem diurnális radonszint változása
Figure 5 Diurnal radon variation in Vénusz Hall of Hajnóczy cave

beömlésének feltételezett irányába indultunk. Mintegy 10 méter magasságban egy kisebb, ismeretlen termet találtunk, amelyet Hullókő-teremnek neveztünk el. A radon aktivitáskoncentráció értéke egy kicsit kevesebb volt, mint a Vénuszban. Ez arra enged következtetni bennünket, hogy megtaláltuk a jó irányt az átjáró felé. A Hullókő-teremből két kürtő indult felfelé, melyeket mi Ördögszarva és Becquerel kürtőknek kereszteltünk el. A terem szájánál lefelé egy akna indul, mely a Lapulevél akna nevet kapta. Az elkövetkező évek munkája lesz a két kürtő kibontása, ugyanis néhány méter után mind a kettő beszűkül és törmelékes lesz. A lefelé menő akna mintegy 5 méteren keresztül mászható, ám onnantól kezdve törmelék lepi.

Összefoglalás

A Hajnóczy-barlang több termében végzett radon mérések azt mutatják, hogy a barlang szerkezetétől és a radon forrásoktól függően, a radonszint jellemző napi változásokat mutat. Jól kiválasztott monitorizálási pontokon egyidőben gyűjtött radon adatok idősorainak analízisével megismerhető a barlang mikroklíma rendszere és ezen keresztül eddig rejtve maradt barlangi terek kutathatók fel. Néhány napos munkával a kutatott barlangban egy új termet és három kürtőt sikerült felfedezni.

A szerzők ezúton is megköszönik Varga Csabának a tiszaföldvári Hajnóczy Barlangkutató Csoport vezetőjének, hogy lehetőséget biztosított kutatómunkánk végzéséhez. Köszönet illeti a csoport valamennyi tagját, hogy aktív közreműködésükkel segítették munkánkat. Köszönettel tartozunk Mányai Zoltán, Kugyela Lóránd és Rántó András barlangászkutatóknak, akikkel a felfedezés örömét együtt élhettük át.

IRODALOM

ATKINSON T.C.-SMART P.L.-WIGLEY T.M.L. (1983): Climate and natural radon levels in Castleguard cave, Columbia icefields, Alberta, Canada. - Artic and Alpine Research 15, p. 487-502.

DEZSŐ Z. (2000): A barlangi radon eredetének vizsgálata. II. Karsztfejlődés Konferencia, Szombathely.

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 Environment. Eds: S.A.Durrani, R.Ilic, World Scientific Publishig Co., Singapore, p. 261-283.

MIKLÓS G. (1978): A Hajnóczy-barlang mikroklímája. - Karszt és Barlang, 1978/1-2, p. 11-18.

ÖRKÉNYI H. (1998): Radon és leánytermékei közötti egyensúly vizsgálata az odorvári Hajnóczy-barlangban. - Szakdolgozat, KLTE, Debrecen.