

Szegedi Tudományegyetem Természettudományi Kar
Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék

Radontranszport vizsgálatok a Nyugat-Mecseki karszt területén

OTDK dolgozat

Koltai Gabriella
Földrajz tanár szak

Témavezetők:

Dr. Keveiné dr. Bárány Ilona tanszékvezető helyettes egyetemi tanár
Ország János hidrogeológus

Szeged, 2009.

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	3
1. Módszertan.....	5
1.1 Az alkalmazott vizsgálati módszer	5
1.2 Kutatástörténeti áttekintés	7
1.3 Radon a barlangok légterében.....	8
1.3.1 A radon fizikai és kémiai tulajdonságai	8
1.3.2 A radon eredete és transzportja	9
2. A kutatott terület bemutatása.....	11
2.1. A Nyugat–Mecsek földtani jellemzése	11
2.1.1 Litológiai felépítés.....	11
2.1.2. Az uránérc keletkezése és elhelyezkedése a Nyugat-Mecsek területén	12
2.2 A Nyugat-mecseki karszt geoökológiai jellemzése.....	13
2.2.1 Földtani szerkezet	13
2.2.2 Litológiai felépítés.....	14
2.2.4 Talaj.....	15
2.2.5 Növényzet.....	15
2.3. A központi karsztos tömb jellemzése	16
2.3.1 A vízgyűjtőterületek elhatárolása	19
2.3.2 A Szuadó-völgy barlangjai	21
3. Vizsgálati eredmények.....	24
3.2 Völgytalpi helyzetű barlangok.....	24
3.2.1 A <i>Trió-barlang</i>	25
3.2.2 A <i>Gilisztás-barlang</i>	30
3.2.3 A <i>Szuadó-barlang</i>	32
3.2.4 A <i>Szózó-nyelő</i>	36
3.2.5 Az <i>Aktív-nyelő</i>	37
3.3 Hegyoldali helyzetű barlangok	39
3.3.2 A <i>Szajha-barlang</i>	40
3.3.3 A <i>Vadetetős-barlang</i>	45
3.4 Hegytetői helyzetű barlangok	51
3.4.1 A <i>Pietró-barlang</i>	51
3.4.2 A <i>Tüskés-barlang</i>	53
3.4.3 A <i>Pietró-barlang</i> és a <i>Tüskés-barlang</i> lehetséges összefüggésének vizsgálata ..	55
Összegzés.....	57
Köszönetnyilvánítás.....	58
Felhasznált Irodalom.....	59
Mellékletek.....	61

Bevezetés

Az elmúlt évek során számos tudományos munka foglalkozott különböző aspektusú radon vizsgálatokkal. Az első barlangokhoz kötődő radon vizsgálatokat a debreceni ATOMKI kutatói végezték (Hakl J. 1992). Kutatásaik a barlangi radon eredetére vonatkoztak elsősorban, azonban a radon barlangkutatásban való hasznosíthatóságát is értékelték. Az ELTE munkatársai és hallgatói a barlangok kialakulása és a különböző radon szintek közötti összefüggéseket keresték (Bezsényi A. 2006). Átfogó tanulmányok születtek a radon egészségügyi hatásairól a Tapolcai-tavasbarlang (Kávási N. 2006) és a Cserszegtomaji-kútbarlang vizsgálatával (Bognár Cs. - Fehér K. – Janata K. - Nagy F. – Hakl J. – Tóth J. 1997). Általában elmondható, hogy Magyarország karszterületein szinte mindenhol végeztek radon méréseket.

2004 óta a Szegedi Karszt- és Barlangkutató Egyesület keretein belül veszek részt a Mecsek területén folytatott barlangfeltáró kutatási munkákban. A Mecsekérc Zrt. jóvoltából sikerült hozzájutnunk DATAQUA típusú radonmonitoring műszerekhez, és 2005 júniusa óta végzünk radontranszport vizsgálatokat a Vízfő-barlangrendszerhez tartozó 4 barlangban. A Pro Natura Karszt-és Barlangkutató Egyesület Zalán Béla és Várhegyi András vezetésével 1995-ben fogott hozzá az Orfű és Abaliget környékén található mecseki barlangok ilyen jellegű vizsgálatához. Számos mérés történt a területen, összesen 17 barlangba helyeztek radon detektort, a mérések átfogó feldolgozása azonban nem történt meg. Dolgozatommal támogatni szeretném a Nyugat-mecseki karszt területén folyó kutatásokat, feltáró munkálatokat.

Dolgozatom célja az alábbi kilenc barlang vizsgálata: *Aktív-nyelő*, *Gilisztás-barlang*, *Pietró-barlang*, *Sózó-barlang*, *Szajha-barlang*, *Szuadó-barlang*, *Trió-barlang*, *Tüskés-barlang* és *Vadetetős-barlang*. Saját méréseimet a Szuadó-völgy barlangjaiban (*Trió*-, *Gilisztás*- és *Szuadó-barlangok*) végeztem, a Pro Natura Karszt-és Barlangkutató Egyesület vizsgálataiba az elmúlt másfél évben kapcsolódtam be, a korábbi adatokat ők bocsátották rendelkezésemre. A barlangok kiválasztása során morfológiai szempontok domináltak: hegytetői, hegyoldali és völgytalpi helyzetű barlangokat választottam. Barlangi légköri modellek alkalmazásával szeretnék a barlangok lehetséges kapcsolataira rámutatni.

Munkám során az alábbi kérdésekre keresem a választ. A korábbi mérések alapján mutatkozik-e különbség a barlangok között? Kimutathatóak-e barlangi szállítási irányváltások a radonkoncentráció megváltozásával? A legutóbbi vizsgálatok alapján

érzékelhetőek-e a Szuadó-völgyi barlangok között jelentős különbségek a radonszint változásában? A radontranszport vizsgálatok mennyiben igazolják az egyes barlangok morfológiai helyzete alapján alkotott légkörzési modelljeinket? Továbbá a vizsgálatok eredményei alapján bemutatom a kutatási terület barlangjaira vonatkozó törvényszerűségeket, különös tekintettel a Jakab-hegyhez való közelségükre.

1. Módszertan

1.1 Az alkalmazott vizsgálati módszer

Mint azt már a bevezetőben említettem a vizsgált kilenc barlangot morfológiai szempontok alapján választottam ki. Saját méréseimet a Szuadó-völgy barlangjaiban folytattam. Az összehasonlítás végett egy szintén völgytalpi helyzetű, lehetőleg vízfolyással rendelkező barlangot kerestem, így esett a választásom az *Aktív-nyelőre* és a *Sózó-nyelőre*. A *Szajha-*, *Vadetetős-*, *Pietró-* és *Tüskés-barlangokra* a hegyoldali és hegytetői helyzetük miatt esett a választásom, valamint azért mert a mérések éveken át tartottak ezekben a barlangokban.

Az adatgyűjtések során a Szegedi Karszt-és Barlangkutató Egyesület, valamint a Pro Natura Karszt-és Barlangkutató Egyesület használatában lévő monitoring műszerekkel dolgoztam, amelyeket a Mecsekérc Zrt. bocsátott a barlangkutatók rendelkezésére. A Balatonalmádi DATAQUA Elektronikai Kft által gyártott berendezések mérési gyakorisága 1-240 perc között programozható. Jelen esetben a műszerek óránkénti adatgyűjtésre voltak beállítva, így akár 4-5 hónapnyi adat tárolására is képesek voltak. Az adatok kinyerését és a műszerek kalibrálását a Mecsekérc Zrt. munkatársai végezték. Az adatgyűjtések során egy, illetve háromcsatornás detektorokat használtam. A régebbi típusú, műanyagcsővel rendelkező egycsatornás detektorok csak Rn-222 mérésére alkalmasak, míg az újabb acélcsőves 3 csatornás detektorokkal, a Rn-222 adatokkal egy időben hőmérséklet és nyomás értékeket is lehet vizsgálni.

A detektorok paraméterei (Várhegyi A. 1995):

- A radon mérésről alfaérzékeny CANBERRA PIPS szilícium detektor gondoskodik, mely 3 cm² aktív felülettel rendelkezik. Ennek az érzékenysége 56 Bq /m³/imp/h, tehát 56 Bq/m³ Rn-222 koncentráció esetén egy beütés történik óránként.
- A hőmérséklet detektálását 0,1°C pontosságú platina hőmérő végzi
- A nyomásmérő pontossága 1 hPa (vagy mbar).

A Mecsekérc Zrt. laborjában végzett kalibrálás után történt a radondetektorok barlangokban való elhelyezése. A mérések döntő többsége a bejárati zónában vagy végpont közeli helyeken folyt. A letelepítés során figyeltem arra, hogy a hely, ahova a detektort

elhelyezem, ne legyen árvízveszélyes, omlásveszélyes, a műszerre ne csepegjen víz, valamint ne legyen lesodorható. A műszereket kéthavonta rendszeresen ellenőriztem. A kitelepítések általában 4-5 havonta történtek.

A műszer a beütéseket méri, így az adatokat kinyerésük után át kell számolni. Az adatok feldolgozását Microsoft Excel-ben végeztem az alábbi képletek segítségével:

1) acélcsőves 3 csatornás Rn-detektor esetén:

$$P\text{-korr (korrigált nyomás)} = \text{adat} - 10,6 \quad (\text{mbar})$$

$$T\text{-korr (korrigált hőmérséklet)} = \text{adat} + 0,5 \quad (^\circ\text{C})$$

$$Rn \text{ háttér} = 6 \quad Rn \text{ szóró} = 56$$

$$Rn\text{-korr (korrigált radonkoncentráció)} = (Rn \text{ háttér}) * \text{szorzó} = \\ (\text{adat} - 6) * 0,056 \quad (\text{kBq/ m}^3)$$

2) műanyagcsőves 1 csatornás Rn-detektor esetén:

$$Rn \text{ háttér} = 4$$

$$Rn \text{ szorzó} = 140$$

$$Rn\text{-korr (korrigált radonkoncentráció)} = (Rn - \text{háttér}) * \text{szorzó} = \\ (\text{adat} - 4) * 0,14 \quad (\text{kBq/ m}^3)$$

Az adatok feldolgozásánál csak a ténylegesen barlangban töltött időszakot vettem figyelembe. A radon adatok kezelése során előforduló esetlegesen hibás adatokat a közvetlenül előtte, illetve a közvetlenül utána előforduló adatok számtani közepével helyettesítettem. Ha számos hibás adat követte egymást, feltételezhető volt a műszer meghibásodása (például páralecsapódás a detektorra), így ezekben az esetekben az adatokat kihagytam az értékelésből.

Sajnos a három csatornás műszerek esetében többször tapasztaltam, hogy a hőmérsékletet rögzítő detektor meghibásodott. Példa lehet erre a *Pietró-barlang*, ahol téli időszakban 19°C -os átlaghőmérsékletet mért a műszer. Még ha figyelmen kívül hagyjuk az időszak téli voltát, akkor is a detektor elég mélyen volt ahhoz, hogy a felszíni hőmérséklet ne befolyásolhassa a barlangi hőmérsékletet ilyen mértékben. A *Vadetetős-barlangban* pedig többszöri műszer meghibásodás történt a barlangi légnyomás rögzítésekor.

Sajnos a műszerek hiánya miatt egyedül a *Vadetetős barlangban* volt lehetőség a több ponton való egyidejű mérésre. A barlangi mérési időszakhoz hozzá rendelem

felszíni légnyomás és hőmérsékleti adatokat, hiszen a radon változásán túl a barlangi légmozgások irányát alapvetően befolyásolják ezek a paraméterek. A felszíni meteorológiai adatok 2000-tól a volt uránbánya I. üzemépületének tetején szintén a Mecsekérc Zrt. által üzemeltetett meteorológiai állomásról álltak rendelkezésemre. 2002-től az V. üzemnél működő állomás szolgáltatja adatokat rendeltettem hozzá a barlangi mérésekhez. A meteorológiai állomásokon az adatok rögzítése 10 percenként történt, azonban a mérések ideje néhány naponta 1 percet változott, ami erősen megnehezítette az adatok együttes ábrázolást. A méréseknél a első és utolsó adatot óra pontossággal hozzá igazítottam a barlangi kezdeti és végi időpontokhoz.

Az adatsorok feldolgozásakor külön kiszámoltam a rendelkezésre álló hőmérséklet, légnyomás és ^{222}Rn adatok átlagát. Barlangonként vizsgáltam a radon értékekre jellemző maximum, minimum időszakokat, illetve a huzat irányát. A rendelkezésemre álló barlangtérképeket mellékletekként csatoltam a dolgozathoz, a mérőműszerek helyét X-el jelöltem.

Arra a kérdésre, hogy mi(k) és milyen mértékben befolyásolják a ^{222}Rn koncentrációk időbeli változását, a regresszió illetve a korreláció analízist alkalmaztam. A korreláció analízis eredményeként kiderült, hogy alacsony a lineáris kapcsolat, mind a ^{222}Rn – hőmérséklet, valamint a ^{222}Rn – légnyomás idősorok között. Az azonban, hogy nincs lineáris kapcsolat az idősorok között, nem jelenti azt, hogy nem állnak kapcsolatban egymással. Ennek eldöntésére alkalmaztam a regresszió analízist, ugyanis a módszerrel további – a lineáris függvényen kívül – függvénykapcsolatot lehet vizsgálni. Sajnos ezzel sem értem el eredményt. Ezek alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a radonkoncentráció időbeli változását több tényező együttesen befolyásolja.

1.2 Kutatástörténeti áttekintés

Magyarországon az ATOMKI Nyomdetektor Csoportjának kutatói végezték az első radon méréseket 1977-ben (Hakl J. 1992). A Mecsek területén először, a 90-es évek elején, dr. Hakl József folytatott vizsgálatokat az *Abaligeti-barlangban*, a *Cigány-hegyi zombolyban* a *Vásárosúti-zombolyban*, a *Remény-zombolyban* valamint a *József-lyukban*.

A Pro Natura Karszt- és Barlangkutató Egyesület tagjai Zalán Béla és Várhegyi András irányítása alatt 1992-ben indították el a méréseiket az *Abaligeti-barlang* három pontján, majd 1995-től kezdődően a *Mészégető-* és a *Pietró-barlangokban*. Az egyesület

tagjai téli terepbejárások során arra lettek figyelmesek, hogy néhány üreg bejárata körül elolvad, az esetenként akár 10 cm-t is meghaladó hótakaró. Ez az olvadás legalább pár méteres járáthosszúságra utal, hiszen télen a zsákszerű barlangokból kifelé áramló levegő felmelegíti a bejárat környékét, megolvasztva az ott található havat. A levegő ennek hatására ismét lehül és visszasüllyed, kiszorítva az alatta található melegebb levegőt, beindítva ezzel egy öncirkulációs rendszert. A terepbejárásokon látottak hatására 1997-ben a debreceni ATOMKI közreműködésével 25 barlang (pl.: *Sózó*, *Szajha*, *Tüskés*, *Pietró*) bejárat zónájában (1-7 m mélységben) helyeztek el detektorokat. A mérések célja a további feltáró kutatásra alkalmas barlangok kiválasztása volt. Az adatok kiértékelését dr. Hakl József végezte. Az adatsorok arra utaltak, hogy a *Pietró-barlang* és a *Csiga-lyuk* rendelkezhet jelentősebb járatszakaszokkal, a többi barlang esetében az adatsorok nem utaltak nagyobb üregrendszerekre, néhány esetben pedig értékelhetetlenek voltak. Ennek ellenére több barlang esetében volt jelentős továbbjutás. Az *Aktív-nyelő* vizsgálata 2000-ben, a *Vadettős-barlangé* pedig 2003-ban kezdődött. A műszerhiány következtében a mérések többsége csak néhány évig tartott¹.

A Szegedi Karszt- és Barlangkutató Egyesület 2005 júniusában kezdte el tanulmányozni az általa kutatott barlangok radonszintjét. Az első mérések a *Rumba-barlangban* folytak, azonban egy árvíz miatt a műszer meghibásodott, és az adatok elvesztek. A *Trió-barlang* vizsgálata 2006-2007 között folyt, a *Szuadó-barlangé* 2007-ben, a *Gilisztásé* pedig 2008-ban kezdődött el.

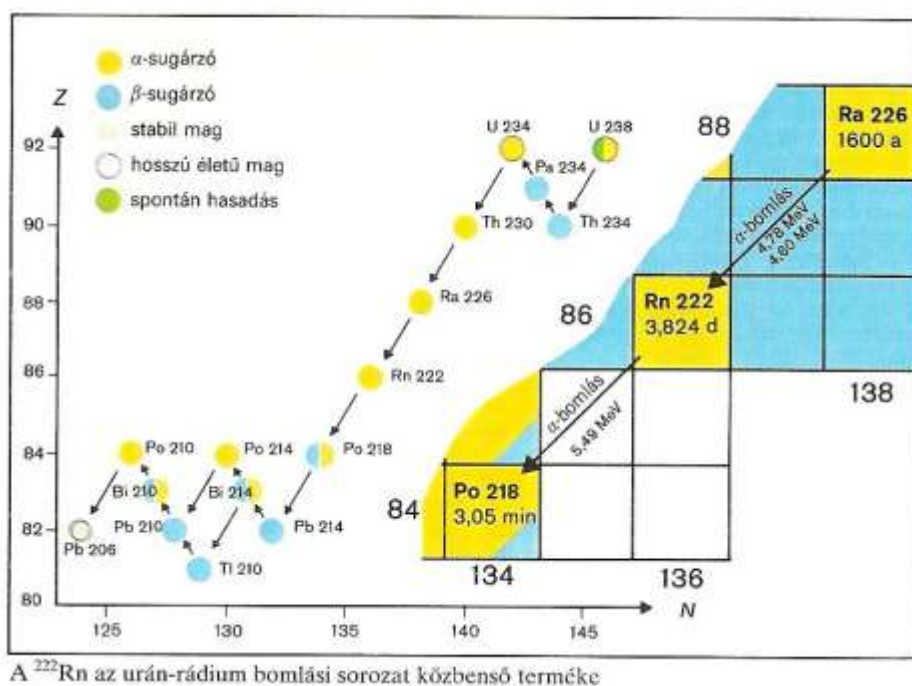
1.3 Radon a barlangok légterében

1.3.1 A radon fizikai és kémiai tulajdonságai

A radon (^{222}Rn) színtelen, szagtalan nemesgáz, a periódusos rendszer 86. eleme, atomtömege 222,017 g/mol. A radon szobahőmérsékleten gáz halmazállapotú, forráspontja -62°C , míg olvadáspontja -71°C . Radioaktivitásának köszönhetően -71°C alatt sárgás, -180°C alatt pedig narancsos színben foszforeszkál. Kémiaileg csaknem inaktív, ritkán képez vegyületeket, azonban szobahőmérsékleten jól oldódik vízben, és igen jól oldódik a különféle szerves vegyületekben.

¹ Jelen ismeretek személyes interjúkon alapulnak.

A radon alfa-rész kibocsátásával bomlik. A természetben három izotópja ismeretes: a $^{222}\text{Rn}^2$ (radon), a ^{220}Rn (toron) és a ^{219}Rn (aktinon). A radon az ^{238}U , a toron a ^{232}Th míg az aktinon az ^{235}U -nak a bomlási sorából eredeztethető (1. ábra). A három izotóp közül a 3,8 napos felezési idővel rendelkező radon élettartama a leghosszabb. A toron és az aktinon nagyon rövid felezési idejéből adódóan barlangi mérések folyamán ezek az elemek gyakorlati szempontból elhanyagolhatóak. Mivel a radon egy vegyileg semleges, mozgékony nemesgáz, 3,8 napos élettartama alatt lehetősége nyílik arra, hogy szülőelemétől az ^{226}Ra -tól jelentősen eltávolodjon valamint arra is, hogy a környező levegőbe és vízbe lépjen és ott jelentős mértékben feldúsuljon.



1. ábra. A ^{222}Rn az urán-rádium sorozat közbenső terméke (Breuer H. 2000)

3.1.2 A radon eredete és transzportja

A legtöbb természetes anyag tartalmaz uránt, így az emberi környezetben állandóan számítani lehet a radon jelenlétére. A talajok átlagosan 2-3g/t ^{238}U -t tartalmaznak, így az itt található póruslevegő radon koncentrációja 7-220 kBq/m³ között változik, átlagosan 27 kBq/m³ értékkel jellemezhető (Hakl J. 1992). A folyamatos keveredésnek köszönhetően a szabad levegő radon koncentrációja ennél sokkal alacsonyabb értéktartományban mozog, mindössze 1-10 Bq/m³ között változik.

² A továbbiakban radon alatt kizárólag ezt az izotópot értem.

Zárt terekben (lakásokban, bányákban vagy barlangokban stb.) a korlátozott szellőzés következtében a levegő radon tartalma jelentős mértékben feldúsulhat. A barlangi levegő radon koncentrációja a világon 0,1–20 kBq/m³ között mozog (Hakl J. - Hunyadi I.- Csige I.- Géczy G. – Lénárt L. – Várhegyi A. 1997).

A vizsgálat során mintázott barlangok mindegyike karsztos területen található. A karbonátos kőzetek rádium tartalma azonban a földkéregénél jóval alacsonyabb, a mészkőé átlagosan mindössze 25 Bq/kg. Korábban elfogadott volt az a nézet, hogy a barlangi levegő radon tartalma túlnyomórészt a befoglaló karbonátos kőzetben található ²³⁸U bomlásából származik (Dezső Z.- Hakl J.- Molnár L. 2001). A barlangi üledékeknek vajmi kevés jelentőséget tulajdonítottak, hiszen a kutatók úgy gondolták, hogy a karbonátos kőzetek nagyfokú repedezettsége, valamint a légtér zártsága elegendő a radon levegőben való feldúsulásához. Azonban újabb kutatások bizonyították, hogy a barlangi radon elsődleges forrását nem a karbonátos kőzetek, hanem az itt található üledékként felhalmozódott agyag képezi (Dezső Z.- Hakl J.- Molnár L. 2001).

A radon keletkezési helyétől való migrációja számos tényezőtől függ. Különbséget lehet tenni elsődleges és másodlagos faktorok között. A radon migrációja elsődlegesen a kőzet porozitásától, nedvességtartalmától, a hőmérséklettől, valamint talajok esetében a talaj és a szabad levegő nyomáskülönbségétől függ. Másodlagos faktornak tekinthetőek a hőmérséklet különbség okozta áramlások, továbbá a gyors légnyomásváltozások (Papp B.- Deák F.-Horváth Á. - Kiss Á.- Vid G. 2004). Az elsőként említett tényezők főként a radon kőzetből való kijutását, míg a második csoportba tartozó faktorok annak légtérben való mozgást befolyásolják. Egy barlangi légtér radon tartalmát elsősorban a befoglaló kőzetének, valamint kitöltéseinek a rádiumtartalma határozza meg, ami a kőzet exhalációs képességét determinálja. „Egy kőzet exhalációján annak atmoszférával érintkező felületegységén az időegység alatt kijutó radon aktivitását értjük. Ennek SI egysége Bq/m²s,” (Dezső J.- Hakl J. – Molnár Z. 2001 p.2). Egy adott kőzet exhalációját alapvetően befolyásolja annak emanációs tényezője. „A kristályok közötti térbe jutott és a kristályokban keletkező radon atomok számának a hányadosát nevezzük emanációs tényezőnek” (Hakl J. 1992 p.5). Értéke 0-1 között változik. Az emanációs tényező értékére a kőzet szerkezete, porozitása, valamint az anyaelem, esetünkben, a ²²⁶Ra kőzetmátrixban való elhelyezkedése van hatással (Hakl J. 1992).

A másodlagos faktorok közé tartozó hőmérséklet -, illetve nyomáskülönbség okozta légáramlások a radon légtérben való migrációját és feldúsulását befolyásolják. A mészkő nagyfokú repedezettségének köszönhetően a radon egyrészt könnyen kijut a légtérbe a

nagy felületek miatt, másrészt pedig gyorsan reagál a felszíni légnyomás és hőmérséklet viszonyok alakulására az intenzív légcseré miatt (Hakl J. - Hunyadi I.- Csige I.- Géczy G. – Lénárt L. – Várhegyi A. 1997).

A radon vizsgálatok barlangkutatásban való hasznosíthatóság abból fakad, hogy a radon kiválóan alkalmas a légmozgások irányainak meghatározására (Dezső Z.- Molnár L. 2000). Egy barlangi tér radon koncentrációjának változásából megállapítható, hogy a barlangi levegő milyen mértékben kommunikál a felszínnel, illetve más járatszakaszokkal. A levegő mozgás irányának elemzése alapján meghatározható, hogy az adott járatszakasz a barlangi légköri modellek tekintetében alsó vagy felső szakasz jellegű. Ezeknek adatoknak az analizálásából lehet következtetni a még feltáratlan járatszakaszok lehetséges helyzetére, esetenként nagyságára.

2. A kutatott terület bemutatása

2.1. A Nyugat–Mecsek földtani jellemzése

A második fejezet első alfejezetében a Nyugat-Mecsek egészének rövid bemutatását végzem el, különös figyelmet fordítva a terület déli részén található uránérc feldúsulásra. A radon mérések szempontjából elengedhetetlen a karsztot övező terület bemutatása, legfőképp akkor, ha a közelben uránérc feldúsulás található, hiszen a radon az ^{238}U bomlási sorának egy leány eleme.

2.1.1 Litológiai felépítés

A felszínen található kőzetek az 1984-es MÁFI által készített térképen (*I. melléklet*) tanulmányozhatók. A terület legidősebb kőzetei a perm homokkővek (pl.: Kővágószőlősi Homokkő Formáció, Bakonyai Tagozat) és aleurolitok (Bodai Aleurolit Formáció) a terület déli illetve délnyugati részén találhatóak. Nyugatról kelet felé haladva a szürke és zöld homokkőveket a mecseki uránércnek is helyet adó zöld és vörös homokkővek váltják fel.

Az idősebb paleozós maghoz észak és kelet felől alsó-triász vörös homokkő és aleurolit (pl.: Jakabhegyi Homokkő Formáció, Werfeni Formáció, Patacsi Tagozat) a középső triászban pedig mészkő és dolomit települt (pl.: Misinai Formáció). A mezozoós

karsztos kőzeteket északról miocén homokkő, valamint agyagmárga (pl.: Budafai Homokkő Formáció, Komlói Tagozat) határolja. Az paleozós és mezozoós magot valamint a miocén kőzeteket észak, nyugat, illetve dél felől patkó alakban pliocén homokkő illetve agyagmárga öleli körül.

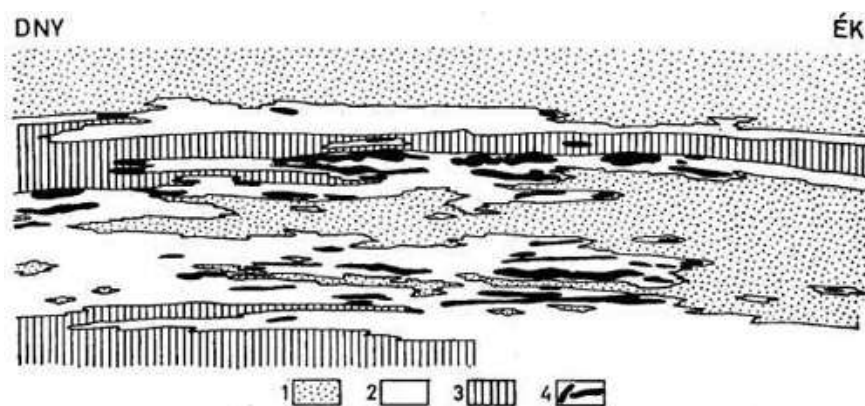
Az *1. mellékleten* a kőzetek mellett jól látszódnak a Nyugat-Mecsek egészét felszabdalo fő törésvonalak. A törésvonalak csapásiránya alapján megkülönböztetünk északnyugat-délkelet-, délnyugat-északkelet-, valamint észak-déli törésvonalakat. Lovász György (1971) szerint az első két csoportba tartozó szerkezeti vonalak idősebb törésrendszerek felújulásai, melyek meghatározó szereppel bírtak a karsztterület szerkezeti-domborzati viszonyainak kialakításakor. Az észak-déli szerkezeti vonalak jelentősége sem hanyagolható el, hiszen számos völgy futását, például a Szuadó-völgyét vagy a Körtvélyesi árokét determinálják, és a barlangokban mért litoklázis irányok is döntően ehhez az észak-déli irányhoz kötődnek.

2.1.2. Az uránérc keletkezése és elhelyezkedése a Nyugat-Mecsek területén

Az uránérc a mecseki Zöldhomokkő rétegcsoporthoz képződött, amely a Kővágótöttösi Szürkehomokkő és a Cserkúti Vöröshomokkő Tagozatok találkozásánál alakult ki. A Zöldhomokkő rétegcsoporthoz fácies átmenetet képez az őt kialakító kőzetek között: a Kővágótöttösi Szürkehomokkőnél oxidatívabb, a Cserkúti Vöröshomokkőnél redukzívabb viszonyok között alakult ki, ásványi összetételét elemezve a Vöröshomokkőhöz, míg üledékképződési közegét tekintve inkább a Szürkehomokkőhöz áll közelebb (Fülöp J. 1994).

Az uránérc a fent említett két fácies egybefogazódásánál jött létre. A felső-perm időszak során egy különleges helyzet kialakulása megteremtette az uránérc keletkezéséhez szükséges feltételeket. A Vöröshomokkővet folyóvízi lerakódás jellemezte, míg a Szürkehomokkővet alkotó törmelék elmocsarasodott folyóvízi, illetve mocsárlápi körülmények között halmozódott fel. A területet a felső-perm időszakában szemiarid klíma jellemezte. A lepusztulási terület emelkedése nagy mennyiségű törmelékképződést vont maga után, amit vízfolyások szállítottak a tektonikus árkok süllyedő területeire. A törmelékanyag eleinte a kiemelkedő térség metamorf képződményeinek, majd később már gránitképződményei egy részének a lepusztulásából eredt. Az akkumulációs terület egyenlőtlen süllyedésével létrejött a mocsárlápi és a folyóvízi fáciesek egymással érintkező

területe, azaz megteremtődtek az uránérc keletkezéséhez szükséges geokémiai, ásványi-kőzettani feltételek (Fülöp J. 1994).



2. ábra. A Mecseki uránérctelep vázlatos szelvénye (Fülöp J.1994)

Jelmagyarázat: 1- vörös homokkő, 2- zöldesszürke homokkő, 3-szürke homokkő, 4- uránérc lencsék

Az uránfeldúsulás nem egy összefüggő rétegben, hanem egymástól elkülönülő lencsékben található. A lencsék több szintben terülnek el, méretük és alakjuk igen változatos (2. ábra).

2.2 A Nyugat-mecseki karszt geoökológiai jellemzése

A Nyugat-mecseki karszt a B típusú karsztok csoportjának iskolapéldája (Jakucs L. 1971), a mészkő illetve dolomit területre érkező vízfolyások döntő többsége a környező nem karsztos területekről ered, így a területre érkező vízfolyások hordalékának döntő többsége innen származik. A debreceni ATOMKI vizsgálatai szerint a barlangi radon fő forrásának az üregrendszerben található agyagkitöltések tekinthetők³ (Kiss Á.- Szántó Zs.- Dezső Z. 2004), ezért fontos áthatóbban megismernünk a Nyugat-mecseki karszt szerkezetét, közvetlen környezetét. A második alfejezetben szakirodalmi ismereteimre, valamint a MÁFI által kiadott földtani térképekre támaszkodva a Nyugat-mecseki karszt geoökológiai jellemzésével foglalkozom.

2.2.1 Földtani szerkezet

A terület felépítését egy antiklinális szerkezet határozza meg, melynek tengelye kelet-nyugati csapással, valamint mérsékelt keleti dőléssel mintegy 20km hosszan húzódik

³ A barlangi radon eredetével a 2.2.1 fejezetben bővebben foglalkozom.

Péctől nyugatra. A boltozat déli szárnya a Mecsek-alja vonalnál hirtelen eltűnik, míg az É-i része fokozatosan csökkenő dőléssel bukik a fiatal medence üledékek alá. A felboltozódás következményeként a kőzetek erősen töredezetté váltak. A kőzetek töredezettsége fontos szerepet játszik a barlangok kialakulásában (Barta K. - Tarnai T. 1997).

2.2.2 Litológiai felépítés

A mecseki antiklinális déli, kiemelt részét lepusztult perm, illetve triász homokkővek építik fel, aleurolit és konglomerátum betelepülésekkel tarkítva (Jakabhegyi Homokkő Formáció, Kővágószőlősi Homokkő Formáció). Észak felé haladva ezekre a kőzetekre tengellyel párhuzamos triász transzgressziós rétegsor települ.

A triász rétegsor első tagjai zöld és vörös homokkővek, amelyeket először aleurolit, végül pedig evaporitokban gazdag márgából és lemezes fekete mészkőből álló kőzetek (Hetvehelyi Dolomit Formáció) váltanak fel. A jól karsztosodó, karbonátos kőzetek fő tömegét határdolomitra települő mészkővek alkotják. Ezek a kőzetek a triász időszakból származnak, mind vékonyréteges mind vastagpados formában jelen vannak, gyakran dolomit lencséket is tartalmaznak.

Az antiklinális triász mészkövei északon és nyugaton olyan terciér és kvarter üledékek alá buknak, melyek rájuk komoly üledékhézaggal települtek. A felszínről való eltűnésük után a fent említett triász korú kőzetek nagy mélységben húzódó fedett karsztként egészen a Baranyajenő - Bonyhád vonalig nyomozhatóak.

A Nyugat-Mecsek területén a karsztosodásra alkalmas kőzetek egy egységes tömbhöz tartoznak, a felszínen azonban három különálló zónában találhatóak. Az első legnagyobb területet magába foglaló karsztos tömb az Abaliget-Mecsekrákos vonaltól a Misináig húzódik, 8 km hosszúságban és 5 km szélességben. A második egység Pécs és Mánfa között egy 3 x 1 km-es területen található, míg az utolsó blokk Hetvehelytől nyugatra terül el egy hozzávetőlegesen 2 x 3 km-es körzetben. A három karsztos egység közül a számomra az első fontos, mivel az általam vizsgált területek itt helyezkednek el. A továbbiakban így csak a központi karsztos tömb területével foglalkozom.

2.2.3 Éghajlat

A Mecsek hegység az ország legmelegebb hegyvidéke, hűvös, mérsékelt nedves, enyhe éghajlat jellemzi. A Misina állomáson mért adatok alapján az évi középhőmérséklet $8,8^{\circ}\text{C}$, az évi közepes hőingás pedig $21,7^{\circ}\text{C}$. A leghidegebb hónap a január, a legmelegebb pedig a július. A külső hőmérséklet meghatározó szerepet játszik a barlangi levegőmozgás irányának kialakulásában. A Mecsek hegységen belül $9-12^{\circ}\text{C}$ -nál egy úgynevezett flexibilitási pont található. A barlangi levegő hőmérséklete is ezen a tartományon belül mozog, általában 10°C -os, így amikor a felszíni hőmérséklet 10°C fölé emelkedik vagy 10°C alá csökken, a barlangi huzat iránya rendszerint megfordul.

A csapadék átlagos mennyisége 600-700 mm, a magasabb területeken foltszerűen elérheti a 800 mm-t is. Eloszlásában kiemelkedő szerepe van a domborzatnak, azon belül is a hegység kelet-nyugati irányú gerincének, mely nyáron, az atlanti csapadékjáráskor a déli oldalon, télen, a mediterrán csapadékjárás érvényesülésekor pedig az északi oldalon okoz csapadékmennyéket. A csapadékhullás intenzitásában a fent említett atlanti és mediterrán hatás miatt két maximum található, az első nyár elejére, június, július hónapokra, míg a második novemberre és decemberre esik.

2.2.4 Talaj

A Nyugat-Mecsek területén a legelterjedtebb talajtípus a triász mészkövek málladékán kialakult agyagbemosódásos barna erdőtalaj. A mészkőterületen még barna rendzina és foltokban Ramann-féle barnaföld található. A permi vörös homokköveket pszeudoglejes barna erdőtalaj, valamint nem podzolos barna erdőtalaj borítja. A meredek domboldalokon foltokban köves-sziklás váztalaj jelenik meg. A talajok mechanikai összetétel szempontjából főként vályogos és agyagos-vályogos típusba sorolhatók, illetve kémhatásukat tekintve savanyúak (Hoyk E. 2002.).

2.2.5 Növényzet

A terület a változatos földtani felépítésnek és a mediterrán éghajlati hatásoknak köszönhetően sajátos, szubmediterrán és balkáni fajokban bővelkedő flórával rendelkezik. A mészkő területeken főként melegkedvelő tölgyesek, gyertyános tölgyesek, valamint a

csapadékosabb, hűvösebb tetőkön bükkösök élnek, továbbá a meredek lejtők jellegzetes társulásai a karsztbokorerdők. A homokkőfelszíneket mészkerülő tölgyesek, bükkösök illetve gyertyános-tölgyesek borítják. A gyepszintben az illatos hunyor, a csodabogyó, a koronaszintben pedig az ezüsthárs előfordulása jellemző (Hoyk E. 2002).

2.3. A központi karsztos tömb jellemzése

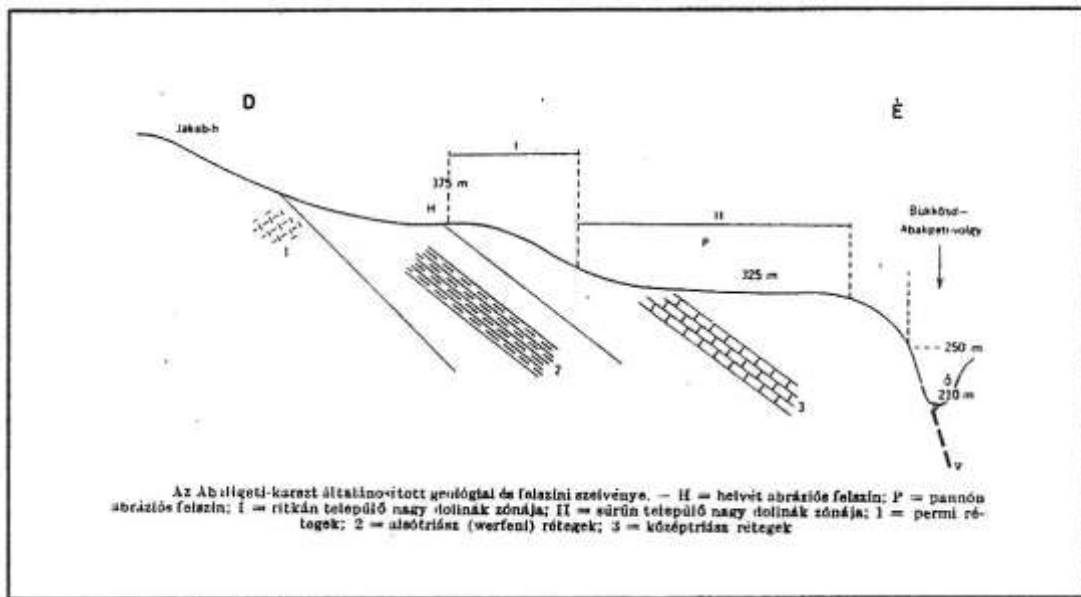
A 38 km² területű Abaliget-Mecsekrákos vonaltól a Misináig húzódó központi karsztos tömb felszínén nyolc forrásbarlang vízgyűjtő területe osztozik: *Abaligeti-barlangé*, *Kispaplikáé*, *Mánfai-kőlyuké*, *Melegmányi-forrásé*, *Mélyvölgyi-forrásoké*, *Orfűi Vízfő-barlangé* és *Tettyei-forrásbarlangé*. A vizsgált barlangok közül hét az *Abaligeti-barlanggal* és az *Orfűi Vízfő-forrásbarlanggal* áll hidrológiai kapcsolatban. A *Pietró- és Tüskés barlangok* hovatartozása kétséges. Az eddigi vizsgálatok eredményei alapján nem sikerült pontosan meghatározni, hogy a *Kispaplika-* vagy a *Mészégető-forrás* vízrendszerével állnak szorosabb kapcsolatban (2. melléklet).

A vizsgált barlangok a *Vadetetős-barlang* kivételével a Lovász György féle lehatárolás szerinti Abaligeti-karszton helyezkednek el (Lovász Gy. 1971). A Pro Natura Karszt- és Barlangkutató Csoport által végzett vízfestéses vizsgálatok kimutatták azt, hogy a Nyárás-völgytől nyugatra elhelyezkedő terület, és így az itt található *Vadetetős-barlang* is hidrológiai kapcsolatban áll az *Abaligeti-barlanggal*. A hidrológiai kapcsolatnak figyelembe vételével elegendőnek tartom az Abaligeti-karszt jellemzését.

Lovász György az Abaligeti-karszt területi lehatárolást hidrológiai szempontok alapján végezte el: É felől az ÉK-DNY futásirányú Abaligeti-, illetve Bükkösi-patak völgye, keletről a Jakabhegy É-i oldalán kialakult Szuadó-völgy, délről a Nyárás-patak völgye, míg nyugati irányból a karsztos formák megszűnésének zónája választja el a karsztterületet a központi tömb más részeitől (Lovász Gy. 1971).

Az Abaligeti-karszt a Jakab-hegy északi térségében alakult ki, északi kibillenéssel támaszkodik a Jakab-hegynek. Az összefüggő karsztterület közetei a Thetys-tenger északi, európai szegélyén jöttek létre. A tengeri üledékképződés a jura elejére fejeződött be, a kőzetek túlnyomó része a mai helyétől jóval délebbre, az é.sz. 20-35° között keletkezett. A terület kiemelkedésnek indult és a középső jurára szárazulattá vált, így megkezdődött a triász mészkövek karsztosodása az akkori trópusi, szubtrópusi éghajlaton. Az intenzív karsztosodás következtében egy tönkfelszín jött létre, ami a mai Nyugat-Mecsek enyhén

hullámos felszínének alapját képezi. Ennek a nyílt karsztként való fejlődésnek a középső-miocén tenger-előrenyomulás vetett véget. A transzgresszió a karsztos tönkfelszín maradványait megsemmisítve széles hullámverési síkot húzott a hegy oldalába, majd a szarmatában fedett karsztként újra szárazulattá vált a mészkőtömeg (Hevesi A. 1991). A Pannon-beltenger, melynek néhai partvonalát a ma 330-370 méter magasan elhelyezkedő felső-pliocén abrázíós lépcső jelzi, ennek a részben kipreparálódott fedett karsztnak már csak az északi részét öntötte el, így a déli zóna változatlanul fejlődött tovább. Az Abaligeti-karszt tehát két különálló abrázíós térszínből áll, melyeket egy markáns felső-pliocén lépcső választ el egymástól (3. ábra).

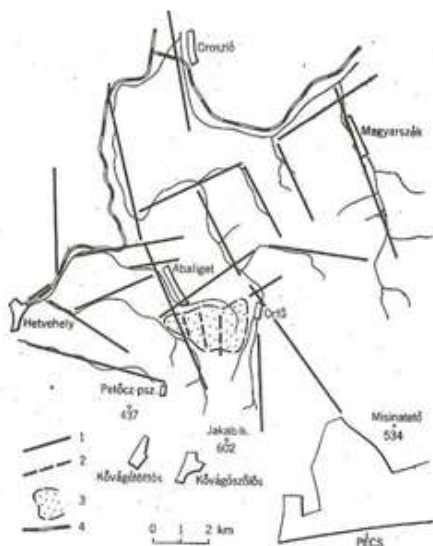


3. ábra. Abrázíós felszínek elhelyezkedése Abaliget közelében (Lovász Gy. 1971)

A két abrázíós terület nemcsak tengersizint feletti magasságában, hanem formáiban is eltér egymástól. Bár a magasabban elhelyezkedő, idősebb déli felszín karsztosodása a szarmatában, az alacsonyabban található, fiatalabb északi felszíné pedig csak a pliocénben kezdődött, délről észak felé haladva a karsztos formák számának és méreteinek hirtelen növekedése tapasztalható. A jelenség okai a terület morfológiai és geológia sajátosságaiban rejlenek. A 3. ábrán található geológiai szelvényről leolvasható, hogy a karszt nem egy egységes mészkőplató: az abrázíós lépcsőtől délre fekvő miocén abrázíós terasz maradványát egy keskeny mészkősáv alkotja, melynek fekéjét werfeni palás rétegek képezik. Az északi terület alapját képező mészkőrétteg sokkal vastagabb, és a domborzat plató jellege kedvezőbb a nagyobb formák kialakulásához. A legnagyobb méretekkel büszkélkedő forma 240 m-es átmérőjű és 50-60 m mély.

Az Abaligeti-karszt formakincsét vizsgálva további érdekességek tapasztalhatóak (Lovász Gy. 1971)

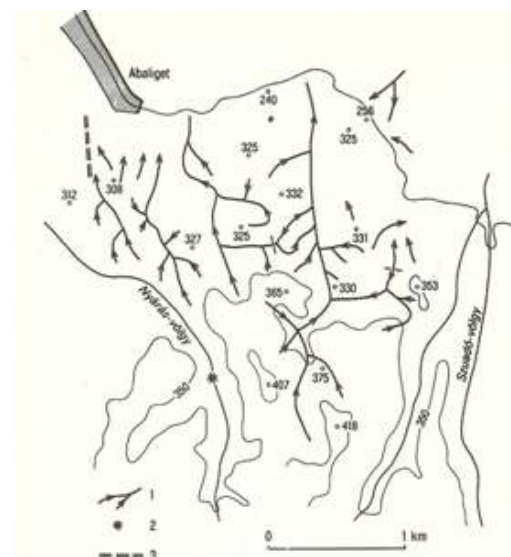
1. A 250-260 méter tengerszint feletti magasságnál alacsonyabban fekvő térszíneken található formák mindössze néhány méteres átmérővel rendelkeznek, valamint a meredek lejtőn sorban helyezkednek el. A karsztterülettől nyugatra az Abaligeti-és a Bükkösi-patak völgyében 250-260 tengerszintfeletti magasságban völgyvállak találhatóak.
2. A fejlettség mértékét tekintve kelet-nyugati irányultság tapasztalható. A keleten lévő dolinasor a legfejlettebb, valamint a leghosszabb.
3. A dolinák többsége észak-déli irányban fejlődött ki (5. ábra). Az észak-déli irány mellett kelet-nyugati mellékirányok is tapasztalhatóak. A 4. és 5. ábrát összehasonlítva látható, hogy a dolinasorok iránya szoros összefüggésben áll a Nyugat-mecseki karsztot erősen szabdaló törésvonalak irányával. Mint az a 4. ábrán látható, a legmarkánsabb törésvonalak északnyugat-délkelet, északkelet-délnyugat, valamint észak-déli irányúak. Az első két csoportba tartozó szerkezeti vonalak idősebb törésrendszerek felújulásai, melyek utolsó jelentős mozgásai a pannon végén illetve a pleisztocén elején voltak (Lovász Gy. - Wein Gy. 1974).



Jelmagyarázat:

1- morfológiailag kimutatható jelentős szerkezeti vonal, 2- karsztmorfológiai jelentőségű szerkezeti vonal, 3-dolinamező, 4- vasút

4. ábra. Az Abaligeti-karszt szerkezeti térképe (Lovász Gy. 1971)



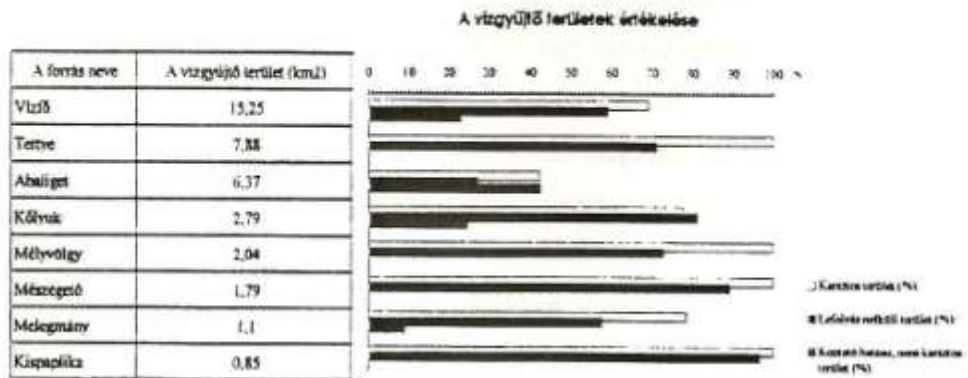
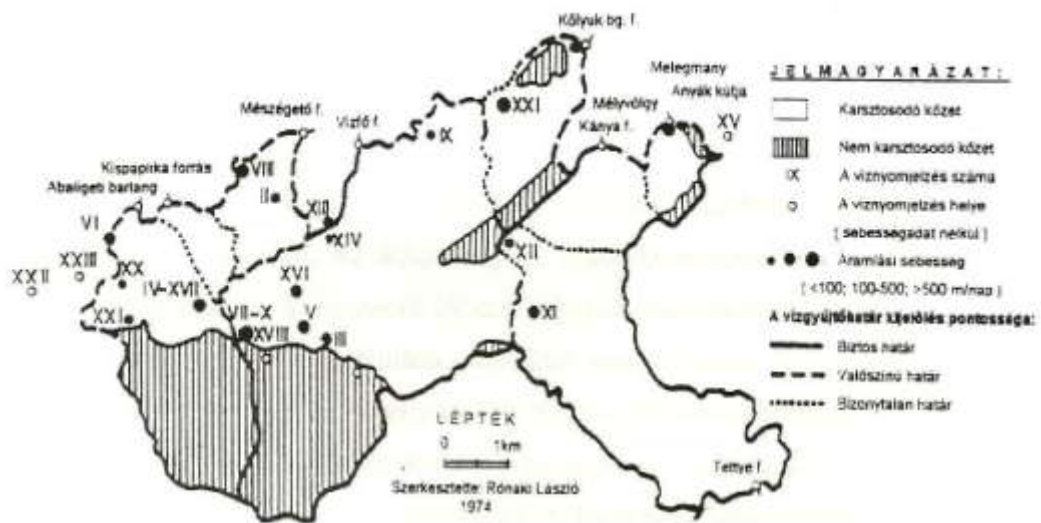
Jelmagyarázat:

1- dolinasor lejtésének iránya, 2- víznyelő a Nyárás-völgyben, 3- az Abaligeti-balang csapásiránya

5. ábra. Az Abaligeti-karszt dolinasorai (Lovász Gy. 1971)

2.3.1 A vízgyűjtőterületek elhatárolása

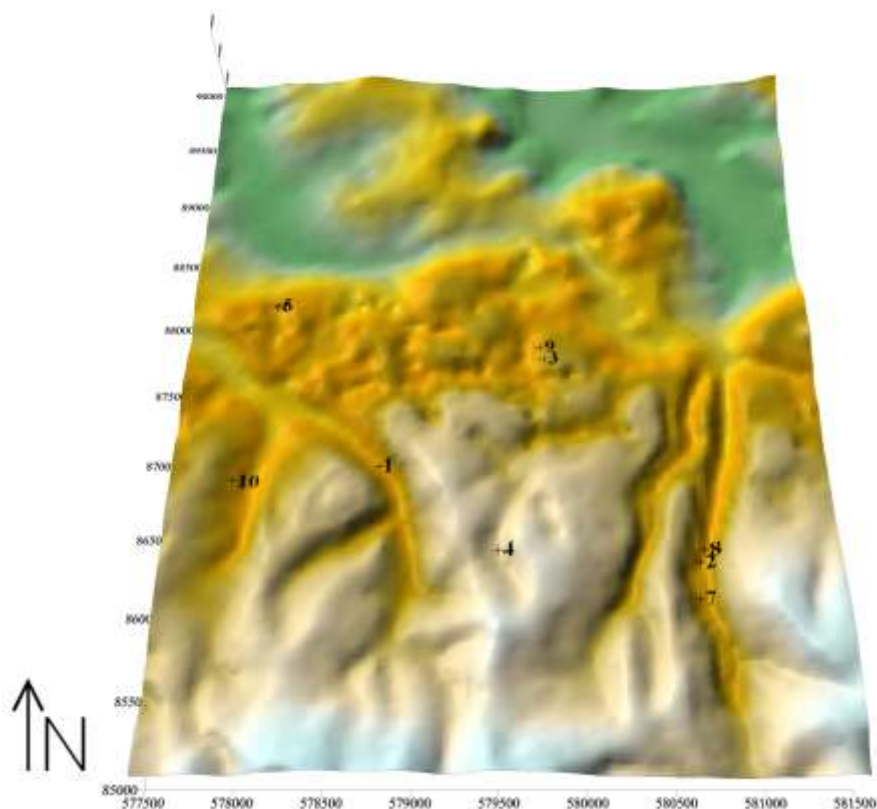
A vízgyűjtő területek lehatárolása hidrológiai és morfológiai szempontok alapján történt. A területen számos vízfestéses vizsgálat történt Rónaki László vezetésével. A 6. ábrán tanulmányozhatók a vízgyűjtőterületek határai. A szaggatott vonallal jelzett részeken a vízváltakók nem húzhatóak meg egyértelműen, mivel a területen a közettani felépítés miatt bifurkációs zóna húzódik. A *Pietró*- és *Tüskés-barlangok* ebben a bifurkációs zónában találhatók.



6. ábra. A Nyugat-mecseki nagy karsztforrások vízgyűjtő területeinek lehatárolása (Rónaki L. 1997)

Mind a *Vizfő-forrás* mind az *Abaligeti-barlang* vízgyűjtő területe túlnyúlik a Lovász György által definiált Abaligeti-karszt területén. Az *Abaligeti-barlang* vízgyűjtő területe mintegy 6,37 km²-re tehető (Rónaki L. 1997). A *Vizfő-forrás* vízgyűjtő területe 15,59 km² amelyből 4,8 km²-en, azaz a terület 30,9%-án nem karsztosodó kőzet található.

A dolgozat szempontjából fontos Szuadó-völgyhöz 3,22 km² nem karsztosodó vízgyűjtő tartozik. (Rónaki L. 1966). *Abaligeti-barlang* vízgyűjtő területén is igen magas a nem karsztos kőzetek aránya (6. ábra). A felszíni vízfolyások kavicsbordalékának jelentős része a Jakabhegyi Homokkő Formáció kőzetének mállásából származik. A *Kispaplika-forrás* vízgyűjtőterülete nem egészen 1 km², míg a *Mészégető-forrás* 1,79 km².



Jelmagyarázat: 1- Aktív-nyelő, 2- Gilisztás-barlang, 3- Pietró-barlang
 4- Sózó-barlang, 5- Szajha-barlang, 6-Szajhafölső-
 víznyelőbarlang, 7- Szuadó-barlang, 8- Trió-barlang,
 9- Tüskés-barlang, 10- Vadetetős-barlang

7. ábra. A vizsgált barlangok bejáratának területi elhelyezkedése (Bíró L nyomán)

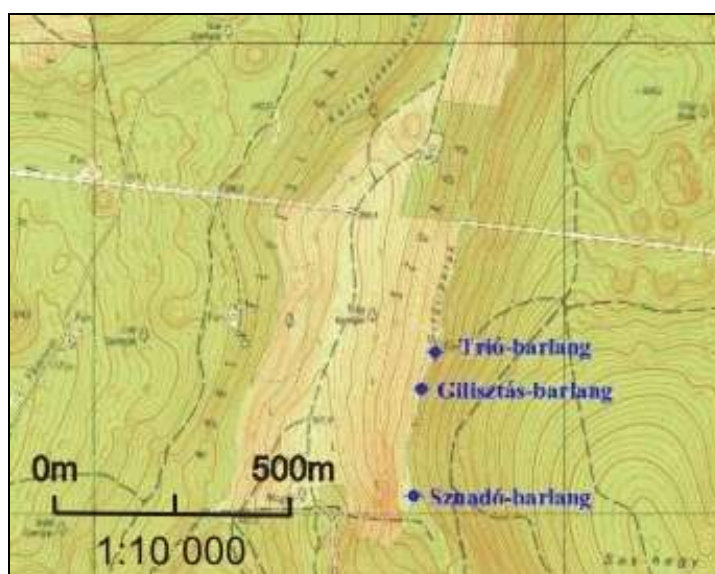
A 7. ábra a barlangok kutatási területen való elhelyezkedését mutatja be⁴. Morfológiai szempontból az *Aktív (Nyárás)–nyelő* aktív vízfolyással rendelkező, völgytalpi nyelő, a *Vadetetős-barlang* hegyoldali bejáratú. A *Szajha-barlang* két bejárata szintén

⁴ Az ábrán 10 barlangi bejárat látható. Az 5 számmal jelzett Szajha-barlang és a 6 számú Szajhafölső-barlang ugyanannak a barlangnak a két, egymástól kb. m távolságra található nyelője. Az ábrán azért tüntettem fel mindkét bejáratot, mert a bejáratok zóna légköri sajátságai a két bejáratból eredeztethető.

hegyoldali helyzetben, egy dolina aljában és oldalában található, míg a *Tüskés- és Piétró-barlangok* hegytetei bejáráttal rendelkeznek. A Szuadó-völgy barlangjai elhelyezkedésüket tekintve mind olyan völgytalpi barlangok, amelyek aktív vízfolyással rendelkeznek. Saját méréseimet az itt található *Trió-*, *Gilisztás-* és *Szuadó-barlangok*ban végeztem. A *Szó-nyelő* egy mára már szárazzá vált töbör oldalában helyezkedik el, néhány méterre a völgytalptól.

2.3.2 A Szuadó-völgy barlangjai

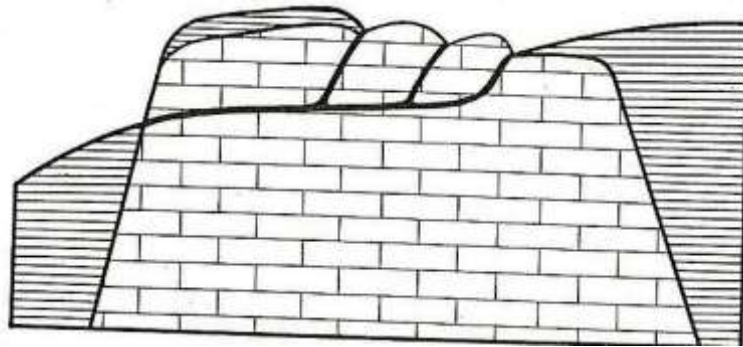
A Vízfő-forrás vízgyűjtőterületén az észak-dél irányú Szuadó-völgy rendelkezik a legnagyobb nem karsztos vízgyűjtővel, melynek kiterjedése 3,22 km². A völgyben három nyelő található. Észak felől az első a *Trió-barlang*, majd tőle 100 méterre, délre található a *Gilisztás-barlang*. A *Gilisztás-barlang*tól további 250 méterre, déli irányban helyezkedik el a *Szuadó-barlang* (8. ábra). A három nyelő feltárt járatainak összhosszúsága alig haladja meg a 730 m-t.



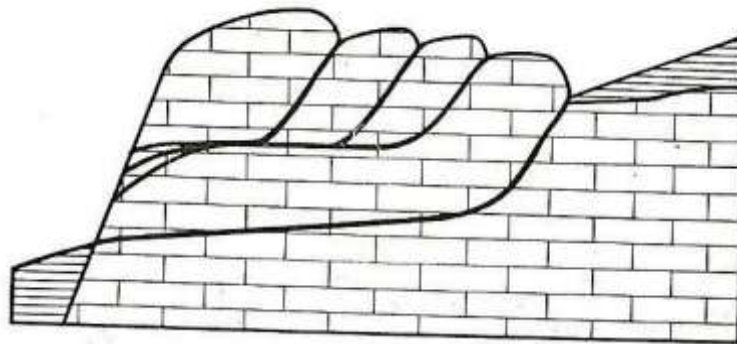
8. ábra. A nyelők elhelyezkedése a Szuadó-völgyben

A *Trió-* és a *Gilisztás-barlang* homogén kőzetben (Lapisi Mészke Formáció) alakult ki, míg a *Szuadó-barlang* a Viganvári Mészke Tagozat és a Rókahegyi Dolomit Formáció határán keletkezett. Az Orfűi patak többszörös batükaptúrájának következményeként alakultak ki a Szuadó-völgy nyelői (Kopasz I. 2003). Jakucs László (1971) szerint a még aktív vízfolyással rendelkező epigenetikus mészkővölgyekben a

batükaptúra jelensége többször megismétlődhet (9. ábra). A mélységi lefejeződés hátrafelé, a vízgyűjtő terület irányába történik. Abban az esetben, ha a hegység oly mértékben kiemelkedik, hogy a barlangi patakmeder ezt az emelkedést folyamatos mélyebbre vágódásával nem tudja követni, akkor egy mélyebb barlangi emelet kialakulása is előfordulhat (10. ábra). Ilyenkor az újonnan kialakult, fiatal nyelők a mélyebben fekvő barlanggal, a régi, völgyben előrébb elhelyezkedő nyelők pedig a felső barlanggal vannak hidrológiai kapcsolatban.



9. ábra. Epigenetikus mészkővölgyben hátravágódó többszakaszos batükaptúra szelvénybeli tükröződése (Jakucs L. 1971)



10. ábra. Emeletes B karsztvízszint értelmezése többlépcsős batükaptúrával a karszterózióbázis nagymértékű süllyedésének esetében (Jakucs L. 1971)

A kutatások jelenlegi állása szerint a barlangok kialakulásakor a Szuadó-völgyben nem fejlődött ki több emeletes barlangrendszer. 50-55 méteres mélységben mindhárom barlang esetében elérkezünk egy olyan alsó barlangi járatszakaszhoz, ahol a járatok vízszintessé válnak. A *Szuadó-barlang* esetében sikerült bejutnunk az aktív patakos ágba, a barlang jelenlegi végpontját egy szifon képezi. A *Trió-barlang* esetében a *Vizes-ági* végponton a továbbjutást egy omladékos zóna gátolja, míg az *Agyagos-ág* végét egy

agyagdugó jelenti. A *Gilisztás-barlang* végpontján szálkő szűkület van, 10 cm széles, 15-20 cm magas hasadékkal. A továbbjutáshoz a járatszelvény tágítására, és egy nagy kő eltávolítására van szükség.

3. Vizsgálati eredmények

Az adatsorok elemzése során elsődleges célom az egyes barlangokra, illetve barlangtípusokra vonatkozó légkörzési törvényszerűségek és sajátosságok leírása, valamint ezek lehetséges okainak feltárása volt. A légkörzési jellemzők analizálásával az egyes barlangok egymással való kapcsolatának lehetőségeire is szeretnék rámutatni.

3.2 Völgytalpi helyzetű barlangok

A völgytalpi helyzetű barlangok közé az *Aktív-nyelő*, valamint a *Trió*-, *Gilisztás*-, *Szuadó*- és *Sózó*-barlangok tartoznak. Mind az öt barlang a víznyelőbarlangok típusába sorolható.

Barlang neve	Vízgyűjtő-területhez való tartozás	Bejárat magassága (m)	Barlang mélysége (m)	Barlang hossza (m)	Detektor helyzete	Barlang jellege	²²² Rn koncentráció alakulása
Aktív-nyelő	Abaligeti	291,64	18	35	bejárat zóna	víznyelő barlang	nyári maximum / téli minimum
Gilisztás-nyelő	Vízfő	301,40	51	133	Csipkés-akna teteje	víznyelő barlang	nyári maximum / téli minimum
Sózó-nyelő	Vízfő	401,96	17	25	bejárat (7 m mélyen)	víznyelő barlang	nyári maximum / téli minimum
Szuadó-barlang	Vízfő	307,70	52	345	bejárat zóna és Sáraforrás	víznyelő barlang	téli maximum / nyári minimum
Trió-barlang	Vízfő	294,78	55	255	Őrszemterem és Agyagos végpont	víznyelő barlang	nyári maximum / téli minimum

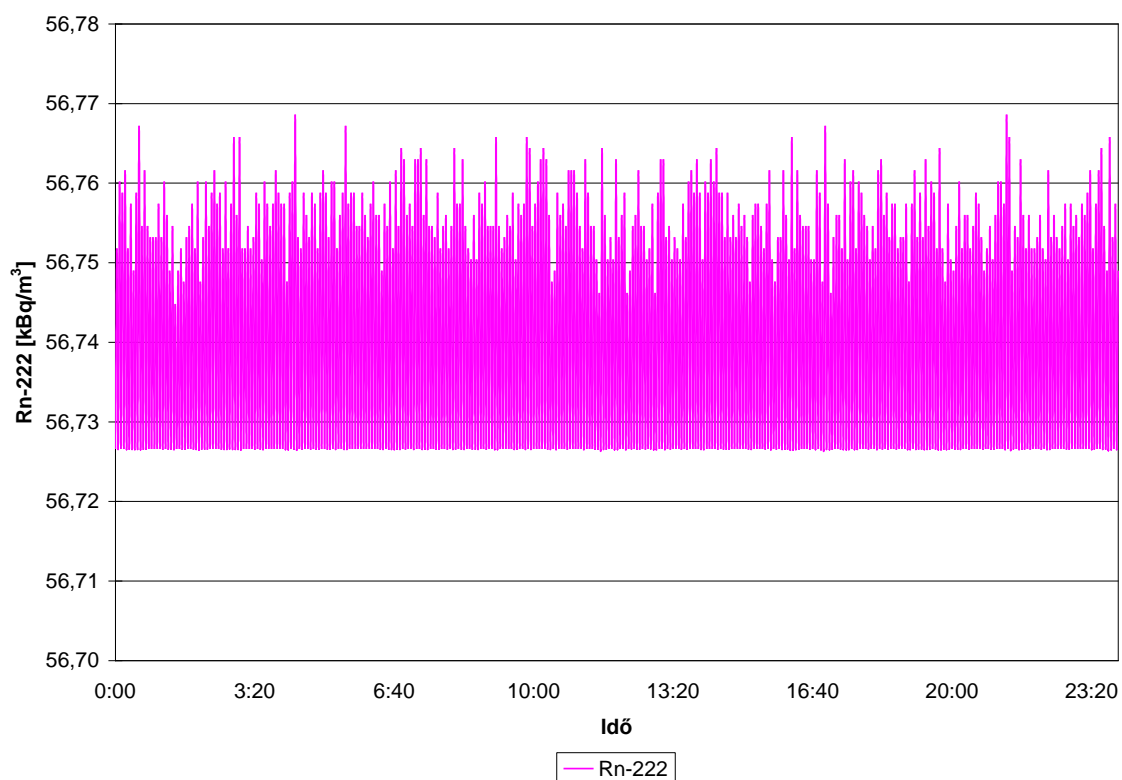
1. táblázat. Völgytalpi helyzetű barlangok

Az 1. táblázat a völgytalpi helyzetű barlangok legfontosabb adatait mutatja be. A *Sózó-barlang* kivételével a barlangok bejárat magasságukat tekintve szignifikánsan nem térnek el egymástól. A hossz-és mélység paramétereket vizsgálva megállapítható, hogy a *Szuadó*- és *Trió-barlangok* állnak legközelebb egymáshoz, valamint a *Gilisztás-barlang* és *Aktív-nyelő* esetében a barlang hosszúságának és mélységének aránya 0,5 körüli értéket ad, a *Sózó* esetében ez az érték 0,7.

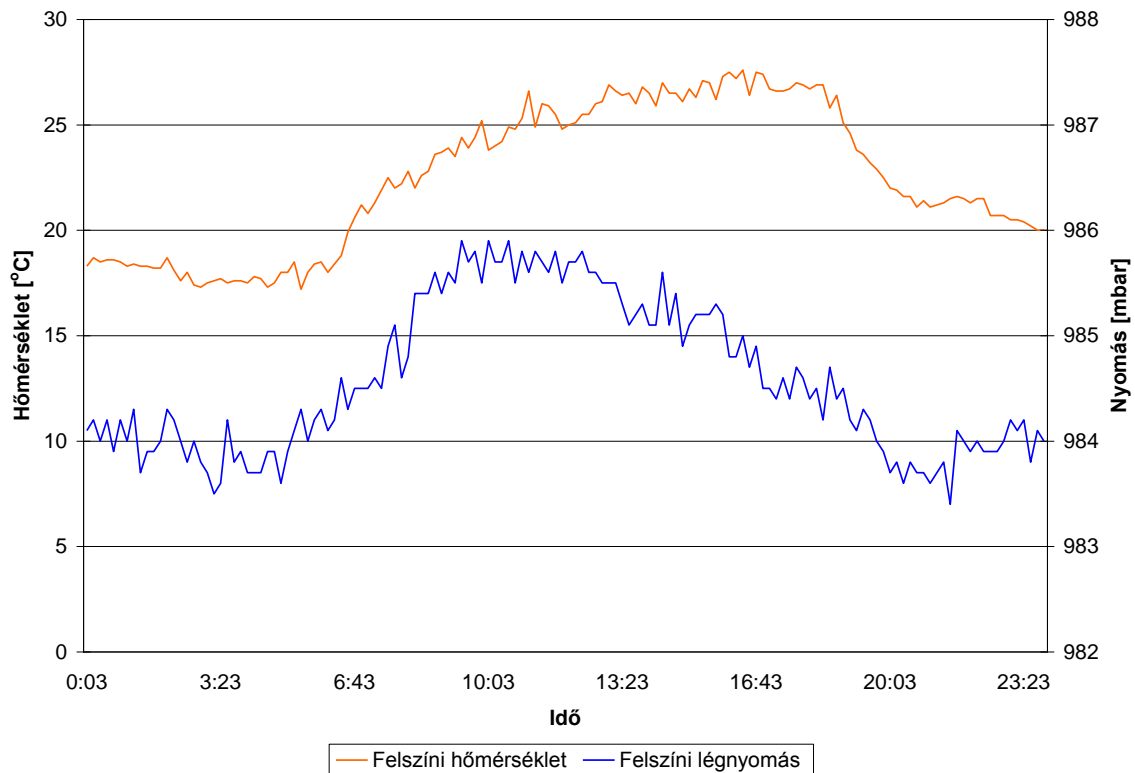
3.2.1 A Trió-barlang

A szuadó-völgyi radon vizsgálatok a *Trió-barlangban* kezdődtek egy egyhetes mérésrel 2006. július 14-én. A detektor az *Őrszem-terembe* lett letelepítve, és kétpercenkénti adatrögzítésre lett beállítva. Az *Őrszem-terem* a *Vizes-ág* utolsó nagy terme, innen indul a végpontba vezető rövid járatrész (3. melléklet). A teremben vastag agyagtakaró található.

Az egyhetes mérés során szignifikáns változás nem mutatkozott az adatsorban. Az adatok átlagértéke $56,74 \text{ kBq/m}^3$ volt, a mérési periódus folyamán a radon koncentráció nem csökkent $56,7 \text{ kBq/m}^3$ alá, valamint nem haladta meg az $56,8 \text{ kBq/m}^3$ -es értéket. A felszíni hőmérséklet nem csökkent 10°C alá az egy hét alatt, így a barlangi légmozgás irányai változatlanok voltak (11. ábra).



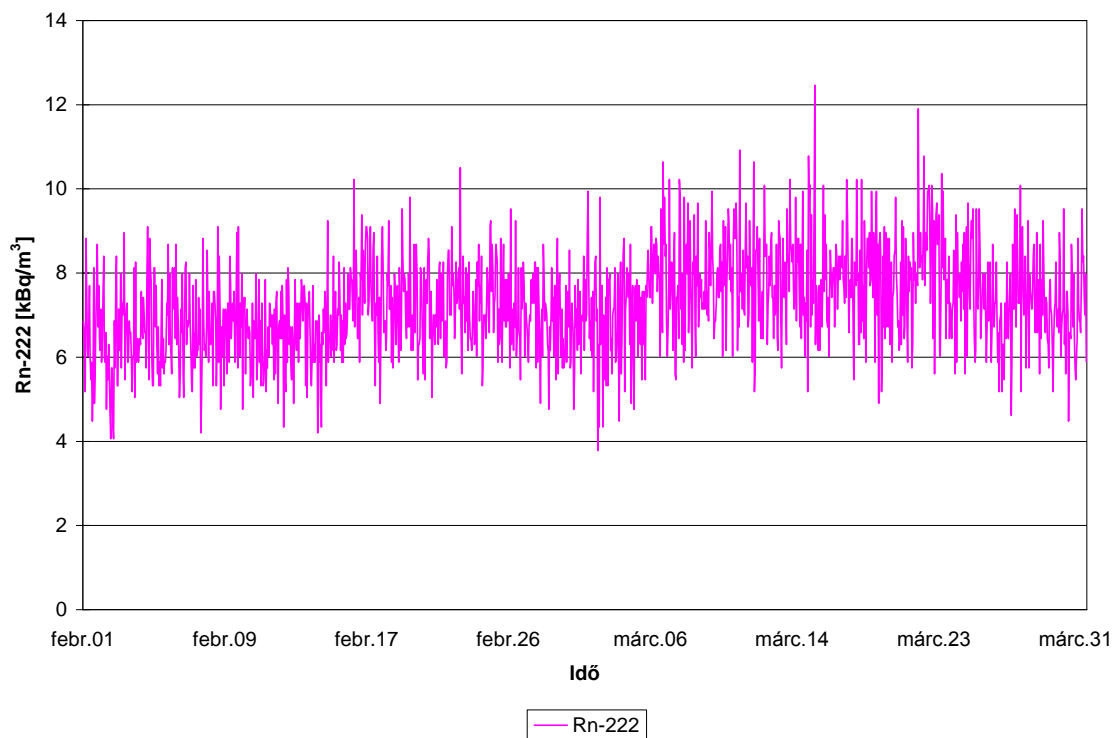
11. ábra. A Trió-barlang Őrszem-termében mért radonkoncentráció, 2006.



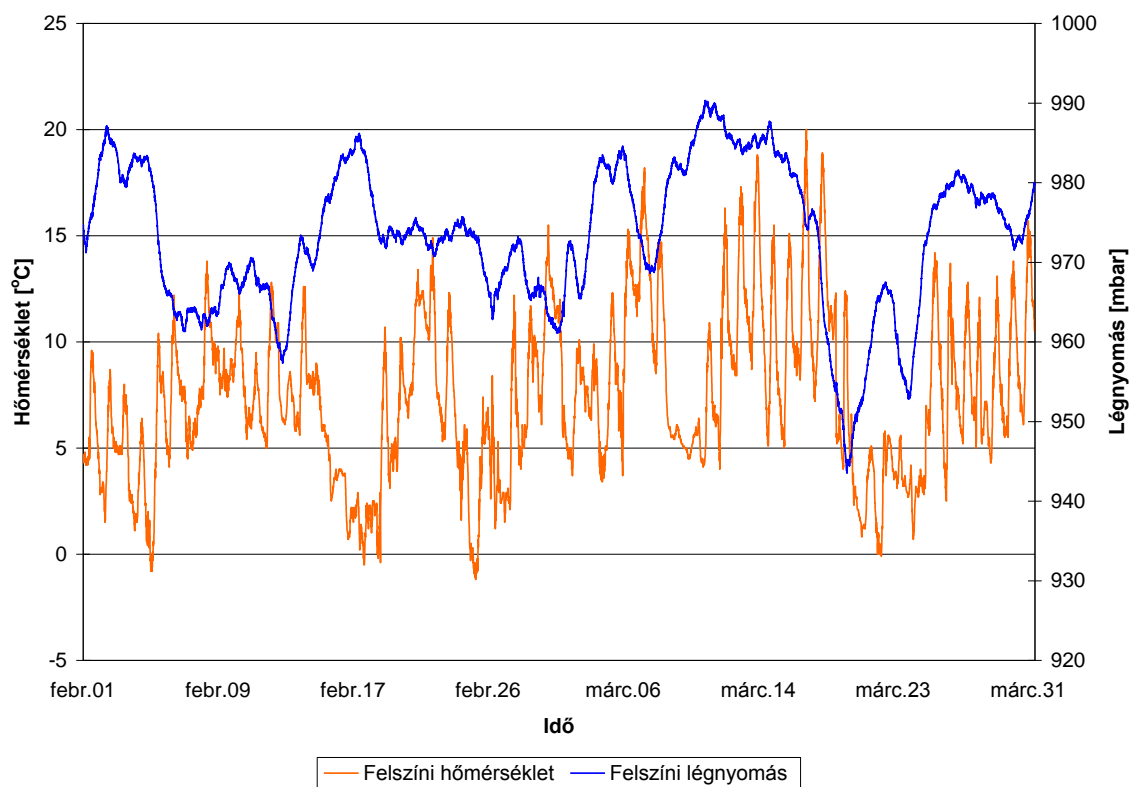
12. ábra. A hőmérsékleti és légnyomásviszonyok alakulása a felszínen, Mecsek, 2006.

A 11. ábrát tanulmányozva megállapítható, hogy a terem radonszintje változatlan, mindössze 3-4 Bq-es változások tapasztalhatóak. A 11. és 12. ábrát összevetve elmondható, hogy a radonszintnek ez a csekély ingadozása nem köthető a felszíni légnyomás és hőmérséklet viszonyok változásához, inkább a radonkoncentráció természetes napi menetét prezentálja. Az Őrszem-terem elég mélyen és elég távol van a bejáratától ahhoz, hogy kiegyenlített felszíni hőmérsékleti és légnyomás viszonyok mellett a radonkoncentrációja változatlan maradjon.

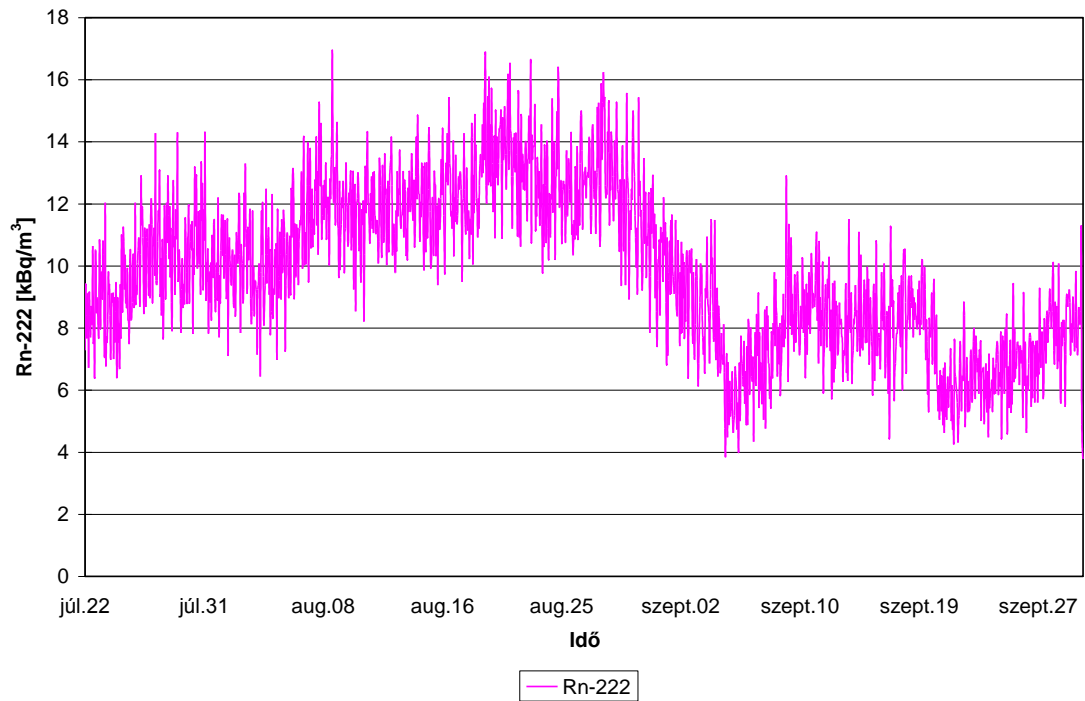
A következő mérés a barlang másik, *agyagos-ági* végpontjának közelében történt. A mérés téli, tavasz eleji periódust ölel fel, a letelepítést 2006. december. 15-én végeztem, a kitelepítésre pedig pontosan 5 hónappal később került sor. Az *Agyagos-ág* utolsó terme a végponttól körülbelül 6 méterre található. A mérési időszak egy nagyon enyhe telet és tavaszt foglalt magába, a felszíni hőmérséklet általában 0°C fölötti volt, többször meghaladta a 10°C -ot. A radonkoncentráció alacsony volt, átlagosan 7,06 kBq/m³. A 13. ábrán látható tüskék késéssel ugyan, de követték a felszíni hőmérséklet változásait. Növekedés akkor volt tapasztalható, amikor a kinti hőmérséklet meghaladta a 10°C-ot (14. ábra).



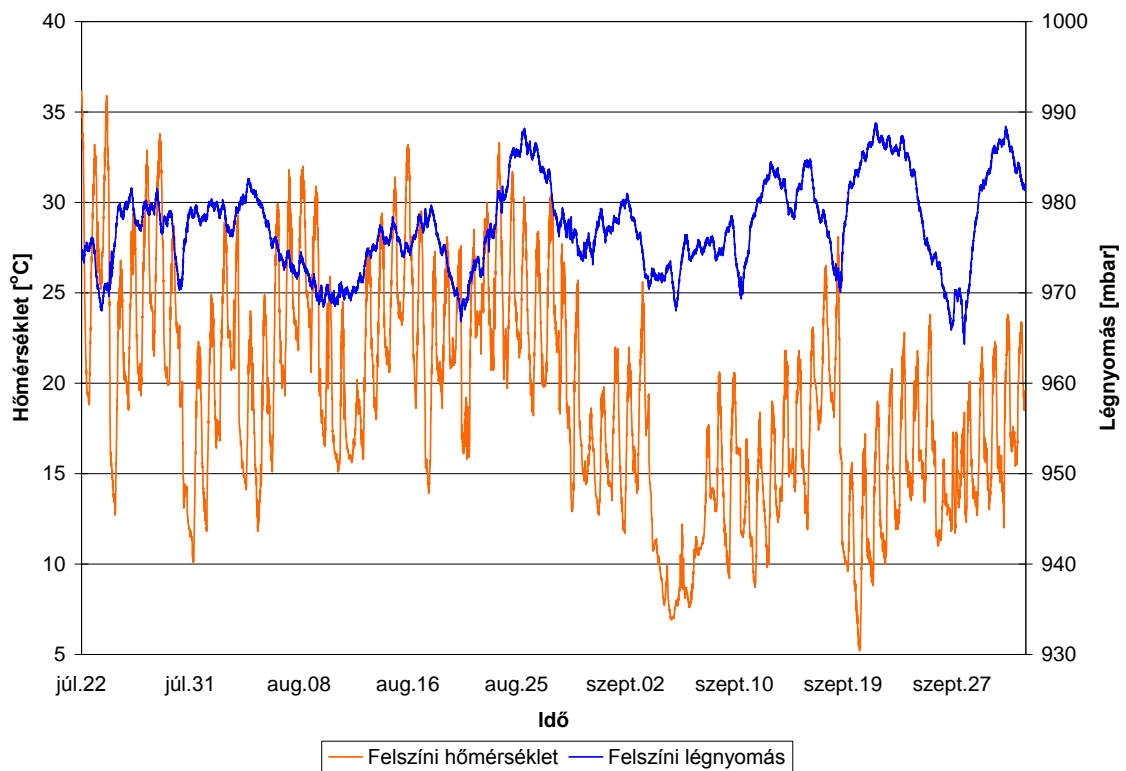
13. ábra. Trió-barlang Agyagos-ágában mért radonkoncentráció, 2007.



14. ábra. A felszíni hőmérséklet és légnyomás alakulása, Mecsek, 2007.



15. ábra. Trió-barlang Őrszem-termében mért radonkoncentráció, 2007



16. ábra. Légnyomás és hőmérséklet viszonyok alakulás, Mecsek, 2007.

Az agyagos-ági mérések után 2007 nyarán ismét az *Őrszem-terem* falára helyeztem fel a detektort. A mérés meleg időszakra esett, még szeptemberben sem esett a felszíni hőmérséklet tartósan 10°C alá. Ha összehasonlítjuk a felszíni légnyomás és hőmérséklet viszonyokat (16. ábra) a radon adatokkal (15. ábra), láthatjuk, hogy szeptembertől kezdődően a radon adatok változása markánsan követi a felszíni hőmérsékleti viszonyok alakulását. Érdekes azonban, hogy a két egymást követő évben a nyári időszak folyamán egymástól igen eltérő radon koncentrációt detektált a mérőműszer. A közel 40kBq-es eltérésre az adatsorok elemzése folyamán nem találtam magyarázatot. Lehetséges, hogy műszerhiba történt.



1. kép. A detektor elhelyezése az *Őrszem-teremben*, 2007.

A nyári időszak folyamán (15. ábra) detektált radon értékek magasabbak a téli időszakban (13. ábra) rögzítetteknél, így a *Trió-barlang*ot nyári maximum és téli minimum jellemzi, ami azt jelenti, hogy a *Trió-barlang* alsó bejáratú barlangként viselkedik. Mindkét méréssorozat a bejáratától távoli, mély, végpont közeli helyen történt. Az ábrákat tekintve látható, hogy erőteljes légmozgásról, huzatról egyik esetben sem beszélhetünk. Mindkét végponti teremre lassú légcserre jellemző. A légtérnek ezen erőteljes zártsága a kutató műszakok folyamán is érezhető, a végponti munkálatoknál szükség van a barlang levegőztetésére, mert néhány óra alatt érezhetően nő a végponti járatok széndioxid tartalma.

A huzat hiánya és a radonszint állandósága miatt a végpontoknál nem lehet könnyen átbontható tágas járatokra számítani. Az agyagdugó, valamint az omladékos agyagos kitöltés mindkét esetben megakadályozza a további járatokkal való légtéri kommunikációt.

3.2.2 A *Gilisztás-barlang*

A *Gilisztás-barlang* kutatásának jelentős eseménye volt a Szegedi Karszt- és Barlangkutató Egyesület által 2007-ben szervezett nyári kutatótábor. Több hetes intenzív bontás után sikerült bejutnunk egy addig még ismeretlen járatrészbe, amelynek a végét két aknából álló aknasor jelentette.

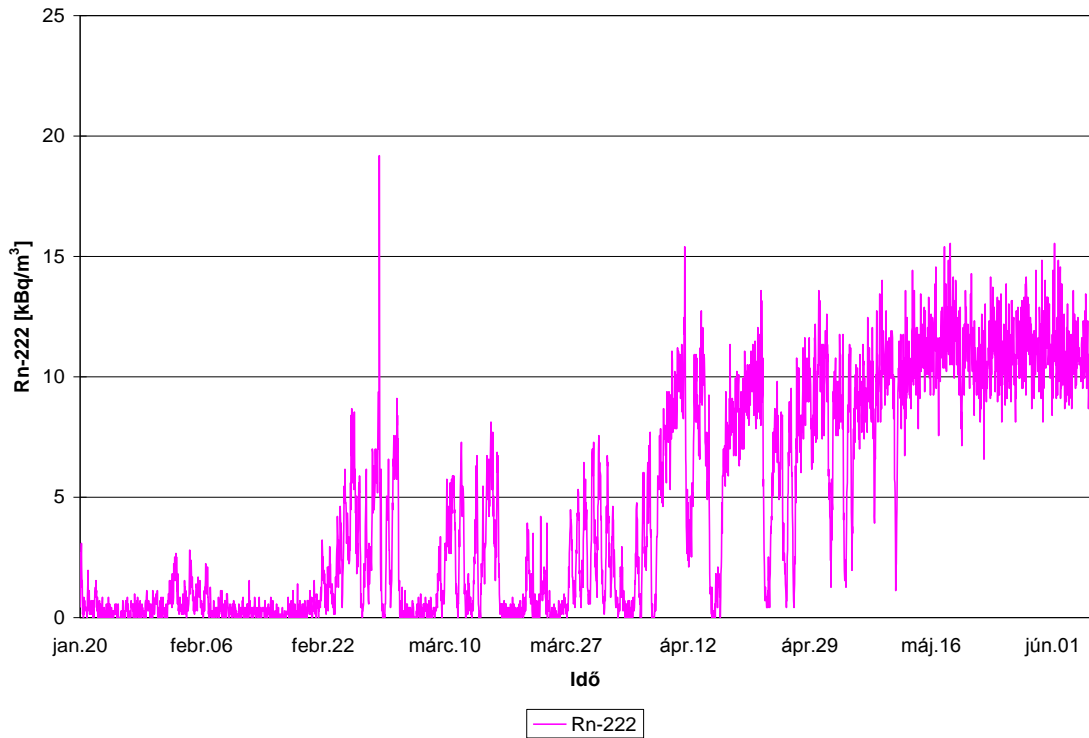
A radon adatok rögzítését 2008 januárjában kezdtem el a *Csipkés-akna* tetején.⁵ A mérési időszak a tél végétől egészen a nyár elejéig tartott, így a barlangok radon koncentrációjának esetében általában stabil téli és nyári időszakon felül az ingadozó tavaszi időszak adatait is rögzítettük.

A radonkoncentráció alakulását (*17. ábra*) a felszíni légnyomás- és hőmérséklet viszonyok (*18. ábra*) determinálják a *Gilisztás-barlang* esetében. A barlangot télen befelé, a nyári időszakban pedig kifelé irányuló légmozgás jellemzi, azaz a barlang bejárata alsó helyzetű bejáratként funkcionál. A diagrammokon akár a napi huzatirányváltás is tanulmányozható: 2008. február 2-án a kinti hőmérséklet meghaladta a 10°C-ot, amit nyomban a radon értékek növekedése követett. A téli hónapok folyamán a radonkoncentráció tartósan alacsony, csak csekély ingadozások figyelhetők meg. A tavaszi időszakban az ingadozások amplitúdója sokkal nagyobb, általában 6-7 kBq/m³-es. Április 10-től kezdődően a radonszint tartósan emelkedik, majd május közepén beáll a nyári 10-12 kBq/m³-es értékre. Ekkor a felszíni hőmérséklet már éjszaka sem süllyed 10°C alá, így a huzat iránya állandósul.

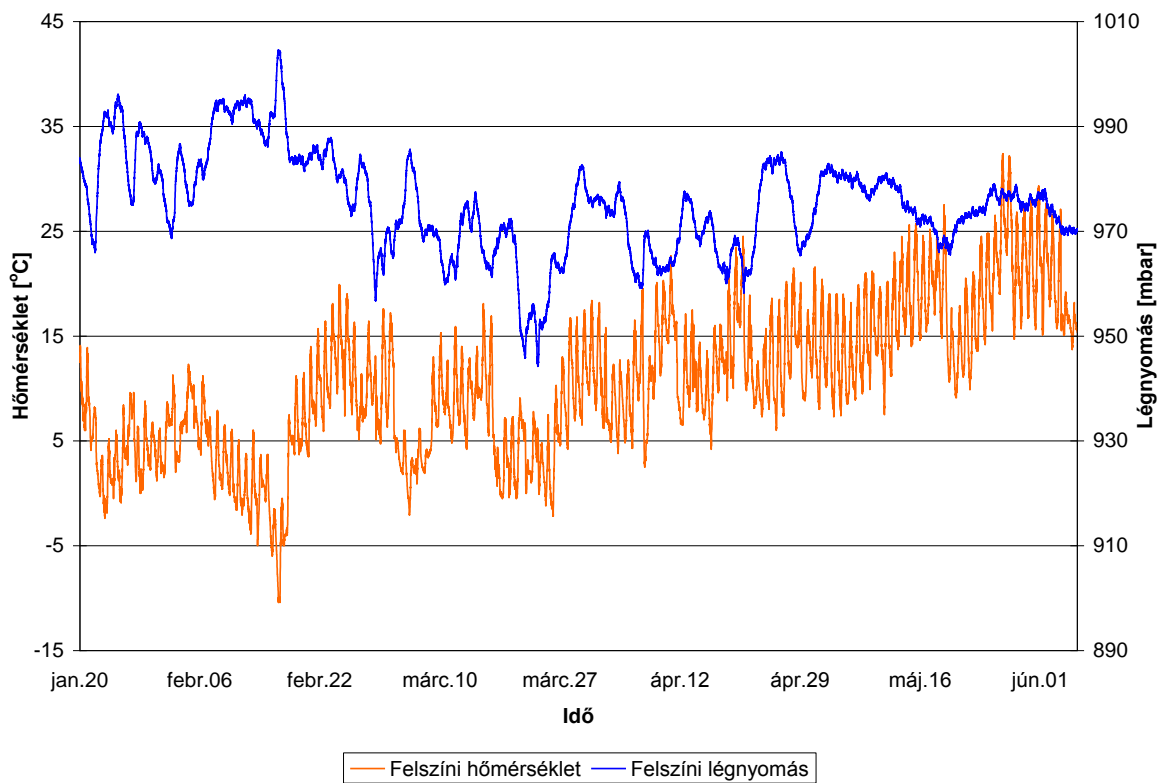
Az adatsorok eredményeivel ellentétben a *Gilisztás-barlang* is a rosszul szellőző barlangok közé tartozik. Hosszabb lent tartózkodás esetén már az aknák tetejénél érezhetően megnő a széndioxid szintje. A látható járatszelvény ellenére a végponton sem érezhető huzat, holott a *Csipkés-akna* tetején mért adatok dinamikus légmozgásról tanúskodnak. A felső járatrészekben a huzat érezhető, aminek az oka abban rejlik, hogy a

⁵ A *Gilisztás-barlang*gal egy időben a *Szuadó-barlang* bejárati zónájában is folytattunk méréseket, amelyekről a későbbiekben lesz szó.

Levi-kürtőn, illetve az eredeti nyelőn keresztül a barlang intenzíven kommunikálhat a felszínnel.



17. ábra. A Gilisztás-barlang Csipkés-aknájánál mért radonkoncentráció, 2008.



18. ábra. A felszíni hőmérsékleti és nyomásviszonyok alakulása, Mecsek, 2008.

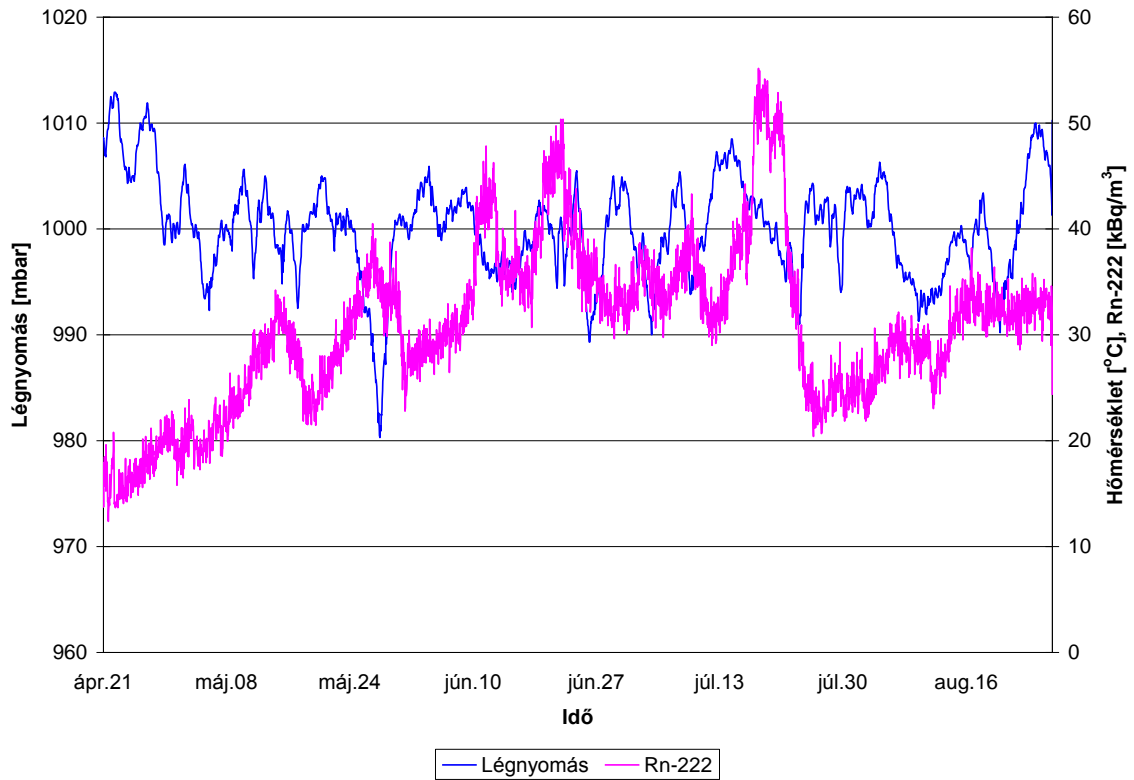
3.2.3 A Szuadó-barlang

A Szuadó-barlang első mérése 2007. áprilisában kezdődött és négy hónapig tartott. Ekkor a Sára-forrásnál végeztem adatgyűjtéseket. A mérési pont a barlang már második, tágasabb járatrésze elején található (4. melléklet). Sajátossága, hogy egy állandó (körülbelül 5 liter/perc) hozamú barlangi forrás található itt.

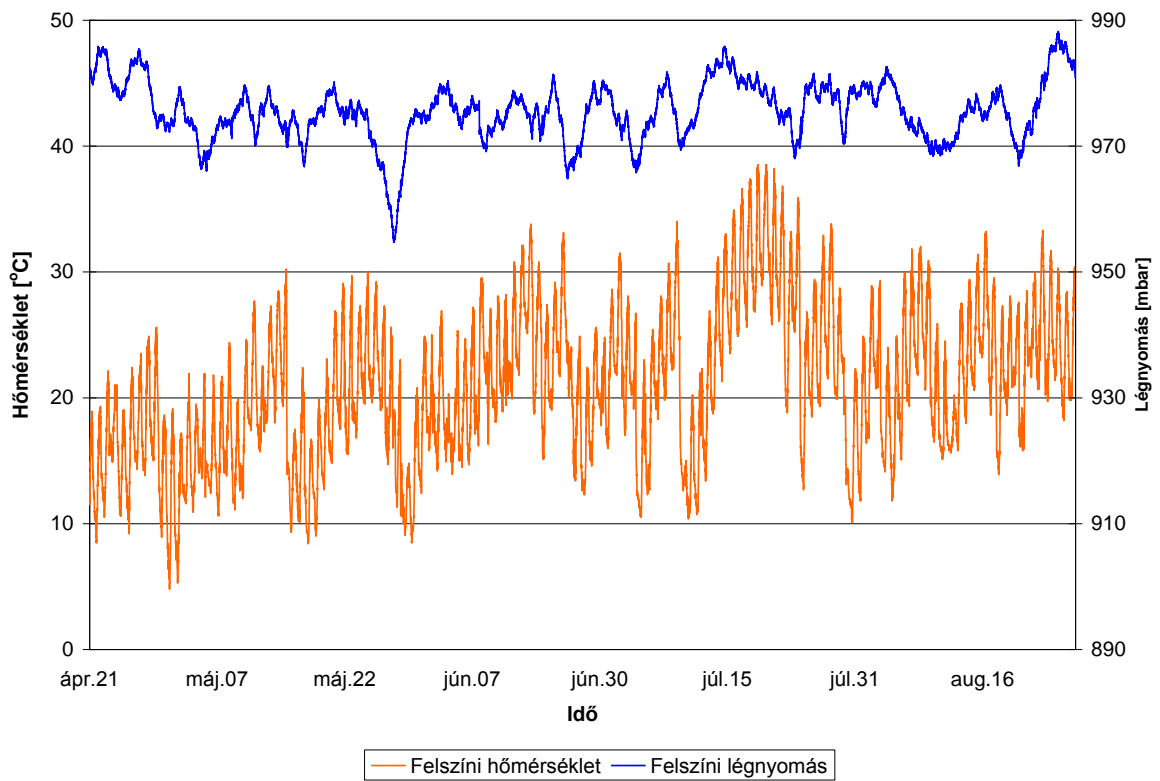
A barlangi légnyomás (19. ábra) nagyon gyorsan követi a felszíni légnyomásváltozásokat (20. ábra). A barlangban mért hőmérsékleti adatokat használhatatlannak tartom, mivel értékük igen magas (átlagosan 18,3 °C). A Sára-forrás a bejáratától túlságosan távol található ahhoz, hogy a felszín alatti hőmérsékletet ennyire befolyásolja a kinti, magasabb hőmérséklet. Továbbá, ha a barlangi levegő hőmérséklete a felszíni levegő hőmérsékletével szoros kapcsolatban állna, akkor a barlangi hőmérsékleti görbe futásának tükröznie kellene a felszíni menetet.

A radon koncentráció a letelepítéstől kezdődően fokozatosan növekszik (19. ábra). A letelepítési 14 kBq/m³-ről egészen 55 kBq/m³-re nő, ami nagyon magas értéknek számít. A mérési időszak során az átlagos koncentráció 30,8 kBq/m³ volt. Ez a magas érték származhat a Nagy-akna felől érkező levegőből, adódhat a Sára-forrás jelenlétéből vagy a kettő együttes hatásából. A Nagy-akna alját 6-8 méteres agyagréteg fedi. Mivel a barlangi radon fő forrása az üledékként felhalmozódott agyag (Dezső Z.- Hakl J.- Molnár L. 2001), az itteni levegő magas radontartalommal rendelkezhet, ugyanakkor a Sára-forrásban megjelenő víz is nagy mennyiségű oldott radont tartalmazhat (Dezső Z.- Hakl J.- Molnár L. 2001), ami a víz kilépésekor gáz formájában a levegőbe kerülhet. Ennek a kérdésnek az eldöntéséhez azonban további levegő és víz vizsgálatokra van szükség.

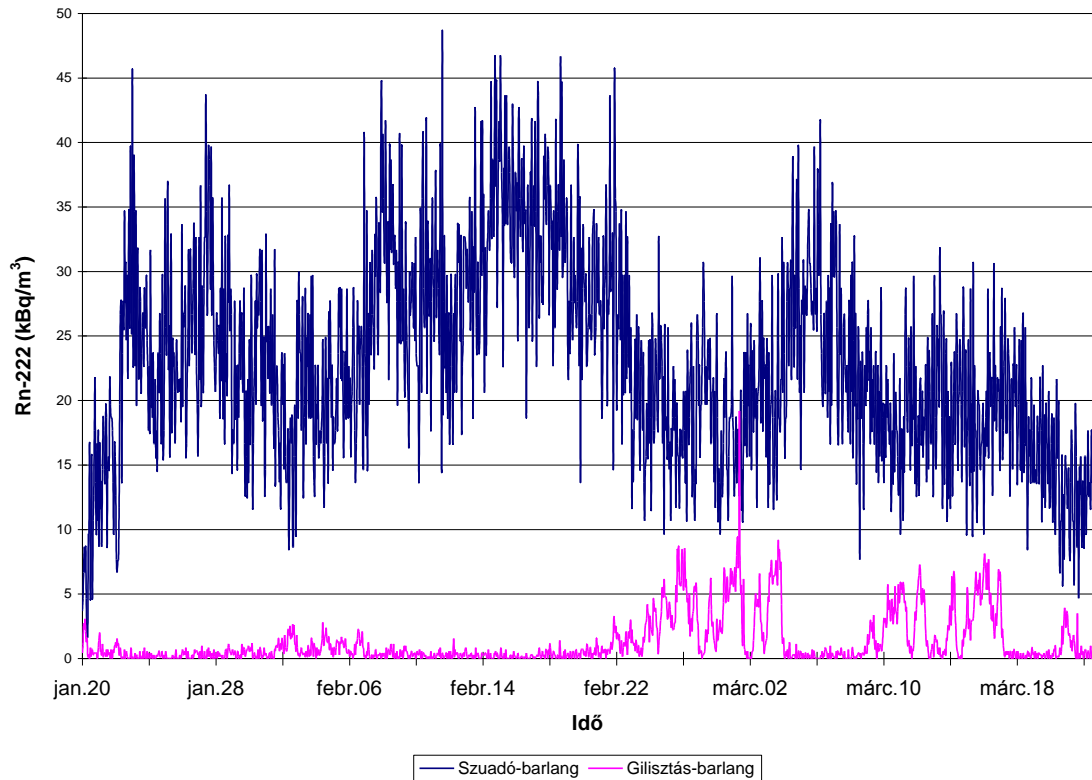
A 19. ábráról leolvasható, hogy a radon koncentrációt ábrázoló diagramm futása nagyon hasonló a felszíni hőmérséklet menetéhez. Július 22-én a radon értékek 30 kBq/m³-t esnek. Mint az a 20. ábrán látható, a felszíni hőmérséklet is csökkenésnek indul, azonban egy ilyen mértékű koncentráció süllyedés nem magyarázható pusztán a felszíni meteorológiai paraméterek változásával. A nyári kutatótáborunk elején beteretük a patakot a Szuadó-barlangba. A radonkoncentráció süllyedésének oka valószínűleg az volt, hogy a felszínről érkező alacsony radon tartalmú víz és levegő felhígította a mérési pont járatszakaszának légterét. A koncentráció csökkenéshez kisebb mértékben továbbá az is hozzájárulhatott, hogy a mérési pont radondús levegőjéből ²²²Rn oldódott a felszínről érkező a vízbe.



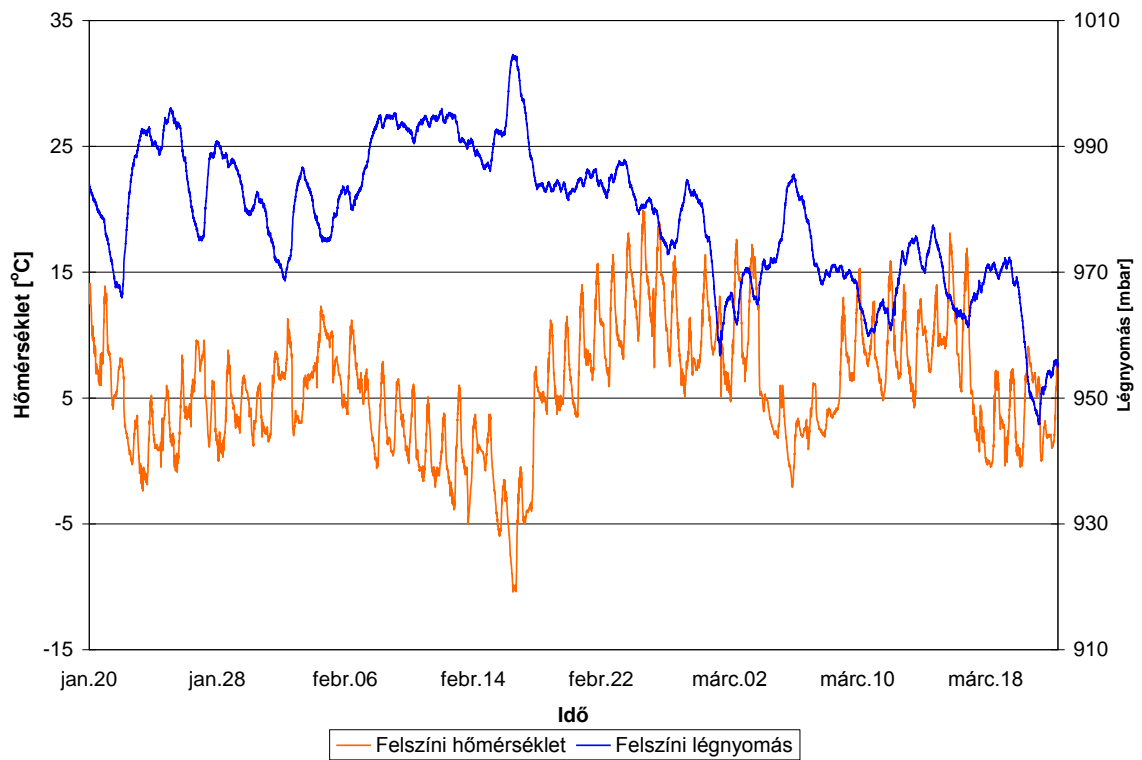
19. ábra. Radonkoncentráció a Sára-forrásnál, 2007



20. ábra. Felszíni légnymás és hőmérséklet alakulása, Mecsek, 2007.



21. ábra. A Szuadó-és Gilisztás-barlangok bejáratában mért radonkoncentráció, 2008



22. ábra. Légnyomás és hőmérséklet alakulása, Mecsek, 2008.

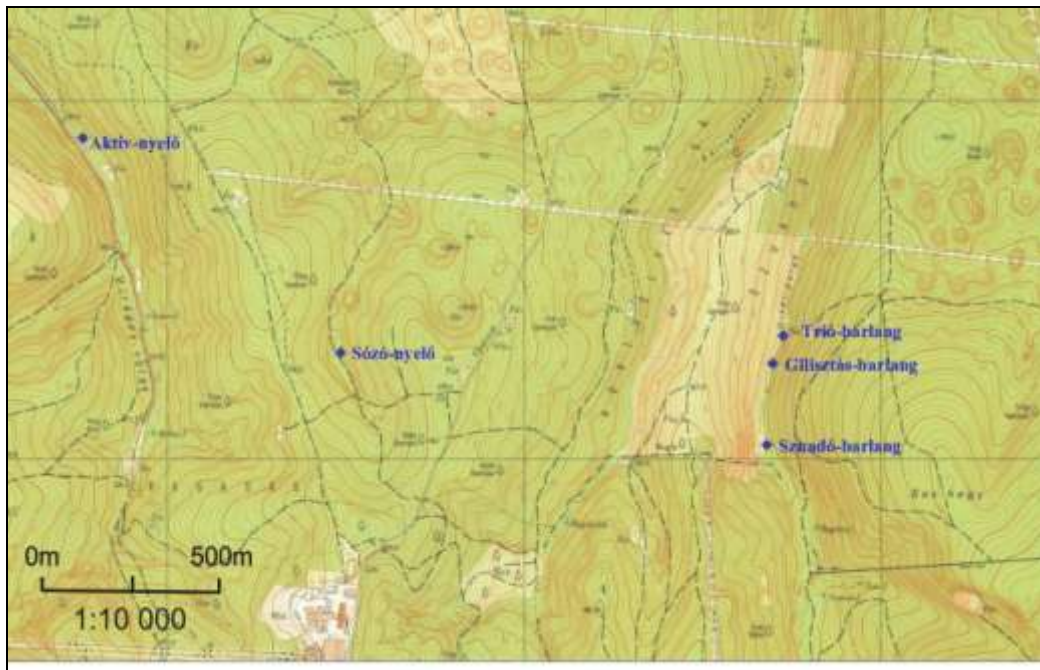
A *Szuadó-barlangban* a második mérés a bejárati zónában történt. A műszert a *Gilisztás-barlangban* lévővel egy napon helyeztük le, a barlangból azonban három hónap után kikerült a műszer. A mérési időszak a téli évszak végét és a tavaszi évszak elejét öleli fel. A radon adatok $1,6 \text{ kBq/m}^3$ és $48,6 \text{ kBq/m}^3$ között változnak, átlagos értékük $23,5 \text{ kBq/m}^3$, ami magasnak tekinthető (21. ábra). A 21. és 22. ábrát összehasonlítva látható, hogy a radon értékek alakulását a felszíni hőmérsékleti viszonyok alapvetően meghatározzák. A mérés kezdetekor a felszíni hőmérséklet 10°C fölött van, a barlangi radonszint alacsony. Január 22-től kezdődően a felszíni hőmérséklet tartósan 10°C alatt marad, a radon adatok azonnal nőni kezdenek. A két ábrán kitűnően tanulmányozható, hogy a mérési pont légterének radon koncentrációja akkor kezd el csökkenni, amikor a felszíni hőmérséklet meghaladja a 10°C -ot.

A bejárati zónában történt mérés alapján a *Szuadó-barlang* a felső bejáratú barlangok közé tartozik, mivel a levegő a barlangból a hideg évszakban, azaz télen kifelé, nyáron pedig befelé áramlik. A 21. ábra mutatja, hogy a *Gilisztás-barlang* pont ellentétesen viselkedik. A *Gilisztás-barlangban* a radonkoncentráció a meleg hőmérséklet beköszöntével kezd el nőni, alsó bejáratú barlanghoz hasonlóan működik. Az ábrát vizsgálva első olvasatra úgy tűnik, hogy lehet kapcsolat a barlangok között, hiszen egy rendszerhez tartoznak, közel találhatóak egymáshoz, és a radonvizsgálatok alapján a légcseréjük egymással ellentétes irányú. Ezt a kapcsolatot azonban feltételesen kell kezelni, hisz mindkét barlangban a mérési pontoknál mélyebben is találunk kisebb kürtöket, oldaljáratokat, amelyek önálló kisebb légkörzéseket generálhatnak. Ezért úgy gondolom, hogy további vizsgálatok szükségesek a hipotézis alátámasztására.

A három barlangról összességében elmondható, hogy a *Trió-* és a *Gilisztás-barlang* a radon monitoring vizsgálatok tekintetében hasonlóan viselkedik. Ezzel szemben a *Szuadó-barlang* e két barlanggal látszólag ellentétesen működik. Az ellentétes viselkedés utalhat a két barlang (*Szuadó* és *Trió* vagy *Szuadó* és *Gilisztás*) egymással való légcserés kapcsolatára, a végpontokon érzékelhető levegőhiány azonban ellentmond ennek. Az ellentétes levegőmozgás elméletileg a két barlang járatainak közvetlen kapcsolatát jelentheti, elméletben azonban a *Trió-* és *Gilisztás-barlangok* hasonló viselkedése közvetett kapcsolatra utal. A lehetséges kapcsolatok kimutatásához további vizsgálatokra van szükség: egy időben kellene méréseket végezni a három barlangban, mindegyikben legalább három ponton. A *Szuadó-völgy* barlangjai szerkezetüket tekintve három részre oszthatóak: egy szűk, repedések mentén húzódó felső zónából, egy jól fejlett járatokkal

rendelkező középső szakaszból, valamint egy utolsó, szűk, karsztvízszinthez közel húzódó járatból. A jövőbeli mérések során háromcsatornás detektorokat szeretnék elhelyezni a fent említett három barlangszakasz típusban.

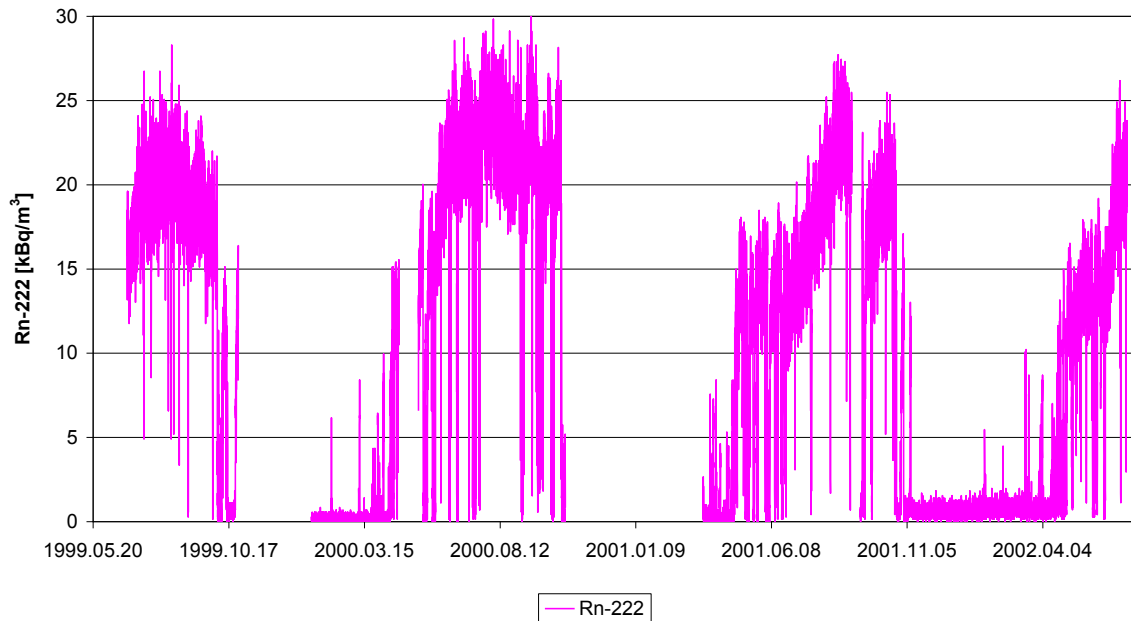
3.2.4 A Sózó-nyelő



23. ábra. Az Aktív - és Sózó-nyelők elhelyezkedése

A barlang bejárata 350 méteres tengerszint feletti magasságban helyezkedik el, egy mára már szárazzá vált völgyszakaszban. A nyelő tizenöt évvel ezelőtt még időszakosan aktív volt, ma már csak a nagyobb áradások idején funkcionál aktív nyelőként. A barlang feltáró kutatásának egy 1995-ben bekövetkezett hatalmas omlás vetett véget, amikor is a barlang szája alatti tér harang alakban beomlott, elnyelve a bejáratot biztosító beton kútgyűrűket és több m³ törmelékkel. A monitoring vizsgálatok 1999 kezdődtek, mert a beomlott bejáratnál erőteljes huzat volt érezhető. A detektor a bejárat omlászónába került.

A három évig tartó mérésorozatot ábrázoló diagramm (24. ábra) mutatja, hogy a barlangokat nyári maximum és téli minimum értékek jellemzik, és a két időszak közötti koncentráció különbség igen nagy. A nyári időszakok átlagértékei 20 kBq/m³-esek, míg télen az értékek 1-2 kBq/m³-esek, enyhe idő esetén azonban elérhetik az 5-6 kBq/m³-t is. A tavaszi és őszi időszakokban a radonszint ingadozása nagyon nagy.

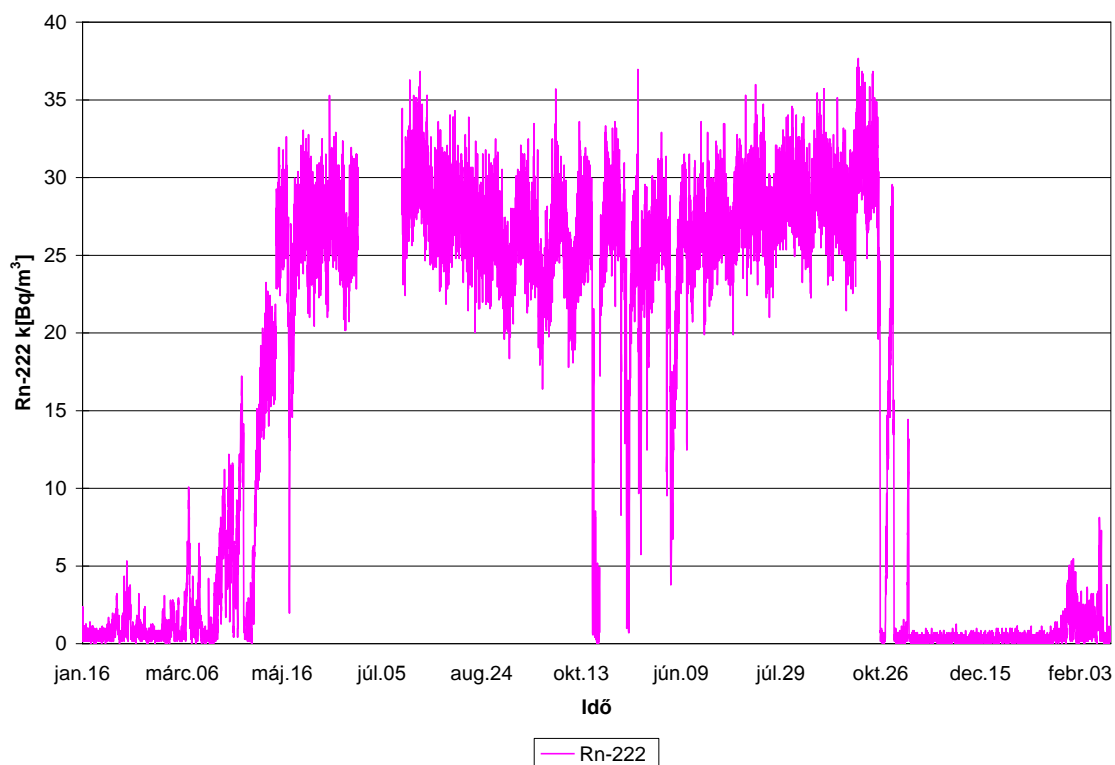


24. ábra. A Sózó-barlang bejáratában mért radonkoncentráció, 1999-2002

A mindenkori légáramlási irányokat a felszíni és barlangi léghőmérsékleti viszonyok határozzák meg. Az erős légcserre ellenére is megmaradó magas radonszint és a felszíni változásokra való gyors reagálás a rendszer nyitottságára és egy nagyobb barlangrendszerrel való kapcsolatára utal.

3.2.5 Az Aktív-nyelő

Az Aktív-nyelő radon adatainak rögzítése 2000 és 2001 között történt (25. ábra). A mérések analizálásakor megállapítható, hogy a nyári időszakok folyamán a radon értékek meglehetősen magasak, 25-35 kBq/m³, míg a tél folyamán csupán 0-5 kBq/m³ között ingadoznak.



25. ábra. Az Aktív-nyelő bejáratában mért radonkoncentráció, 2000-2002

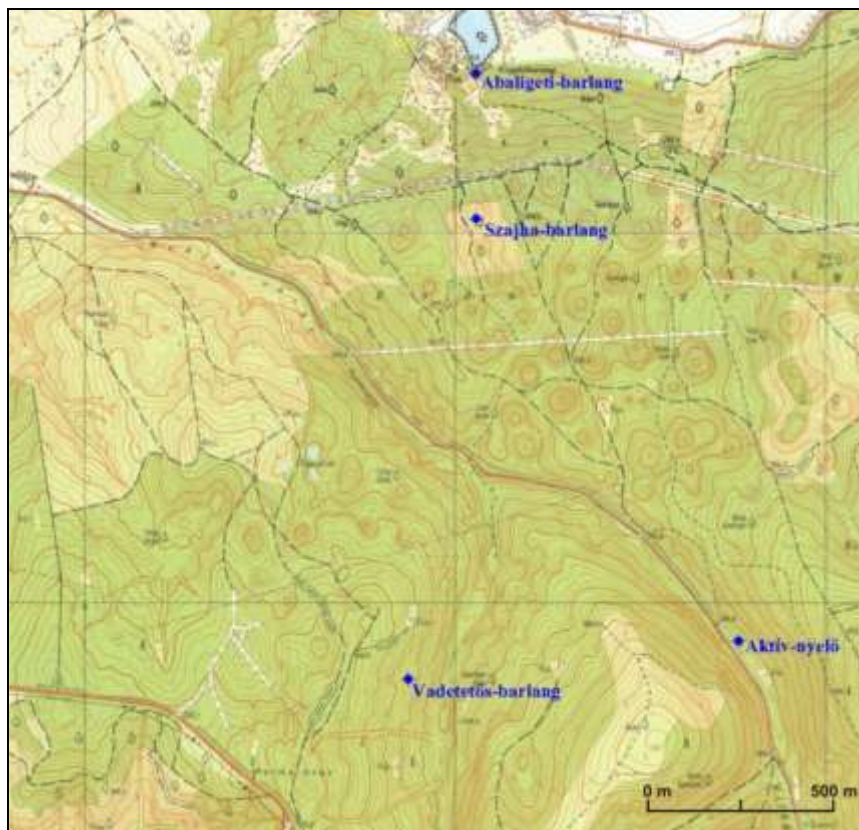
A nyári magas, dozimetriai szempontból is jelentős értékek a barlang rossz szellőzéséből adódnak. A bejárat egy 10m-es akna alján található (2. kép), a járat egyből bemegy a hegy alá. A barlang egy réteglap mentén alakult ki, így a járatok meglehetősen szűkek és omladékosak. A felszín irányába futó repedések el vannak tömődve homokkő hordalékkal, mészkő omladékkal és agyaggal. A végponton látszik a járat folytatása, huzat azonban nem érezhető.



2. kép. Az Aktív-nyelő bejárata

3.3 Hegyoldali helyzetű barlangok

Hegyoldali helyzetben két barlang, a *Szajha-barlang* és a *Vadetetős-barlang* bejárata van. A *Szajha-barlang* két bejárata egy több tíz méter mély dolina aljában és oldalában található, a *Vadetetős* pedig a hegyoldalban helyezkedik el. Bár ezek barlangok jelentős távolságra vannak egymástól, mindkettő az *Abaligeti-barlang* vízgyűjtő területéhez tartozik (26. ábra).



26. ábra. A barlangok elhelyezkedése a karszterületen

A barlangok legfontosabb paraméterei a 2. táblázatban találhatóak. A radon vizsgálatok szempontjából mindkét objektumnál sajátos jelenséggel állunk szemben. A *Szajha-barlang* esetében az adatsorok analízálásakor nem jelölhető ki tipikus maximum és minimum időszak, a *Vadetetős-barlangban* pedig megváltozott a huzatirány a 2005-2006-os évek folyamán.

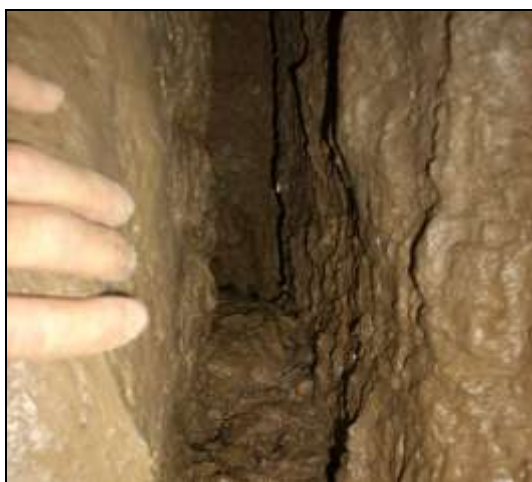
Barlang neve	Vízgyűjtő-területhez való tartozás	Bejárat magassága (m)	Barlang mélysége (m)	Barlang hossza (m)	Detektor helyzete	Barlang jellege	²²² Rn koncentráció alakulása
Szajha (felső)-barlang	Abaligeti	271,22	35	65	14 méter mélyen	zsomboly	nincs meghatározható maximum / minimum időszak
Vadetetős-barlang	Abaligeti	320,70	29	82	bejárati zóna és végpont	víznyelő	Régen: téli maximum /nyári minimum Ma: nyári maximum / téli minimum

2. táblázat. Hegyoldali helyzetű barlangok

3.3.2 A Szajha-barlang⁶

A Szajha-barlang bejárata az Abaligeti-barlang bejáratától körülbelül 350 méterre található. A barlangnak két bejárata van: A felső bejárat a töbör déli oldalában található, az alsó pedig a töbör aljában helyezkedik el. A két bejárat magasságkülönbsége 12,3 m.

A monitoring tevékenység 3 éven át tartott, mindössze egy-két hónap kihagyással. A detektor a Szajha felső-barlangban volt elhelyezve a bejárat közelében, 14 méter mélyen.

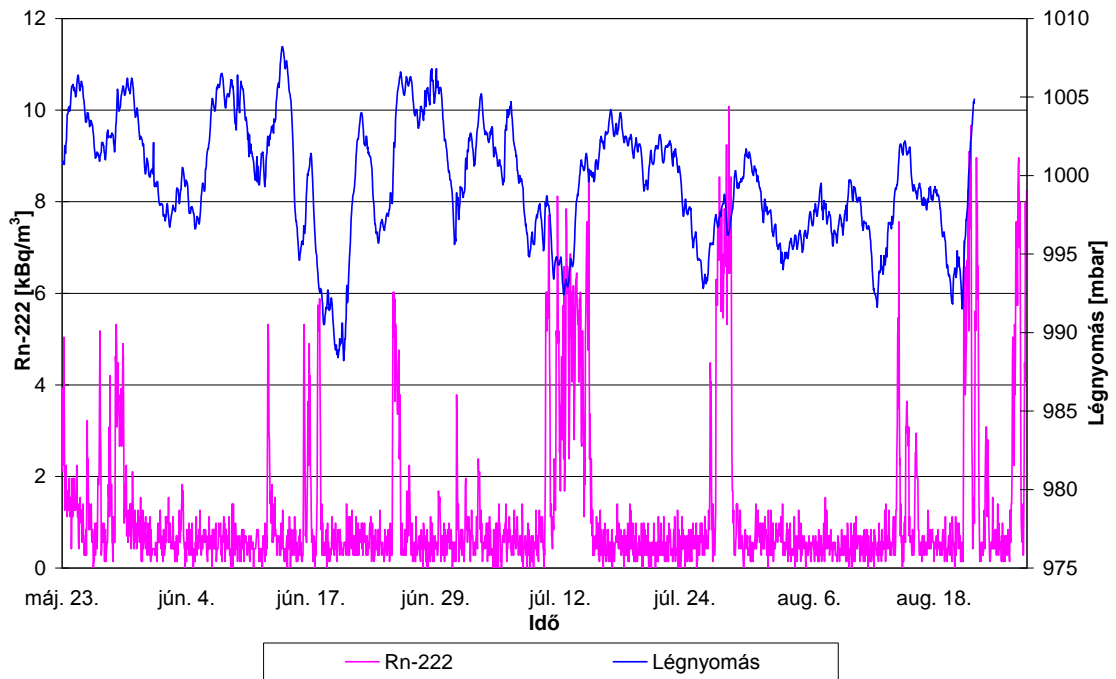


3. kép. A műszer néhai helye a Szajha-barlangban

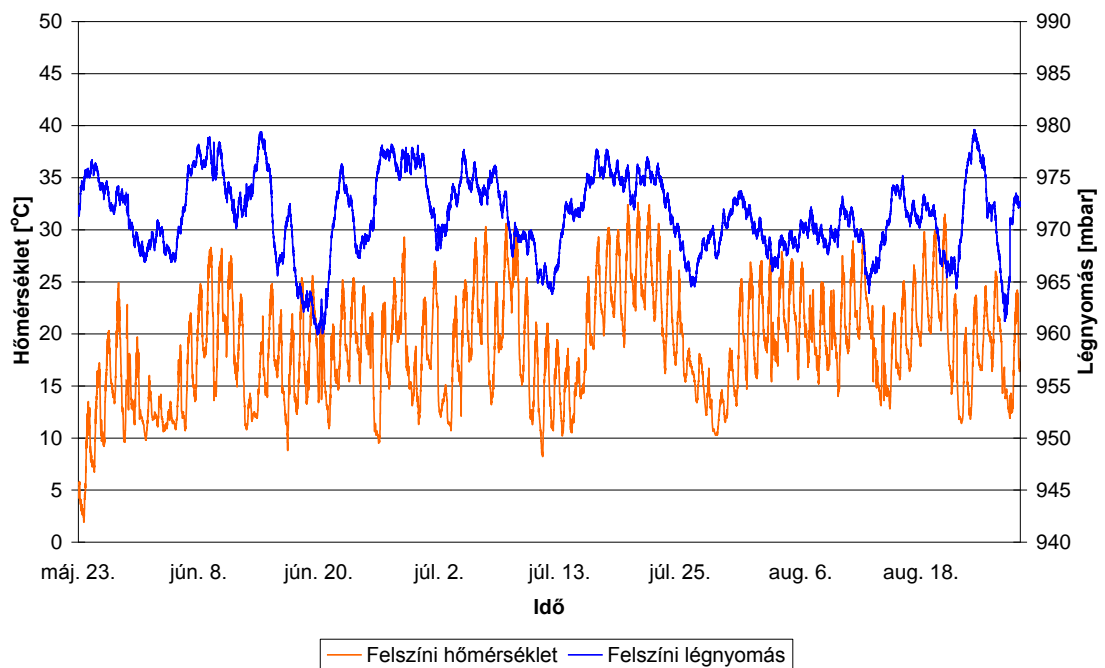


4. kép. A Szajha alsó becsatlakozása

⁶ A térképeken Szajha-barlang néven a Szajha felső-barlangot értem.



27. ábra. A Szajha-barlang bejáratában mért radonkoncentráció, 2004



28. ábra. A felszíni légnnyomás és hőmérséklet alakulása, V.üzem, 2004.

Az adatok elemzése során egy nagyon érdekes jelenséget tapasztaltam. A többi barlanggal ellentétben a *Szajhánál* nem állapítható meg külön téli vagy nyári időszak a radon koncentráció magasabb, illetve alacsonyabb értékeit tekintve. Az adatsorokon megfigyelhető fő és egyetlen különbség a radon koncentráció értékeinek ingadozása.

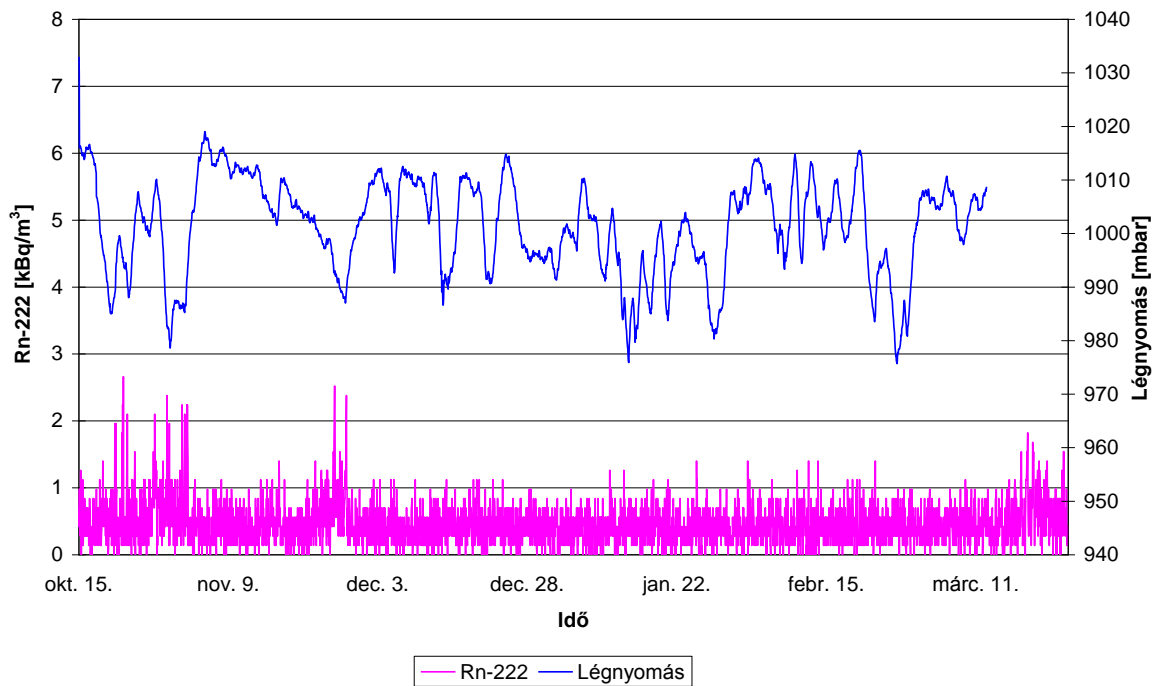
A 27. és 28. ábrát tanulmányozva látható, hogy a nyári időszak folyamán, például június 17-én vagy július 12-én a radon értékek hirtelen megugranak. A diagrammon akkor tapasztalunk ilyen tüskéket, hogyha a felszíni és a felszín alatti légnyomás⁷ csökkenésnek indul, valamint ezzel együtt a hőmérséklet lesüllyed 10-12°C alá. A légnyomásesés önmagában csak apró emelkedéseket generál, a nagyobb radonszint változásokhoz a felszíni hőmérséklet kritikus érték (10-12°C) alá csökkenése szükséges. Ideális esetben mindez arra utalna, hogy 10-12°C körül megfordul a barlangi légmozgás iránya. Ha a felszíni hőmérséklet a kritikus érték alá esik, a barlangból elkezd kifelé áramlani a radondús levegő. A téli maximum, nyári minimum hegytetői helyzetű bejáratot jelez, ami alátámasztja azt az elképzelést, hogy a *Szajha-barlang* az *Abaligeti-barlang Szifon-ágának* még feltáratlan járatszakaszával áll kapcsolatban.

A télre várt magasabb értékekkel ellenben a radon koncentráció tartósan alacsony marad, sőt még a nyárinál is kisebb értékeket mutat (29. ábra). A radon koncentráció a hőmérséklet várt csökkenésével sem kezd el emelkedni, sőt amikor november 3-tól kezdődően a felszíni hőmérséklet (30. ábra) tartósan alacsony marad a radon értékek 1 kBq/m³-t meghaladó ingadozása megszűnik. Novembertől március elejéig a levegő tartósan 10-12°C alatt van, az esetleges, rövid ideig tartó felmelegedések nincsenek szignifikáns hatással a mérési pont légterének radonkoncentráció változására.

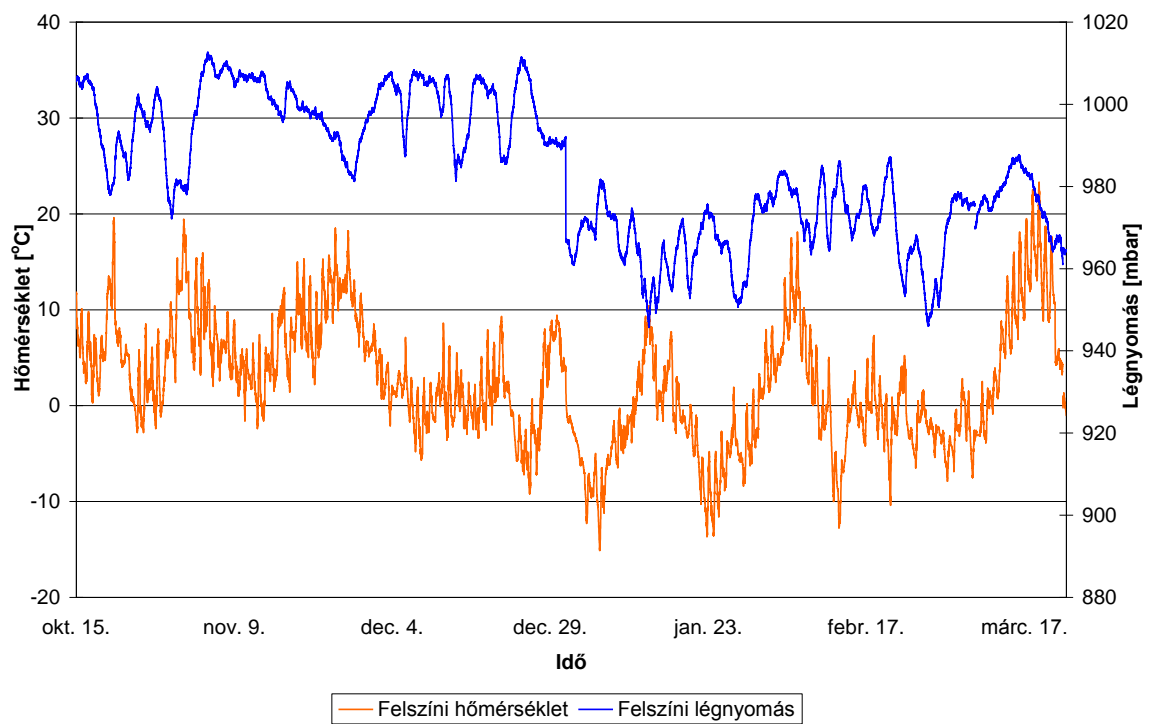
A barlangban való tartózkodások és a terepbejárások alkalmával öt érdekes jelenségre lettem figyelmes a levegő migrációját illetően:

1. nyáron a végpont felől a levegő a barlangból kifelé húz, ami ellentmond a felső bejárat típusnak.
2. télen a *Szajha-felső* bejáratnál kifelé áramlik a páradús barlangi légtömeg
3. télen *Szajha-alsó becsatlakozása* és a *Szülőlyuknál* (5. melléklet) található hasadék felől erőteljesen áramlik befelé a hideg levegő
4. télen a végpontnál a levegő a még feltáratlan járatszakaszok irányába áramlik.
5. télen a *Szajha-alsó* bejárata kívülről teljesen be van fagyva.

⁷ A diagrammokon látható barlangi légnyomás a Pietró-barlangbeli mérésekből származik.



29. ábra. A Szajha-barlang bejáratában mért radonkoncentráció, 2002-2003.



30. ábra. Felszíni légnyomás és hőmérséklet viszonyok alakulása, V.üzem, 2002-2003

A megfigyelések alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a *Szajha-alsó* bejáratán télen befelé, nyáron pedig kifelé áramlik a levegő. Az első feltételezéseimmel ellentétben a *Szajha-felső* bejáratán a levegő egész évben kifelé áramlik és a végponti légmozgások figyelembe vételével a barlang alsó szakaszú barlangjáratként működik, illetve ideális esetben a *Szajha-felső* bejáratnak is alsó szakaszú bejáratként kéne viselkednie. Úgy gondolom, hogy a fenti, speciális jelenségek kialakulásában számos tényező együttes hatása játszik szerepet.

A téli időszak során a *Szajha-alsó* bejárata domináns szerepet tölt be a barlang életében. A barlangi tartózkodások során érezni lehet a kettős levegőmozgást, amit a *Szajha-alsó* felől érkező légtömegek generálnak. A *Szajha-felső* fenti szakasza, mely a bejáratától a *Szajha-alsó* omladékos becsatlakozásáig terjed sajátos öncirkulációval rendelkezik: a levegő folyamatosan kifelé áramlik. A *Szajha-alsó* dominanciája elnyomja a *Szajha-felső* bejáratú szakaszát, így a befelé irányuló légmozgás helyett kifelé menő alakul ki. A végpontnál felső szakasszal ellentétes irányba mozog a levegő. Valószínűleg a még feltáratlan alsóbb járatok hatására ki tud alakulni az alsó szakaszjellegű légmozgás, ami barlangra ideális esetben jellemző lenne.

A *Szajha-alsó barlang* télen befelé áramló légmozgásából következik, hogy nyáron a levegőnek kifelé kell mozognia. Ezt a feltevést alátámasztja az a tény is, hogy a meleg évszak folyamán sem a *Szülőlyuknál*, sem az omladéknál nem érzékelhető a *Szajha-felső* járataiba befelé irányuló légmozgás. Az azonban bizonyos, hogy a radonkoncentráció csak azokban az esetekben nő meg, amikor a kinti hőmérséklet $10-12^{\circ}\text{C}$ alá csökken (27 és 28 ábra).

Véleményem szerint a *Szajha-felső barlang* rendszerének légmozgását egy magasabb helyzetű zsomboly befolyásolja, amely szintén összeköttetésben van a még feltáratlan alsó barlanggal. Ez a magasabb helyzetű barlang légkörzését illetően felső bejáratú barlangként viselkedik, így ha a felszíni hőmérséklet tartósan $10-12^{\circ}\text{C}$ fölött van, a barlangba beáramlik a felszíni alacsony radontartalmú levegő, felhígítva az alsó járat levegőjének radonkoncentrációját. Amikor a felszíni hőmérséklet a kritikus érték alá süllyed, a légmozgás leáll, a huzatirány rövid időre megfordul, ami engedi az alsójárat légterében a radon feldúsulását. Az alsó járat felől ekkor radonban dúsabb levegő érkezik a *Szajha-felső* rendszerébe. Ez a magasabb radon tartalmú levegő a mérési ponton áthaladva a bejárton keresztül elhagyja a barlang légterét. A *Szajha-barlang* közelében több magasabb helyzetű zsomboly található (31. ábra), amely ezt a különös jelenséget

generálhatja. A *Tuskós-barlang* bejárata 301,27 méter, a *Csiga-zsombolyé* pedig 292,49 méter tengerszint feletti magasságban helyezkedik el.



31. ábra. A Szajha-barlang közvetlen közelében elhelyezkedő zsombolyok és nyelők

Feltevésemet alátámasztja a *Csiga-zsomboly* 1997-es radon vizsgálata (ZALÁN B. 1998), miszerint a bejárati zóna radon koncentrációja télen igen magas, nyáron pedig nagyon alacsony, azaz a meleg nyári időszakban a barlangba alacsony radontartalmú levegő áramlik be a felszínről. A *Tuskós-barlangból* sajnos nincsenek adataim.

3.3.3 A *Vadetetős-barlang*

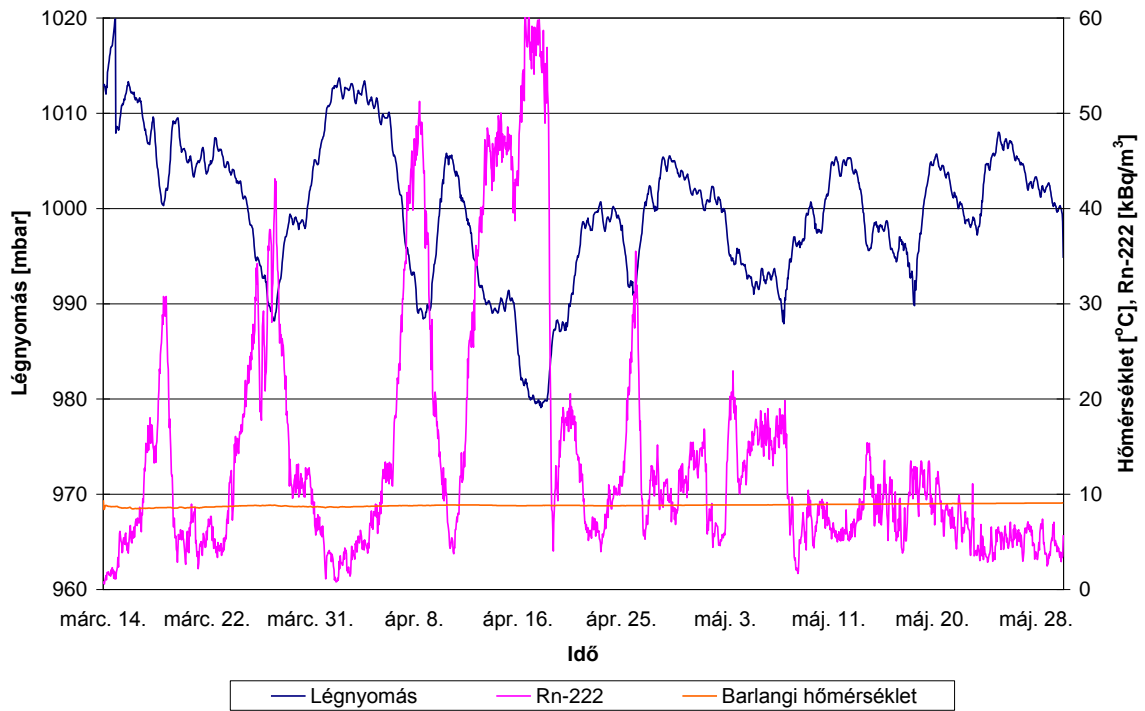
A *Vadetetős-barlangban* 2003-ban kezdődtek a mérési vizsgálatok, kiolvadt bejárata hívta fel magára Ollé Péter és Zalán Béla figyelmét. Az üreg akkor még mindössze 6m hosszú volt, azóta két nagyobb feltárás (2005-ben 30 méter, 2006-ban 50 méter) igazolta a radon vizsgálatok eredményét, mely nagyobb üregrendszer jelenlétét sejtette. A mérések 2003. novembere óta folyamatosan zajlanak, 2007 májusától a bejárati zónán felül, a barlang jelenlegi végpontjánál (6. melléklet) is végzünk adatgyűjtést.



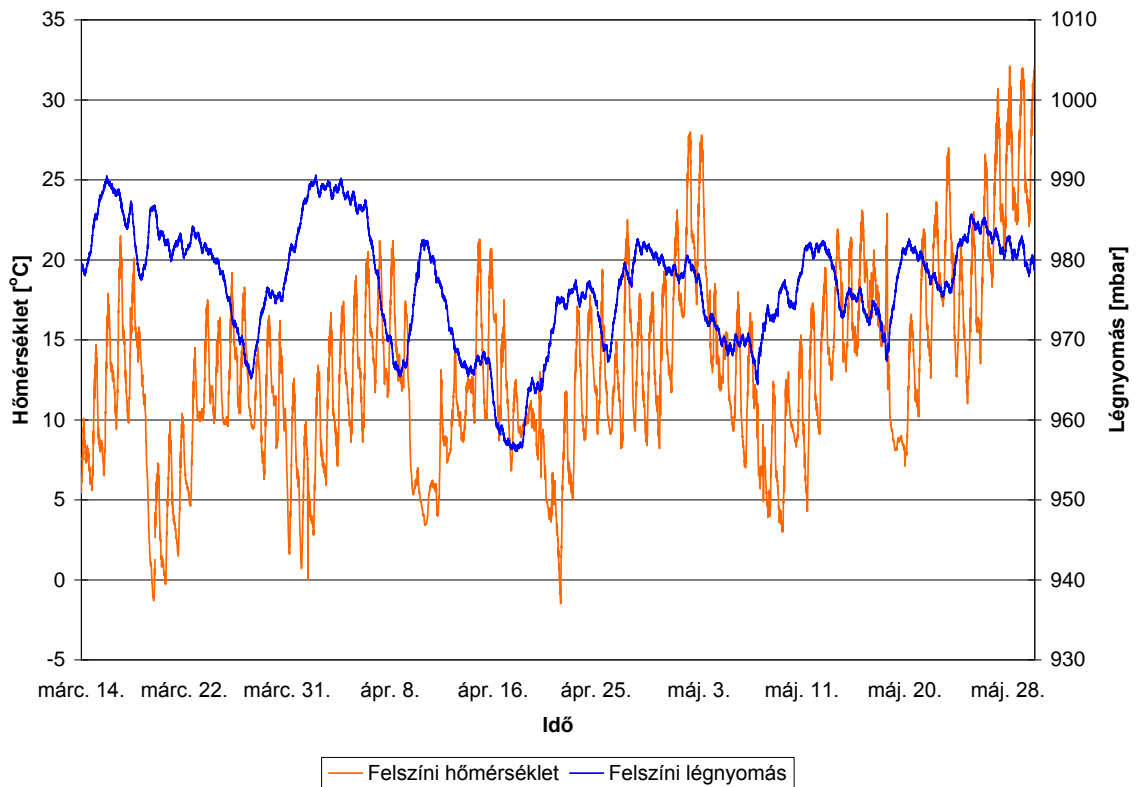
5. kép. Radondetektor a bejárati zónában



6. kép. Radondetektor a végpontnál



32. ábra. A Vadetető-barlang bejáratában mért radonkoncentráció, 2005

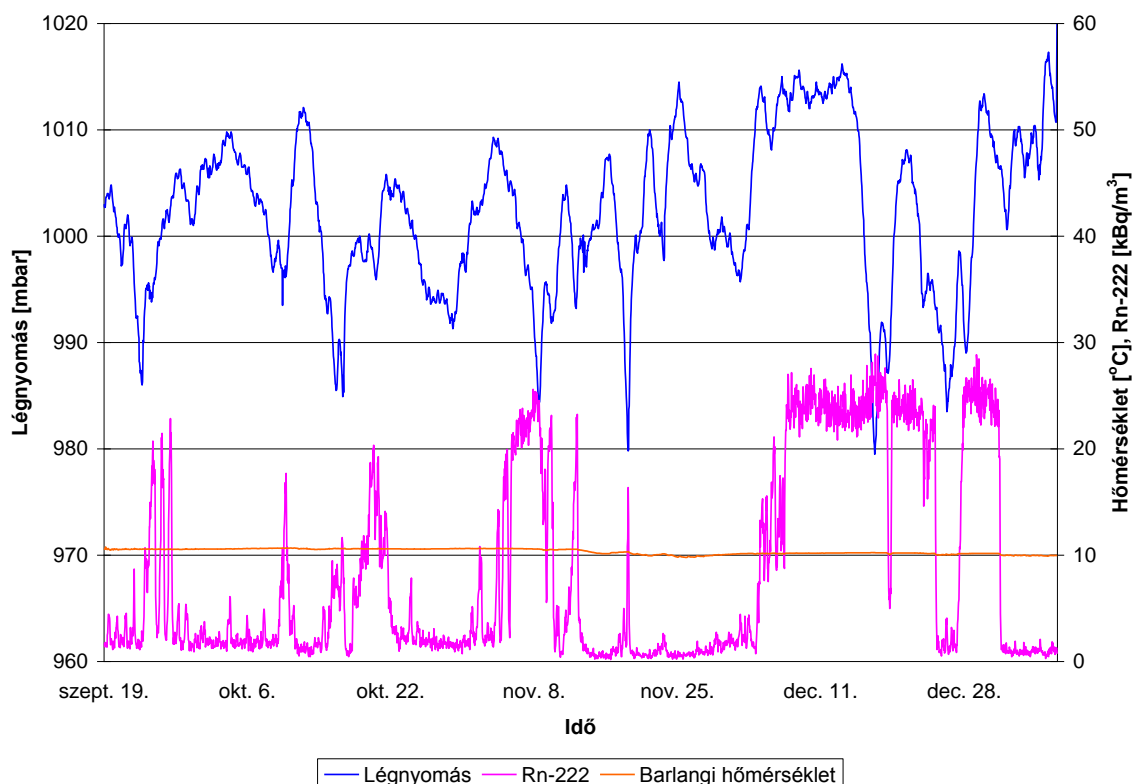


33. ábra. Légnyomás és hőmérséklet alakulása a Mecsekben, 2005.

2005 tavaszán, a március közepétől április végéig tartó időszak folyamán a radon értékek tekintélyes mértékben ingadoztak (32. ábra). A változó időjárás hatására a barlangi légtömegek kiáramlása erősen fluktuált. A radonkoncentráció öt alkalommal meghaladta a 30 kBq/m^3 -es értéket. Az öt alkalomból egyszer elérte a 40 kBq/m^3 -es, kétszer az 50 kBq/m^3 -es, egyszer pedig a 64 kBq/m^3 -es értéket. Ezek az értékek igen magasnak számítanak és minden esetben a felszíni hőmérséklet csökkenéséhez kötődnek. A *Vadetetős-barlang* esetében magas radonkoncentráció akkor alakul ki a mérési pont légterében, ha a felszíni hőmérséklet 10°C alá csökken (33. ábra).

Májustól kezdődően a melegebb időszak beálltával a mérési pont levegőjének radontartalma lecsökken és az erős ingadozás is alábbhagy. A hőmérséklet ekkor ritkán csökken 10°C alá, azonban ha ez mégis bekövetkezik, a radonkoncentráció nem emelkedik meg oly mértékben, mint a tavaszi, változékony időjárású periódusban.

Télen, amikor a hőmérséklet tartósan alacsony marad a barlangi levegő radontartalma a mérési pont területén határozottan megnő, mivel a levegő migrációja a barlangból kifelé irányul (34. ábra).

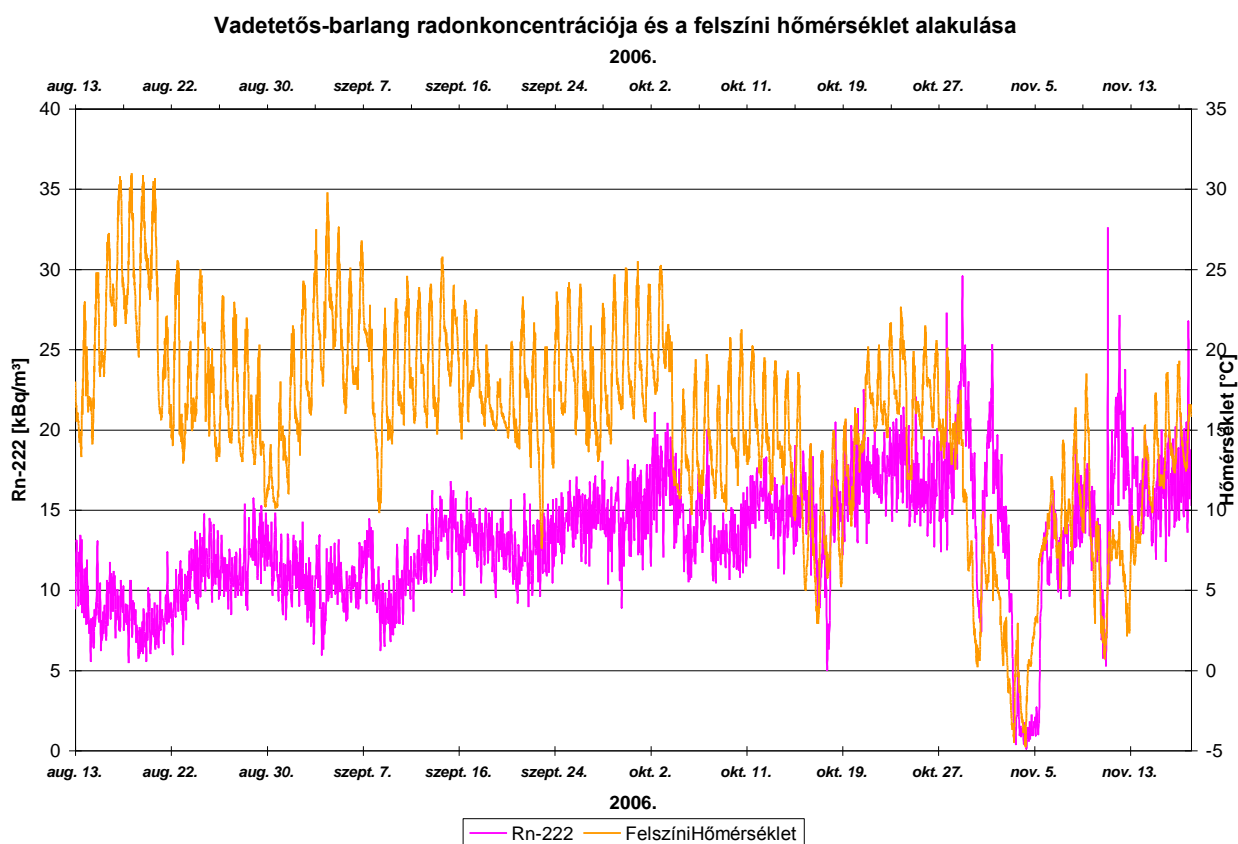


34. ábra. Radonkoncentráció a Vadetetős-barlangban, 2004.

A diagrammok analizálásakor azonban anomáliák figyelhetők meg. 2005. április. 15-17 között, egy alacsony hőmérsékleti időszakot követve a felszíni hőmérséklet növekedésnek indul (33. ábra), amire a barlangi radonkoncentráció csökkenés helyett további emelkedéssel, majd hirtelen süllyedéssel válaszol (32. ábra).

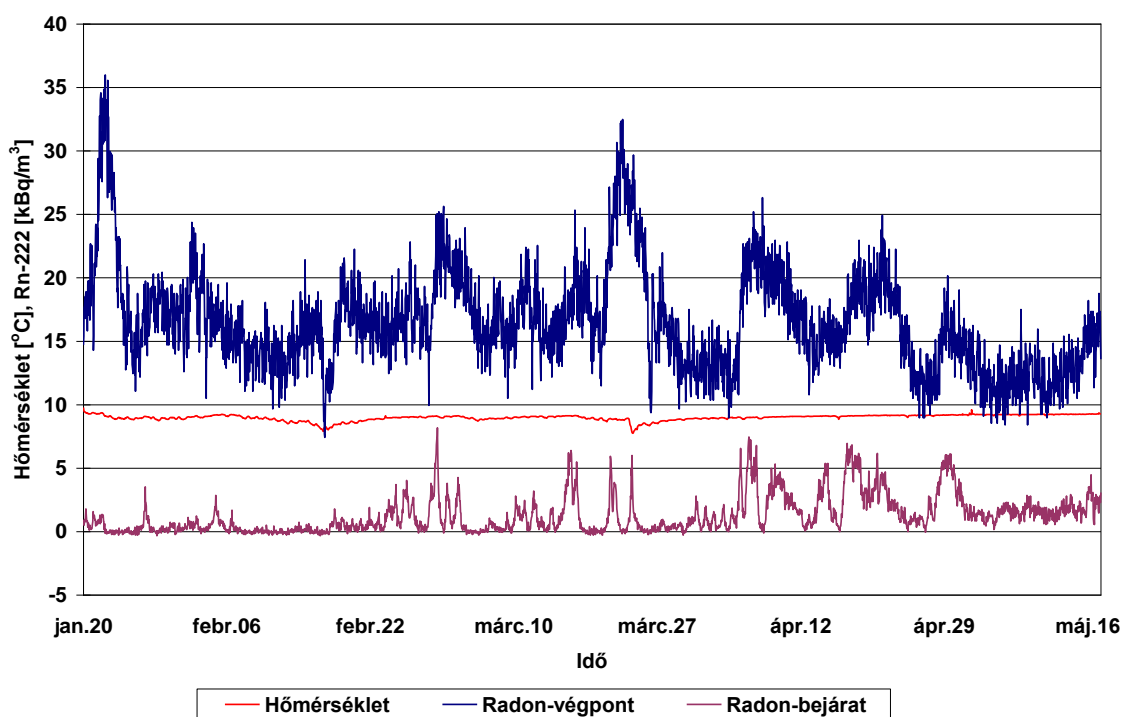
Hasonló értékek voltak láthatók 2005. októberében is, amikor egy pár napig tartó meleg időszak volt a Mecsekben. A felszíni hőmérséklet 15-20°C között mozgott, amire a barlangi radonszintnek intenzív csökkenéssel kellett volna válaszolnia, ennek ellenére koncentrációnövekedés volt tapasztalható. A felmelegedést követő lehüléskor pedig az értékek lesüllyedtek.

Ezek a jelenségek a barlangi légkörzés „pillanatnyi” fordított működésére utalnak. A 2006-os évben azonban ez a fordított működés állandóvá vált. A változás valószínűleg 2006-ban október – november hónapok folyamán következett be. Az eddig felső bejáratú barlangként viselkedő *Vadetetős* ettől az időszaktól kezdődően alsó bejáratúként reagál a felszíni hőmérsékletváltozásokra (35. ábra).

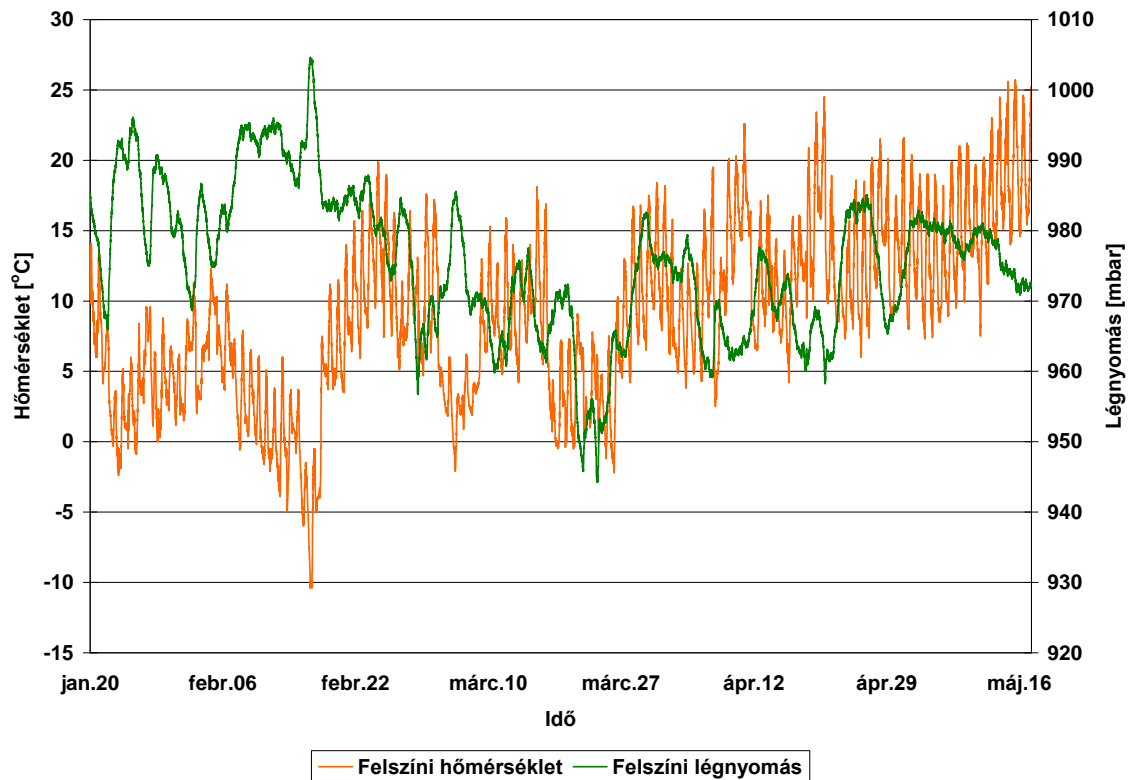


35. ábra. A Vadetetős-barlang bejáratában mért radonkoncentráció a felszíni hőmérséklet függvényében, 2006 (TEGZES Z. 2007).

Ennek a viselkedésnek állandósulását több esemény indukálhatta. A 2005-ös barlangfeltárás kizárható, mivel az átbontott szakaszokban folyamatosan volt légrés. A változás oka valószínűleg egy felsőbb helyzetű barlanggal való légcserre kapcsolat kialakulása volt. Ez számos módon történhetett: megnyílt egy eddig elzárt járatszakasz vagy egy szifon vagy beszakadás történt. Az elzárt járatszakasz megnyílásához csapadéktöbbletre lenne szükség, azonban ez az időszak nem volt szignifikánsan csapadék dús a Mecsek területén. Ha egy szifon nyílt volna meg, már biztosan megtelt volna, így a legvalószínűbb egy zomboly felszínre nyílása. A huzatirány megfordulásának kiváltó okáról további vizsgálatokat szeretnék folytatni.



36. ábra. Radonkoncentráció a Vadetető-s-barlang bejáratánál és végpontján, 2008



37. ábra. Légnyomás és hőmérséklet viszonyok alakulása, Mecsek, 2008

A Vadetető-s-barlangban zajló mérések további érdekessége, hogy az utóbbi két év során a barlang két pontján végeztünk adatrögzítést. A bejáratnál egy háromcsatornás DATAQUA műszer rögzíti az adatokat, a helyi légnyomást detektáló része azonban elromlott, így a barlangi légnyomás adatok nincsenek feltüntetve az alábbi ábrán. A 36. ábrán jól látható, hogy a végponti radonkoncentráció közel 10 kBq/m^3 -rel magasabb a bejáratnál értéknél. A radon diagrammok futása megegyező, az ingadozások azonban a végponti értékeket tekintve markánsabbak. A radon értékek kis késéssel követik a felszíni hőmérséklet alakulását (37. ábra). Következésképpen hőmérsékletnövekedésnél nő a radon mennyisége, csökkenés esetén pedig süllyed.

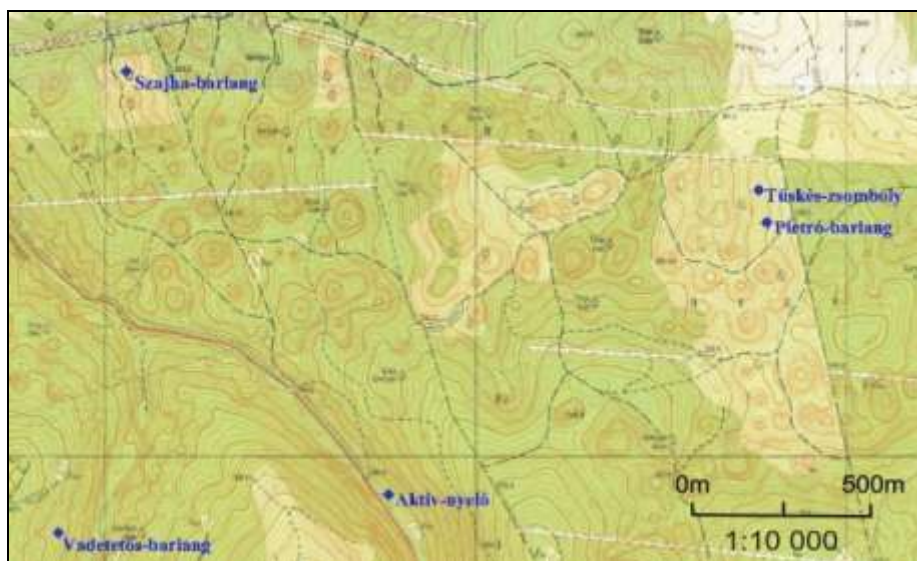
Az adatsorok további érdekessége, hogy a 2003-2005 közötti mérési időszakoktól eltérően igen ritkán rögzít a bejáratnál található műszer $30\text{-}40\text{ kBq/m}^3$ -es értékeket. Ez a koncentráció csökkenés összefüggésben állhat a huzatirány megfordulását okozó felsőbb helyzetű barlanggal folytatott légcserével.

3.4 Hegytetői helyzetű barlangok

A kutatási terület hegytetői bejáratokkal rendelkező barlangjai közül dolgozatomban két zsombolyt vizsgálok, amelyek érdekessége abból adódik, hogy bejáratuk egymáshoz igen közel helyezkedik el (a két bejárat között 94 méter vízszintes távolság és 7,3 méter szintkülönbség van).

Barlang neve	Vízgyűjtő-területhez való tartozás	Bejárat magassága (m)	Barlang mélysége (m)	Barlang hossza (m)	Detektor helyzete	Barlang jellege	²²² Rn koncentráció alakulása
Pietró-barlang	Kisaplika vagy Mészégető	321,98	30	130	bejárat zóna	zsomboly és víznyelő	téli maximum / nyári minimum
Tüskés-barlang	Kisaplika vagy Mészégető	312,70	22	30	bejárat zóna	zsomboly	nyári maximum / téli minimum

3. táblázat. Hegytetői bejáratokkal rendelkező barlangok

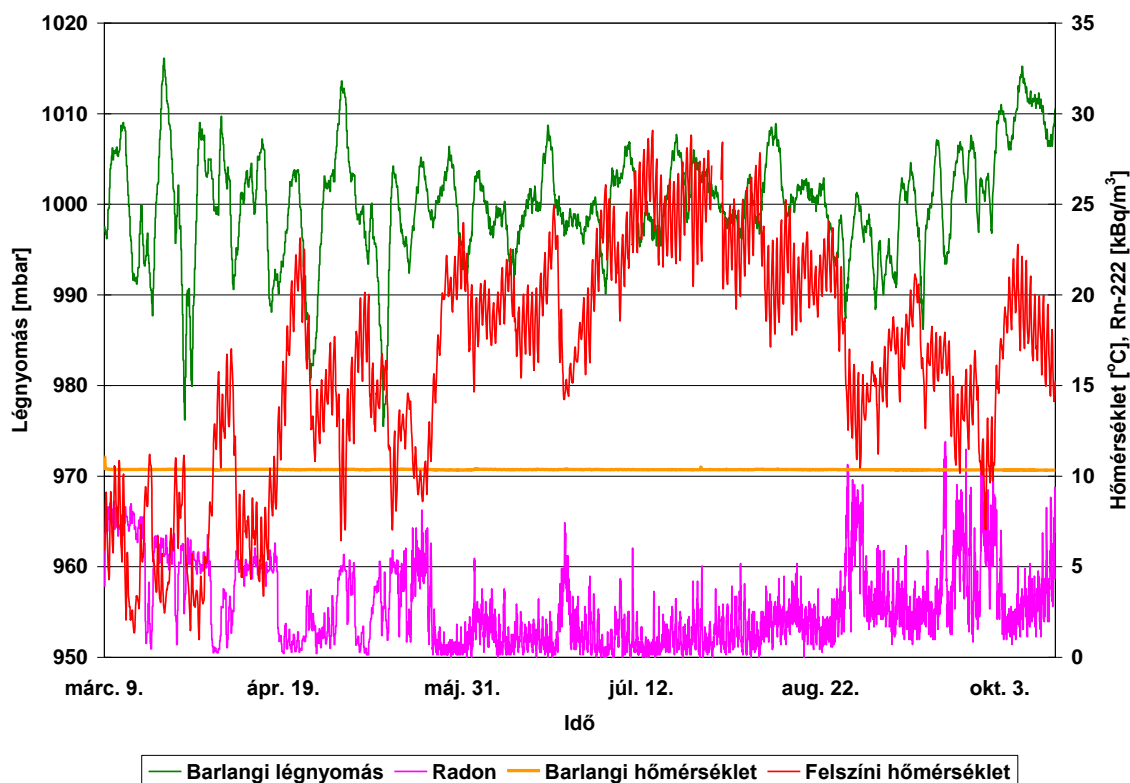


38. ábra. A Pietró-és Tüskés barlangok elhelyezkedése a kutatási területen

3.4.1 A Pietró-barlang

A Pietró-barlang mérései közel tíz éven át folytak, 1995-ben kezdődtek, és három év kihagyással 2005-ig tartottak. A barlangba 1995. április 27-én helyezték le az első

detektort. Ebben a mérési periódusban barlangi légnyomás- és hőmérséklet rögzítés is folyt. (39. ábra)



39. ábra. Radonkoncentráció a Pietró balangban, 1995

A 39. ábrát tanulmányozva látható, hogy a barlangi levegő hőmérséklete változatlan, egyedül a műszer letelepítésekor mutat a többinél kissé magasabb értéket. A detektor a bejáratnál 7 méterrel mélyebbre lett letelepítve, így a felszíni hőmérséklet ingadozások már nem befolyásolták a barlangi léghőmérsékletet. A felszíni hőmérséklet és a barlangi radon adatait összevetve látható, hogy a *Pietró-barlang* radon koncentrációja a felszíni hőmérséklet változásával fordítottan arányosan ingadozik.

A márciustól május végéig tartó és szeptember elejétől kezdődő átmeneti időszakokban a radonkoncentráció jelentős ingadozásokon megy át a felszíni hőmérsékletváltozásokra reagálva, majd május végétől kezdődően tartósan alacsony marad (39. ábra).

A műszer a 17 mérési periódus folyamán mindig ugyanoda lett lehelyezve, így az adatok egymással összehasonlíthatóak (7. melléklet). Összességében elmondható, hogy a nyári időszakokat 2,5-3 kBq/m³-es átlagértékek jellemzik, míg télen a radon-koncentráció átlagosan 7-8 kBq/m³. Az átmeneti évszakokban a radonszint a felszíni hőmérséklet alakulásának megfelelően jelentősen ingadozásokon megy keresztül, az értékek 0-10

kBq/m^3 között változnak. Az 1995-2005 közötti időszakban a mérések átlagos radon értékei nem mutattak szignifikáns változást, 2002-2003 és 2003-2004 telén rögzített a műszer a korábbi értékeknél 1-2 kBq/m^3 -el magasabbat.

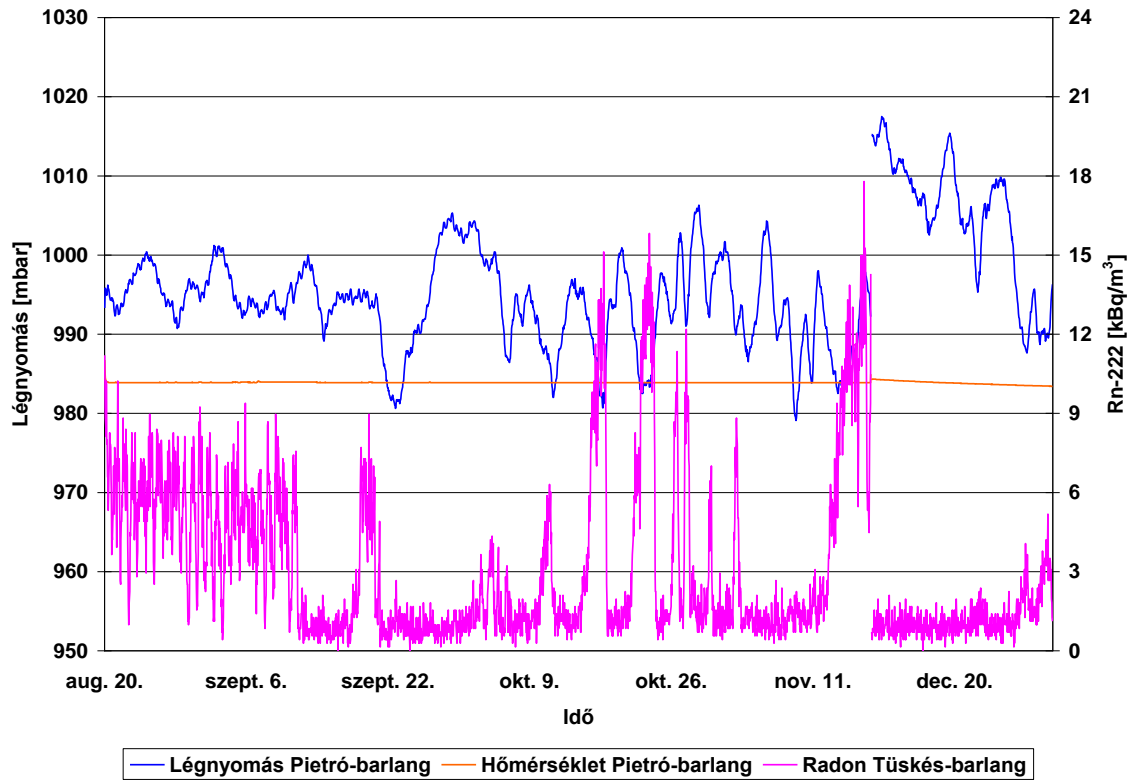
A *Pietró-barlang* téli maximum és nyári minimum értékekkel jellemezhető, így légkörzése szempontjából felső helyzetű bejárattal rendelkező barlangként funkcionál.

3.4.2 A *Tüskés-barlang*

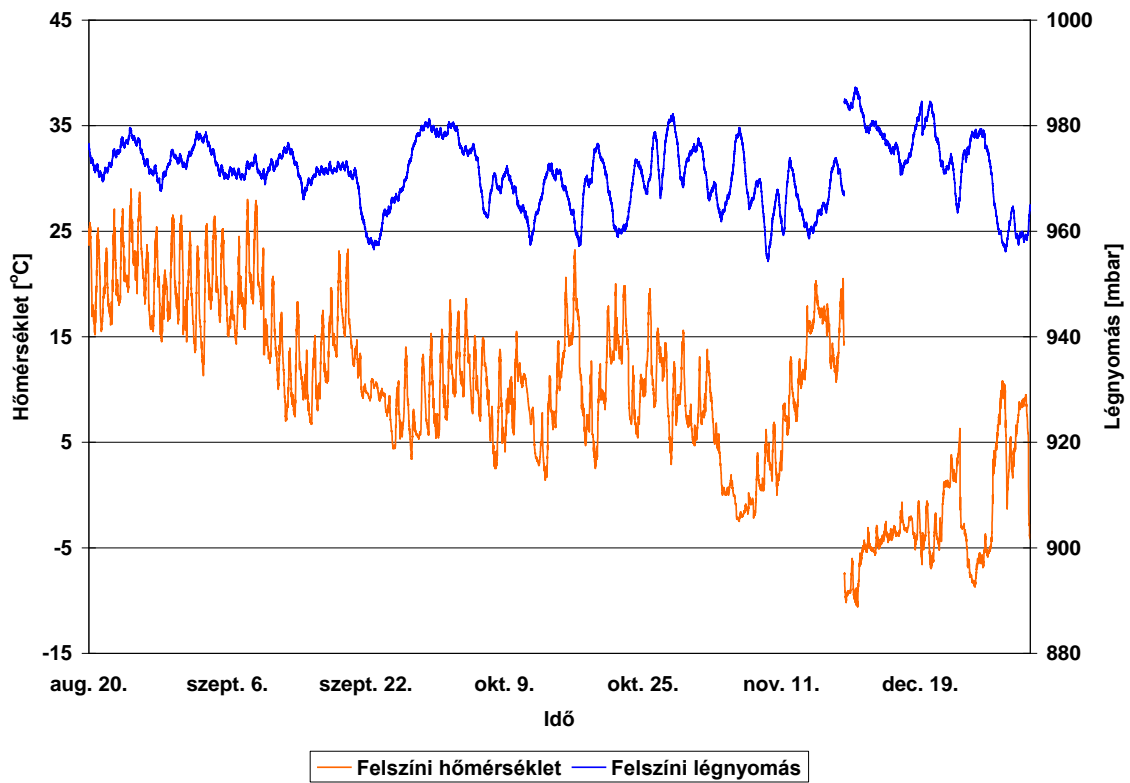
A *Tüskés-barlang* vizsgálata 2002. augusztusában kezdődött, a mérések többsége egy időben történt a *Pietró-barlangban* zajlókkal. Az első adatsorok meglepő eredménnyel szolgáltak Zalán Béla számára, mivel a lenn tartózkodások alatt a barlangban nem volt érezhető légmozgás, azonban az adatsorok igen intenzív légáramlásról tanúskodnak (40. ábra).

A 40. ábrán található barlangi hőmérséklet és légnyomás adatok a *Pietró-barlangból* származnak. A két barlang bejárata nagyon közel van egymáshoz és a barlangi légnyomás, illetve léghőmérséklet adatai a felszíni meteorológiai paraméterek hatására változnak, így úgy gondolom, hogy a két barlang hőmérséklet- és légnyomás adatai jelentős mértékben nem térhetnek el egymástól. A barlangi légnyomás a felszínivel egyenértékű. A barlangi radonkoncentráció a felszíni hőmérséklettel egyenes arányban változik (41. ábra). A felszíni hőmérséklet növekedését a radonszint emelkedése, csökkenését pedig a radonkoncentráció süllyedése követi. Október 18-án és 23-án a radonszint hirtelen felemelkedik $14\text{-}15 \text{ kBq/m}^3$ -re, november 17-én pedig meghaladja a 18 kBq/m^3 -t. Ennek az emelkedésnek az oka a pár napon át tartó felszíni hőmérsékletenyhülés (október 17-én 12 órakor a felszíni hőmérséklet meghaladta a 18°C -ot). A téli hónapok folyamán nem jellemzőek a nagy koncentrációingadozások, ekkor a diagrammokon látható kisebb tüskékért a felszíni légnyomás alakulására azonnal reagáló barlangi légnyomásváltozások a felelősek.

A *Tüskés-barlang* nyári maximum és téli minimum értékekkel jellemezhető, így légkörzése szempontjából alsó helyzetű bejárattal rendelkező barlangként funkcionál.



40. ábra. A Tüskés-barlang bejáratában mért radonkoncentráció, 2002.



41. ábra: Légnomás és hőmérséklet alakulása, Mecsek, 2002.

3.4.3 A *Pietró-barlang* és a *Tüskés-barlang* lehetséges összefüggésének vizsgálata

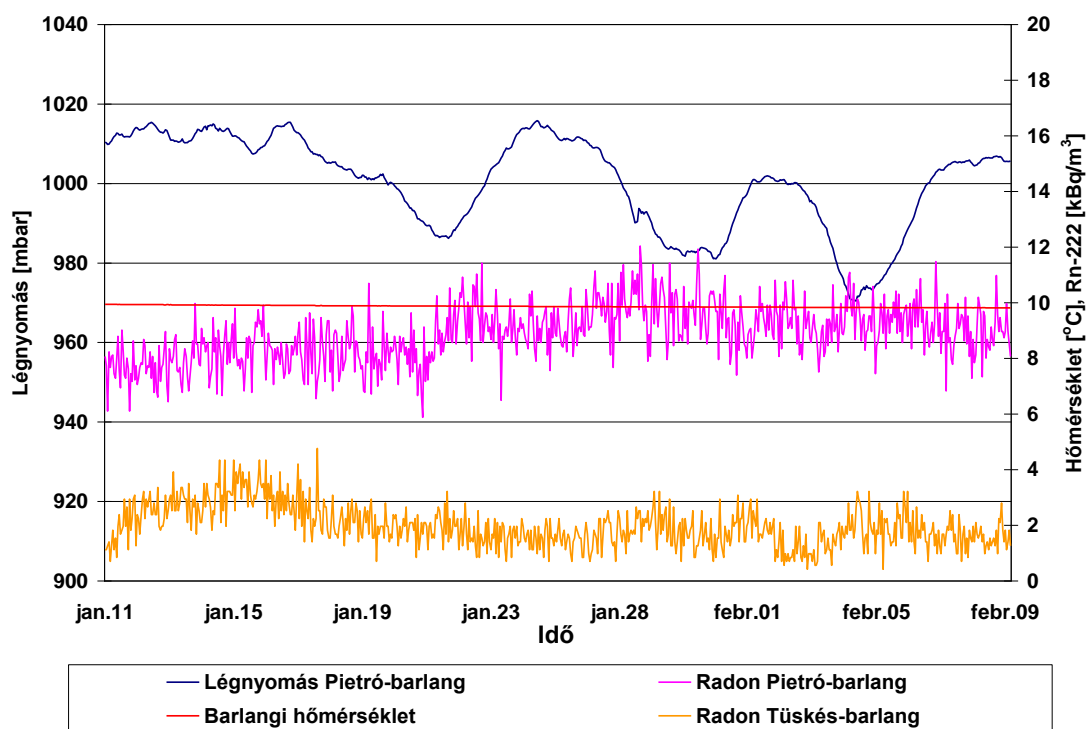
A *Pietró*-és *Tüskés-barlangok* levegőjének radontartalma egymással teljesen ellentétesen változik. Ha a *Pietró-barlangban* a radonkoncentráció növekedésnek indul, a *Tüskés-barlangban* annak azonnali süllyedése figyelhető meg. A két barlang bejáratának közelsége és az adatsorok alakulása alapján feltételezhető, hogy a két barlang légkörzését, illetően kapcsolatban áll egymással.

A Pro Natura Karszt-és Barlangkutató Egyesület tagjai 2003. január. 11 és 2003. február. 9 között a *Tüskés-barlang* bejáratát letakarták. A takarásra fedőréteggént havat tettek, ami az esetleges légmozgásokat olvadásával jól jelzi. Sajnos a *Tüskés-barlang* letakarása nem sikerült tökéletesen, mivel a fedőtakaróként alkalmazott hóréteg nyomokban elolvadt. A vizsgálat eredményeiről a 42. és 43. ábra számol be.

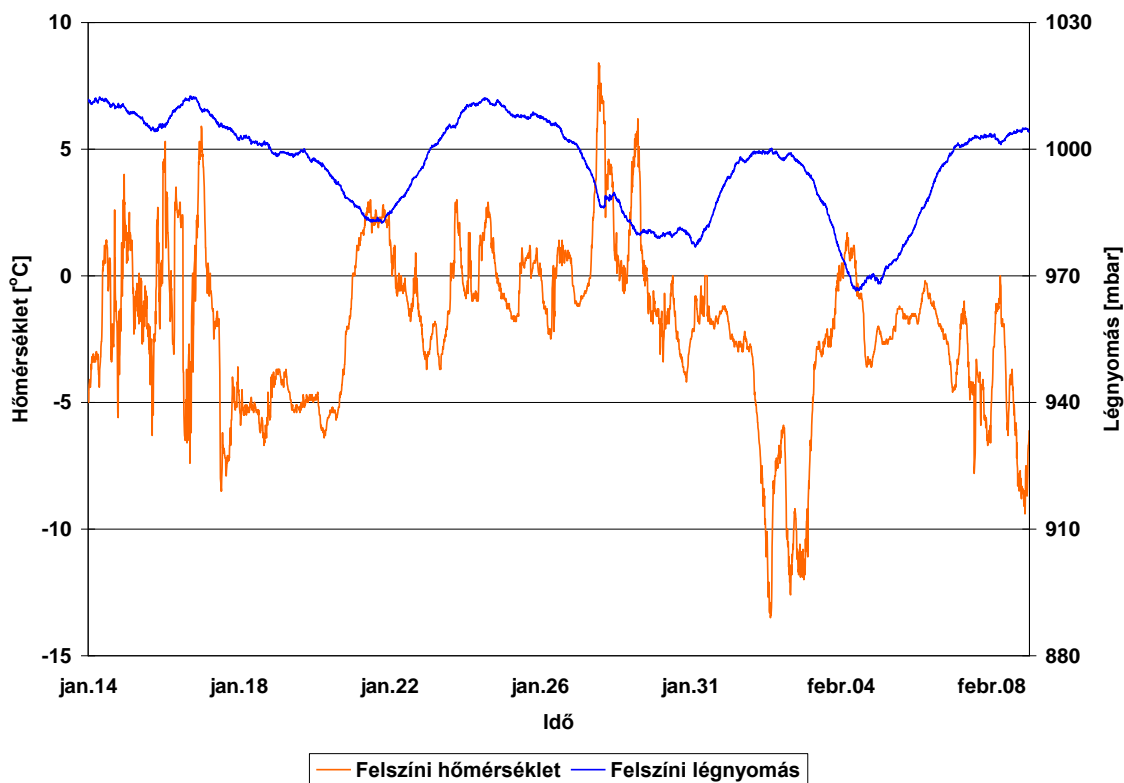
A bejárat lezárását követően a *Tüskés-barlangban* emelkedésnek indult a radonszint, körülbelül 4 kBq/m³-es növekedés volt tapasztalható. A *Pietró-barlangban* ugyanakkor a radonkoncentráció enyhén lesüllyedt. A lezárást megelőzően a *Tüskés-barlangba* valószínűleg befelé áramlott a levegő, és radon tartalom növekedését ennek a légcserének a megszűnése indukálta. A *Tüskés-barlangban* pár nap alatt ismét lecsökkent a radonkoncentráció, a *Pietró-barlangban* pedig növekedésnek indult. Számomra úgy tűnik, hogy a *Tüskés-barlang* értékeit ábrázoló diagramm futása követi a *Pietró-barlang* diagrammjának futását, azonban a *Tüskés* értékeinek ingadozása csekélyebb, mint a *Pietróé* (43. ábra). A mérési időszak során a mindenkori légnyomásviszonyok határozzák meg a radonszint esetleges növekedését, illetve csökkenését (43. ábra).

Az adatsorok elemzése és Tegzes Zoltán⁸ kutatási vezetővel folytatott beszélgetések alapján az alábbi következtetésekre jutottam: a *Tüskés-és Pietró-barlangok* között közvetett kapcsolat áll fenn. Valószínűleg egy alsóbb járatszakaszon keresztül kommunikál a két barlang. Ha kapcsolatuk közvetlen lenne, akkor sokkal kisebb lenne a radonkoncentráció eltérés a két barlang között.

⁸ Pro Natura Karszt-és Barlangkutató Egyesület



42. ábra. A Tüskés-barlang és a Pietró-barlang bejárati zónájának radonkoncentrációja a lezárás idején, 2003.



43. ábra. Felszíni légnymás és hőmérséklet változása a barlangbejárat lezárásának idején, 2003.

Összegzés

A dolgozatban bemutattam a Nyugat-mecseki karszt kilenc barlangjának radontranszport vizsgálata során kapott legfontosabb eredményeket. Az elemzések során az egyes barlangokra vonatkozó törvényszerűségek megvilágításával kerestem a választ a bevezetésben felvetett kérdésekre.

A *Vadetető-s-barlangot* leszámítva általánosságban elmondható, hogy a korábbi mérések alapján nem tapasztalható szignifikáns változás az egyes barlangok radonkoncentrációját illetően. A *Vadetető-s-barlangi* eredmények igazolták, hogy a 2006-os év során a szállítási irányok megfordultak a barlangon belül.

A legutóbbi vizsgálatok alapján a Szuadó-völgyi barlangok esetében sem volt tapasztalható markáns radonkoncentráció változás. A *Szuadó- és Gilisztás-barlangokban* egyszerre végzett mérések eredményei érdekes, megfontolandó kérdéseket vetettek fel a három nyelő (*Trió, Gilisztás, Szuadó*) járatainak feltételezett kapcsolatáról.

A mérési eredményeket figyelembe véve elmondható, hogy a morfológiai helyzet szerepe alapvetően meghatározó a barlangok légkörzésének kialakulásában, a barlangok egymáshoz viszonyított helyzete azonban jobban befolyásolja a légkörzési sajátosságokat. A fent említett eredményre az egyik legszemléletesebb példát a *Szajha-barlang* egyedülálló légkörzése szolgáltatja.

Végezetül megállapítható, hogy a mecseki barlangok levegőjének radonkoncentrációja igen magas. Morfológiai helyzetükből adódóan a legmagasabb értékek a völgytalpi helyzetű barlangoknál, míg a legalacsonyabbak a hegytetői helyzetű barlangoknál tapasztalhatók. A magyarországi átlagnál magasabb helyi értékek forrása lehet az uránércet is tartalmazó homokköves összlet közelsége, valamint a közel 50 évig tartó uránbányászat imissziós terhelése.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni témavezetőimnek, Dr. Keveiné Dr. Bárány Ilona tanszékvezető helyettes egyetemi tanárnak és Ország János hidrogeológusnak, akik hasznos tanácsaikkal segítettek munkámat. Külön köszönettel tartozom türelmükért és biztatásukért és azért, hogy mindig segítettek a felmerülő problémák megoldásában.

Szeretném megköszönni Zalán Bélának és a Pro Natura Karszt-és Barlangkutató Egyesület tagjainak, hogy éveken át tartó kutatási anyagukat a rendelkezésemre bocsátották, valamint azt, hogy engedtek bekapcsolódni kutatási munkájukba. Köszönet illeti a Mecsekérc Zrt.-t, amiért kölcsönadta mérőberendezéseit.

Kiemelt köszönettel tartozom Tegzes Zoltánnak az izgalmas terepbejárásokért, a sokszor órákig tartó vitákért, és véget nem érő türelméért. Szeretném megköszönni mindazoknak a munkáját a Szegedi Karszt-és Barlangkutató Egyesületen belül és kívül hozzájárultak ennek a dolgozatnak a létrejöttéhez.

Végül, de nem utolsó sorban óriási hálával tartozom szüleimnek és barátaimnak a sok segítségért és biztatásért.

Felhasznált Irodalom

- BARTA K. – TARNAI T.(1997): *Karszt kutatás az orfűi Vízfő-forrás vízgyűjtő területén*
In: Karszt és Barlang, 1997.évf. I-II füzet, Budapest, pp. 12-19
- BEZSENYI A. (2006): *A radontartalom és lehetséges forrásainak összehasonlítása magyarországi karsztosodó kőzetben képződött korróziós és eróziós barlangokban*, Szakdolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest
- BOGNÁR CS. - FEHÉR K. – JANATA K. - NAGY F. – HAKL J. – TÓTH J. (1997): Cserszegtomaji expedíció 1997. Élettani, mikrobiológiai és klimatológiai kutatások a Cserszegtomaji-kútbarlangban In: Karszt és Barlang, 1997.évf. I-II füzet, Budapest, pp3-11,
- BREUER H. (2000): *Atlasz kémia* Athenaeum 2000 Kiadó Kft, Budapest 2000 pp 76-77
- DEZSŐ Z. – MOLNÁR L.(2000): *Barlangkutatás radonnal*, Barlangkutatók szakmai találkozója, Pécs, 2000. október 27-29 www.barlang.hu hozzáférés: 2008.03.20
- DEZSŐ Z. – HAKL J. - MOLNÁR L. (2001): *Barlangi kőzetek radon exhalációja*, III. Karsztfejlődési konferencia, Szombathely, 2001. április 6-7
- FÜLÖP J. (1994): *Magyarország geológiája II* Akadémiai Kiadó, Budapest 1994, pp. 366-269
- HAKL J. (1992): *Radontranszport vizsgálatok*, Egyetemi doktori értekezés, MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen
- HAKL J. – HUNYADI I. – CSIGE I. – GÉCZY G. –LÉNÁRT L. – VÁRHEGYI A. (1997): Radon transport phenomena studied in karst caves – international experiences on radon levels and exposures In: Radiation Measurement, Vol.28, Nos 1-6, pp 675-684 Elsevier Science Ltd. Great Britain
- HOYK E. (2002) Doktori (PhD) értekezés, József Attila Tudományegyetem, Szeged
- JAKUCS L.(1971): *A karsztok morfogenetikája: a karsztfejlődés variációi* Akadémiai Kiadó, Budapest 1971
- KÁVÁSI N. (2006): *Az évi átlagos radonkoncentráció és a sugárterhelés meghatározása különböző munkaterületeken*, Doktori (PhD) értekezés, Pannon Egyetem, Veszprém
- KISS Á. – SZÁNTÓ ZS. – DEZSŐ Z. (2004): *Az ATOMKI szerepe a környezet védelmében*, Fizikai Szemle 2004/5, pp 155 - 162
- KOPASZ I (2003): *A mecseki Trió-barlang földtani, hidrológiai, morfológiai és genetikai feldolgozása, különös tekintettel a barlang értékeire és azok oktatásban történő*

hasznosíthatósági lehetőségeire – Diplomadolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest

LOVÁSZ GY. (1971): *Adatok az Abaligeti-karszt geomorfológiai és hidrológiai jellemzéséhez*, In: Földrajzi Értesítő XX. évf. pp 283-296

LOVÁSZ GY – WEIN GY. (1974): *Délkelet-Dunántúl geológiája és felszínfejlődése* Baranya Megyei Levéltár Kiadója, Pécs, 1974, pp. 180-181

PAPP B. – DEÁK F. – HÁRVÁT Á – KISS Á. – VID G. (2004): *A barlangi agyagos kitöltés radon viszonyainak vizsgálata a Baradla-barlang egy pontján*, IX. Karsztfejlődési konferencia konferenciakötete, Szombathely, pp321-328

RÓNAKI L.(1966):*Az Orfűi Vízfő-forrás vízgyűjtő területének vízföldtani viszonyai*, A Magyarhoni Földtani Társulat Mecseki Csoportja és a Magyar Hidrológiai Társaság Pécsi Csoportja 1966.június. 9-én tartott közös szakülésén elhangzott előadás

RÓNAKI L.(1997): *A Mecseki Karsztkutató Csoport Jubileumi évkönyve 1972-1997*, Pécs, In: ORSZÁG J. (2003): *Az Abaligeti-barlang és a felszín kapcsolatának vizsgálata* - Diplomadolgozat, Szegedi Tudományegyetem, Szeged

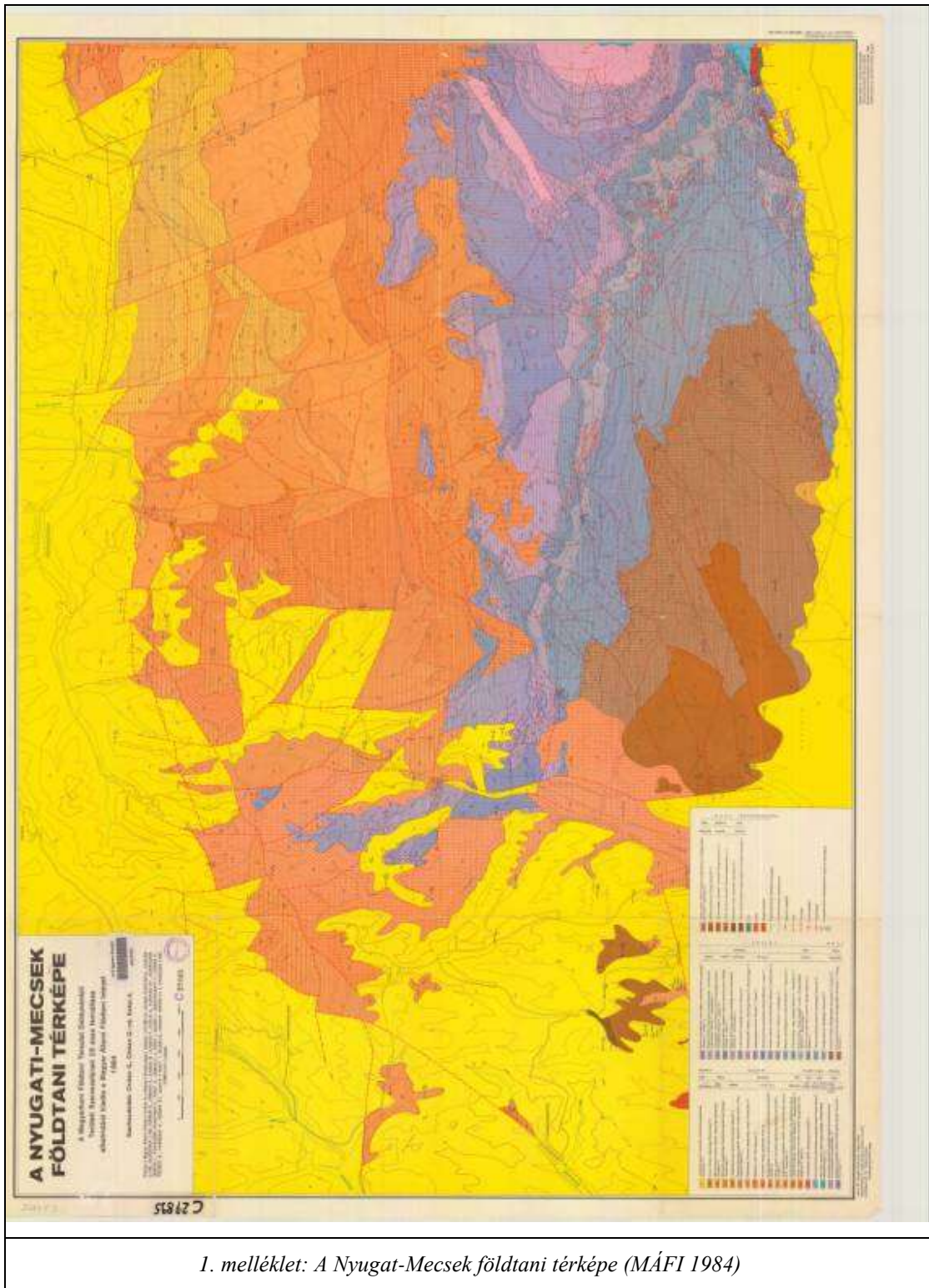
TEGZES Z. (2007): *Radontranszport mérések a Vadetető-barlangban* In: A Pro Natura Karszt-és Barlangkutató Egyesület jelentése a 2006. évi kutatási tevékenységéről

VÁRHEGYI A. (1996): *Beszámoló a mecseki karszterületen végzett monitoring eredményeiről*, In: A Pro Natura Karszt- és Barlangkutató Csoport 1995 éves jelentése

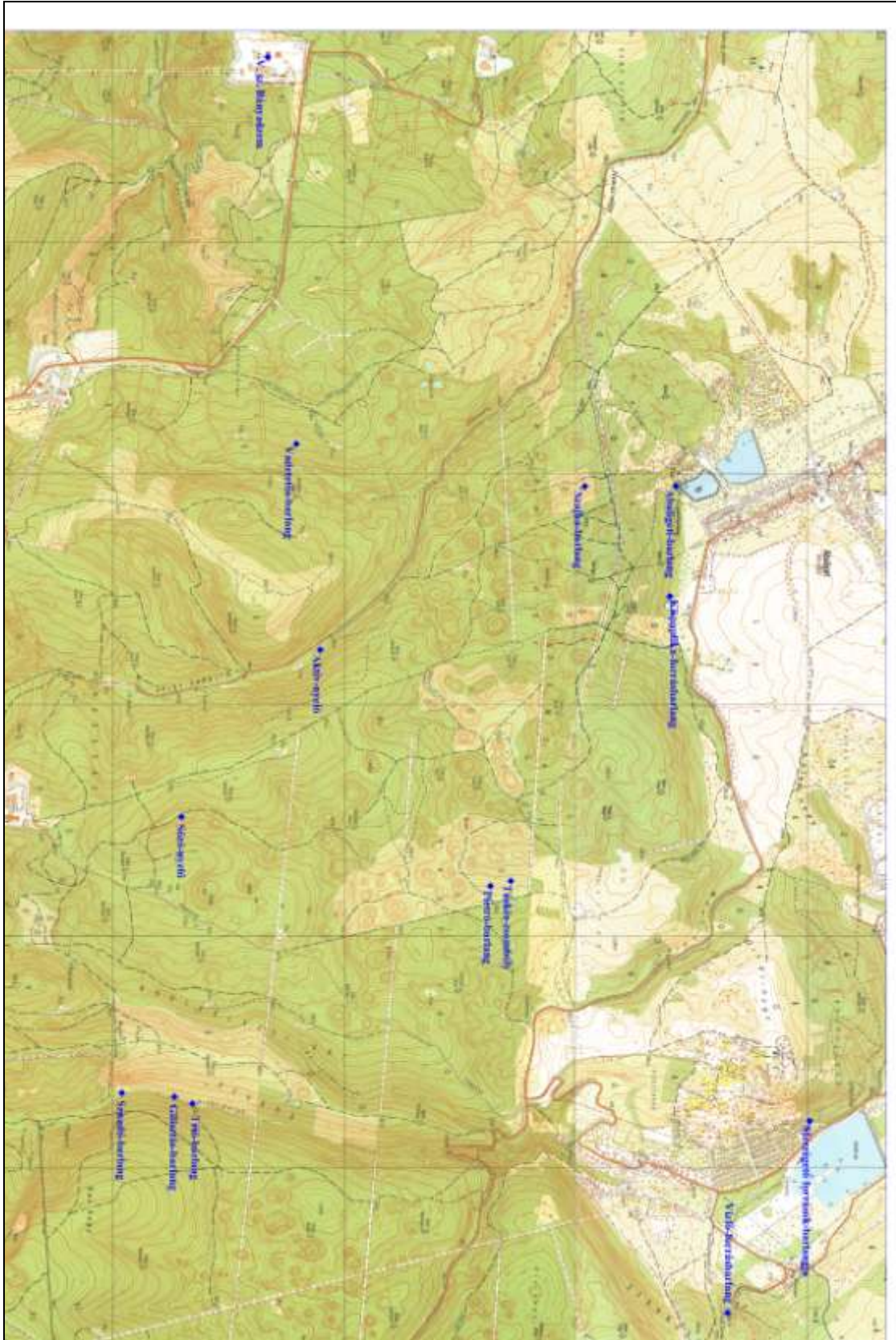
ZALÁN B. (1998): *Radonmérések néhány mecseki barlang bejáratánál*, In: A Pro Natura Karszt- és Barlangkutató Egyesület jelentése az 1997-es kutatási évről

Mellékletek

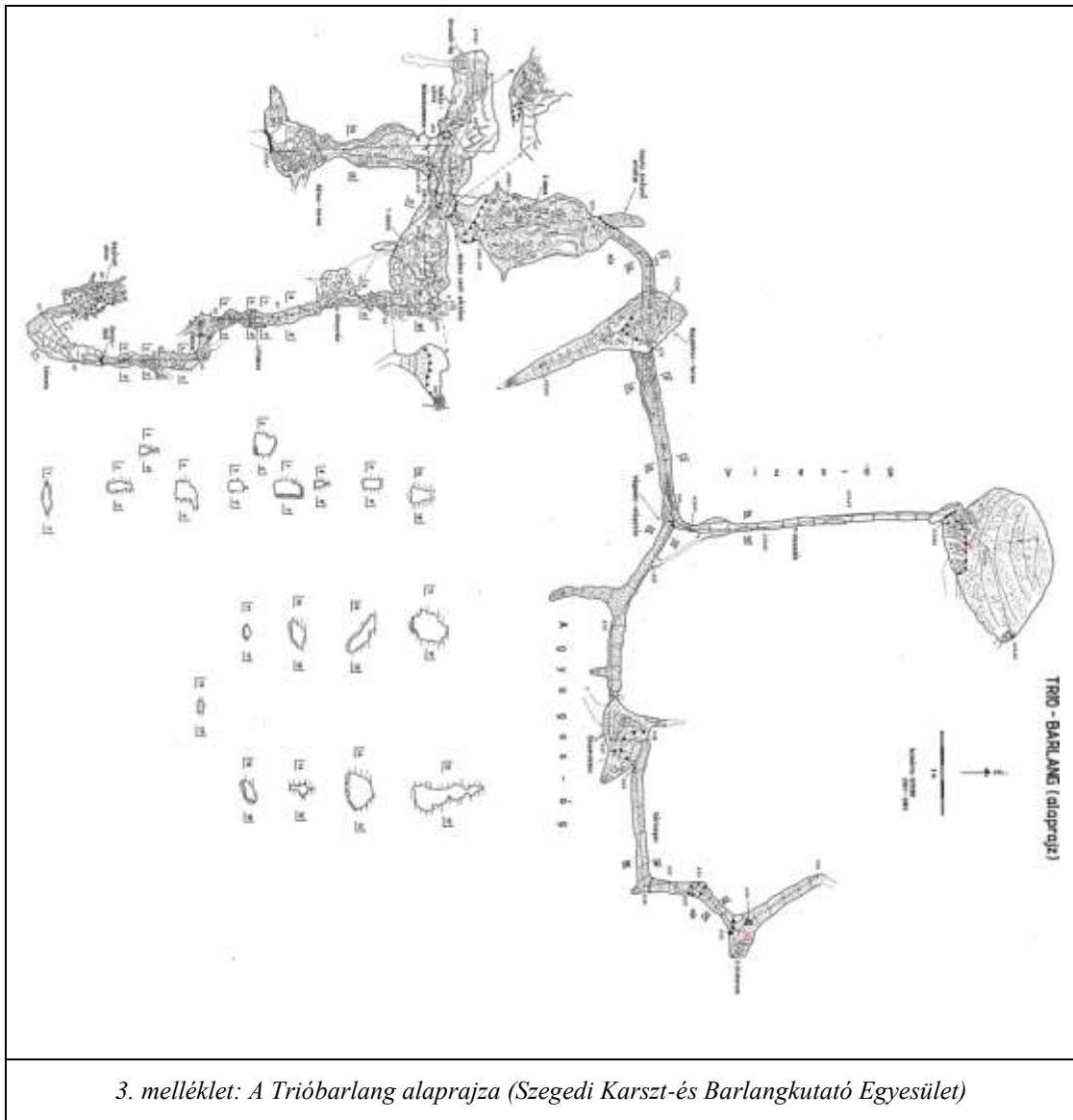
1. melléklet: A Nyugat-Mecsek földtani térképe (MÁFI 1984).....	62
2. melléklet: A kutatott terület.....	63
3. melléklet: A Trióbarlang alaprajza (Szegedi Karszt-és Barlangkutató Egyesület).....	64
4. melléklet: A Szuadó-barlang alaprajza (Szegedi Karszt- és Barlangkutató Egyesület) .	65
5. melléklet: A Szajha-barlang alaprajza (Tegzes Zoltán nyomán).....	66
6. melléklet: A Vadetető-barlang alaprajza (Tegzes Zoltán)	67
7. melléklet: A Pietró-barlang alaprajza.....	68



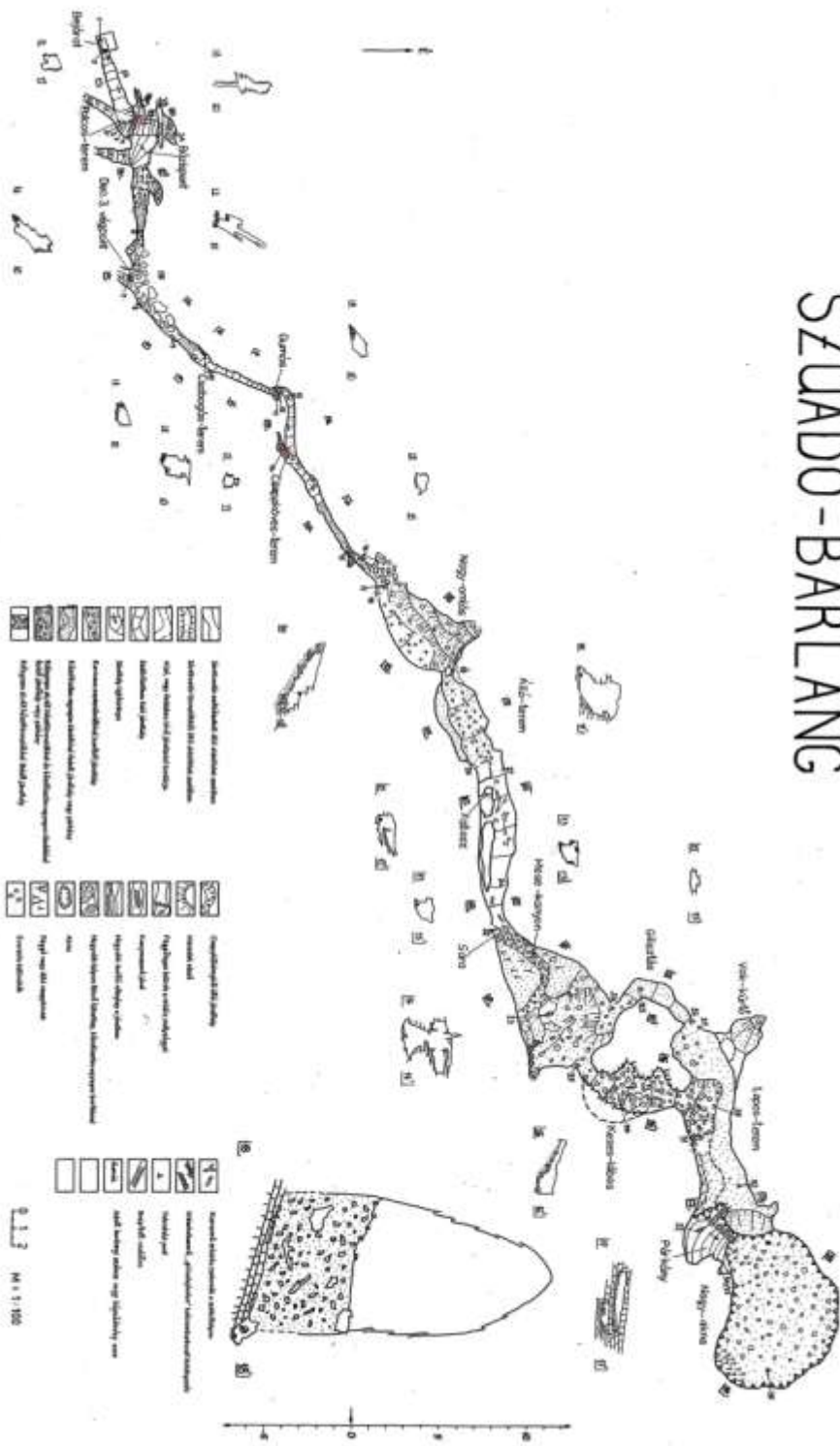
1. melléklet: A Nyugat-Mecsek földtani térképe (MÁFI 1984)



2. melléklet: A kutatott terület



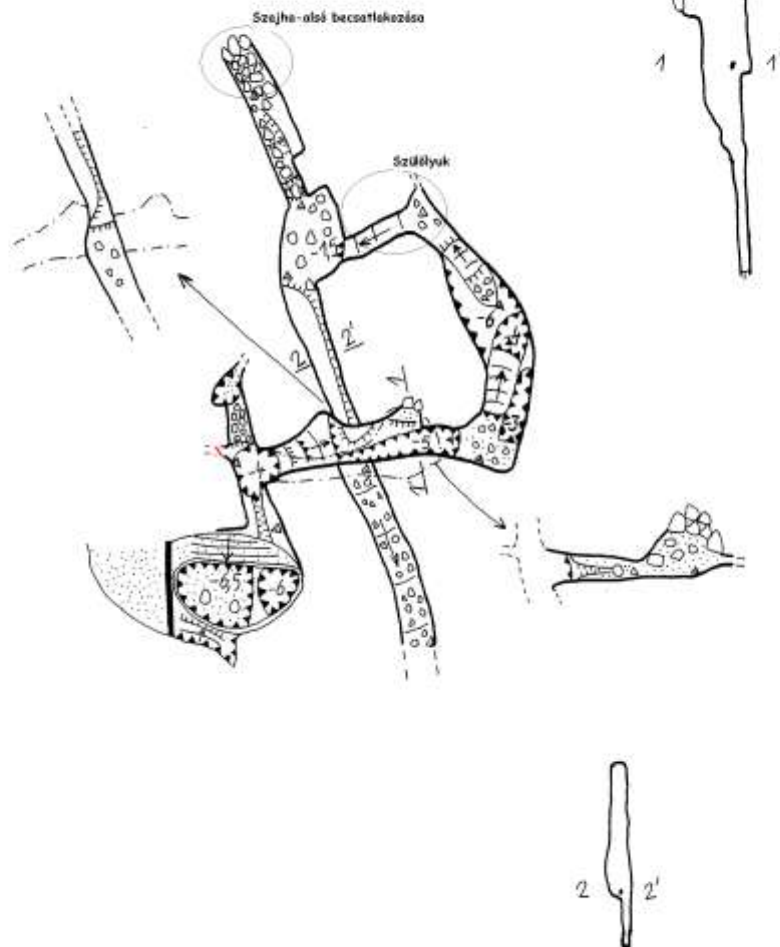
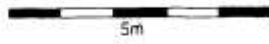
SZUADÓ-BARLANG



4. melléklet: A Szudó-barlang alaprajza (Szegedi Karszt- és Barlangkutató Egyesület)

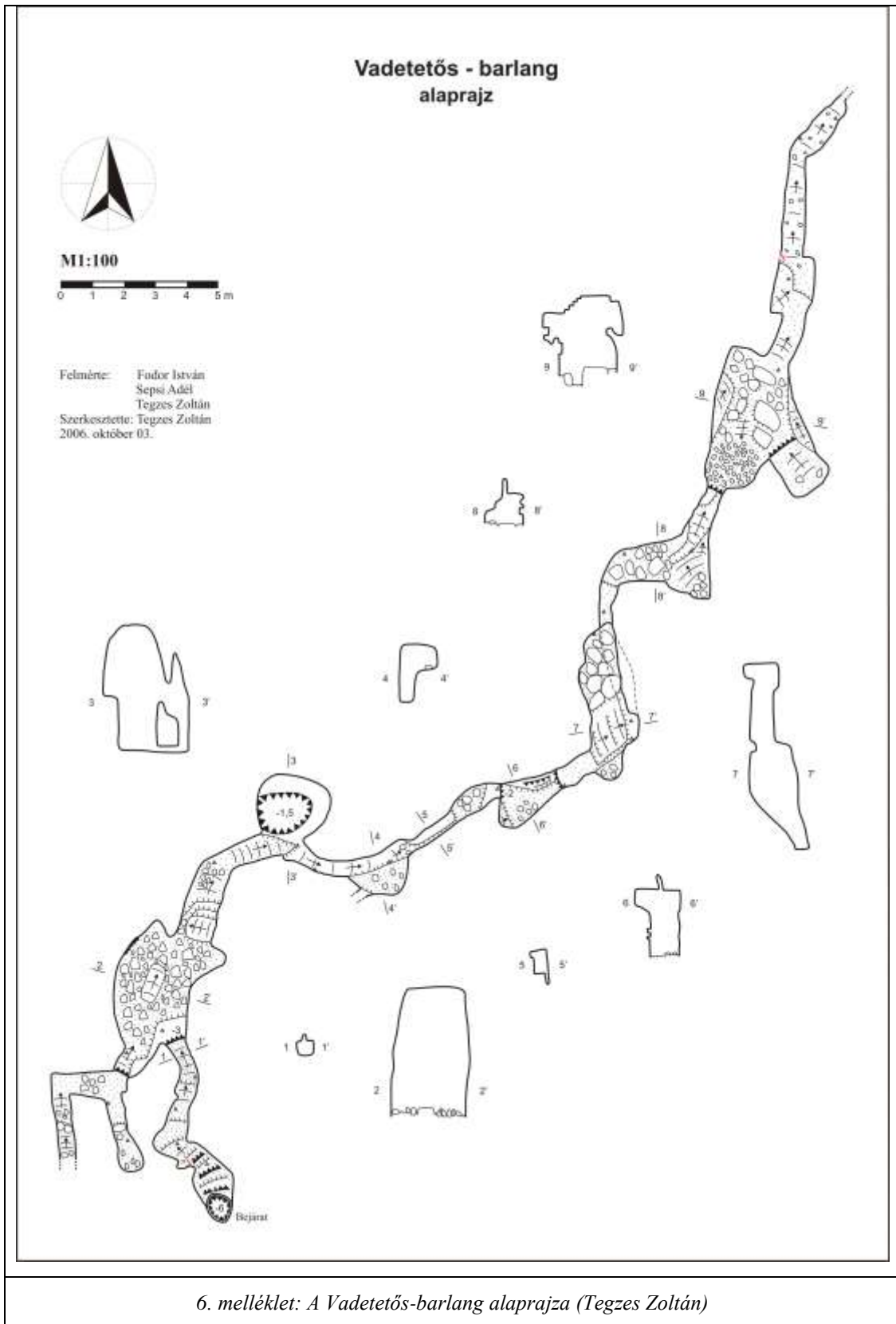
Szajha felső – barlang
alaprjz

M1:100



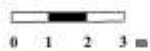
Felmérte: Pro Natura KBE
Szerkesztette: Tegzes Zoltán
2005. december 20.

5. melléklet: A Szajha-barlang alaprajza (Tegzes Zoltán nyomán)



PIETRÓ – BARLANG

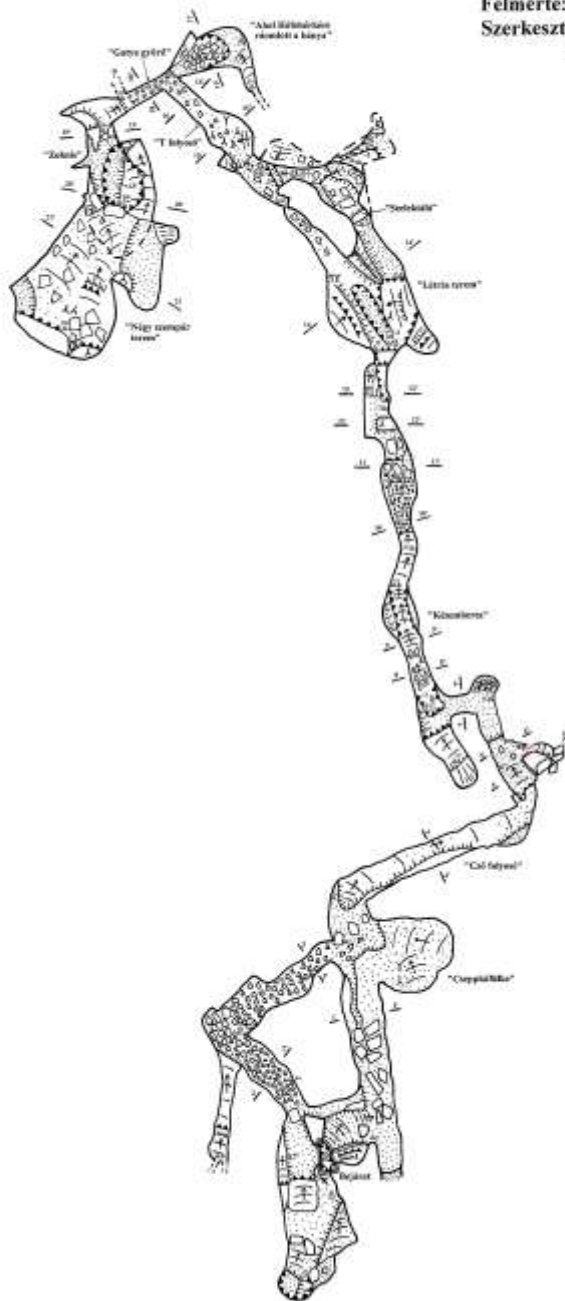
Alaprajz



M1:100



Felmérte: Pro Natura KBE
Szerkesztette: Tegzes Zoltán
2001-2002



7. melléklet: A Pietró-barlang alaprajza

Ábrajegyzék

1. ábra. A ^{222}Rn az urán-rádium sorozat közbenső terméke (Breuer H. 2000)	9
2. ábra. A Mecseki uránérctelep vázlatos szelvénye (Fülöp J.1994).....	13
3. ábra. Abráziós felszínek elhelyezkedése Abaliget közelében (Lovász Gy. 1971)	17
4. ábra. Az Abaligeti-karszt szerkezeti térképe (Lovász Gy. 1971).....	18
5. ábra. Az Abaligeti-karszt dolinasorai (Lovász Gy. 1971).....	18
6. ábra. A Nyugat-mecseki nagy karsztforrások vízgyűjtő területeinek lehatárolása	19
7. ábra. A vizsgált barlangok bejáratának területi elhelyezkedése (Bíró L nyomán).....	20
8. ábra. A nyelők elhelyezkedése a Szuadó-vögyben.....	21
9. ábra. Epigenetikus mészkővölgyben hátravágódó többszakaszos batükaptúra szelvénybeli tükröződése (Jakucs L. 1971)	22
10. ábra. Emeletes B karsztvízszint értelmezése többlépcsős batükapturával a karszterózióbázis nagymértékű süllyedésének esetében (Jakucs L. 1971).....	22
11. ábra. A Trió-barlang Őrszem-termében mért radonkoncentráció, 2006.	25
12. ábra. A hőmérsékleti és légnyomásviszonyok alakulása a felszínen, Mecsek, 2006. ...	26
13. ábra. Trió-barlang Agyagos-ágában mért radonkoncentráció, 2007.	27
14. ábra. A felszíni hőmérséklet és légnyomás alakulása, Mecsek, 2007.	27
15. ábra. Trió-barlang Őrszem-termében mért radonkoncentráció, 2007	28
16. ábra. Légnyomás és hőmérséklet viszonyok alakulás, Mecsek, 2007.....	28
17. ábra. A Gilisztás-barlang Csipkés-aknájánál mért radonkoncentráció, 2008.....	31
18. ábra. A felszíni hőmérsékleti és nyomásviszonyok alakulása, Mecsek, 2008.	31
19. ábra. Radonkoncentráció a Sára-forrásnál, 2007.....	33
20. ábra. Felszíni légnyomás és hőmérséklet alakulása, Mecsek, 2007.	33
21. ábra. A Szuadó-és Gilisztás-barlangok bejáratában mért radonkoncentráció, 2008	34
22. ábra. Légnyomás és hőmérséklet alakulása, Mecsek, 2008.	34
23. ábra. Az Aktív - és Sózó nyelő elhelyezkedése.....	36
24. ábra. A Sózó-barlang bejáratában mért radonkoncentráció, 1999-2002	37
25. ábra. Az Aktív-nyelő bejáratában mért radonkoncentráció, 2000-2002	38
26. ábra. A barlangok elhelyezkedése a karszterületen	39
27. ábra. A Szajha-barlang bejáratában mért radonkoncentráció, 2004.....	41
28. ábra. A felszíni légnyomás és hőmérséklet alakulása, V.üzem, 2004.	41
29. ábra. A Szajha-barlang bejáratában mért radonkoncentráció, 2002-2003.....	43
30. ábra. Felszíni légnyomás és hőmérséklet viszonyok alakulása, V.üzem, 2002-2003 ...	43
31. ábra. A Szajha-barlang közvetlen közelében elhelyezkedő zsombolyok és nyelők	45
32. ábra. A Vadetetős-barlang bejáratában mért radonkoncentráció, 2005.....	46
33. ábra. Légnyomás és hőmérséklet alakulása a Mecsekben, 2005.	46
34. ábra. Radonkoncentráció a Vadetetős-barlangban, 2004.	47
35. ábra. A Vadetetős-barlang bejáratában mért radonkoncentráció a felszíni hőmérséklet függvényében, 2006 (TEGZES Z. 2007).....	48
36. ábra. Radonkoncentráció a Vadetetős-barlang bejáratánál és végpontján, 2008	49
37. ábra. Légnyomás és hőmérséklet viszonyok alakulása, Mecsek, 2008	50
38. ábra. A Pietró-és Tüskés barlangok elhelyezkedése a kutatási területen	51
39. ábra. Radonkoncentráció a Pietró balangban, 1995	52
40. ábra. A Tüskés-barlang bejáratában mért radonkoncentráció, 2002.	54
41. ábra: Légnyomás és hőmérséklet alakulása, Mecsek, 2002.	54
42. ábra. A Tüskés-barlang és a Pietró-barlang bejárat zónájának radonkoncentrációja a lezárás idején, 2003.	56
43. ábra. Felszíni légnyomás és hőmérséklet változása a barlangbejárat lezárásának idején, 2003.	56

Képjegyzék

1. kép. A detektor elhelyezése az Őrszem- teremben, 2007.....	29
2. kép. Az Aktív-nyelő bejárata.....	38
3. kép. A műszer néhai helye a Szajha-barlangban	40
4. kép. A Szajha alsó becsatlakozása.....	40
5. kép. Radondetektor a bejárati zónában.....	45
6. kép. Radondetektor a végpontnál	45

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat. Völgytalpi helyzetű barlangok	24
2. táblázat. Hegyoldali helyzetű barlangok	40
3. táblázat. Hegytetői bejáráttal rendelkező barlangok.....	51