

B-315/2000

Szűcs Norbert

Debreceni Egyetem, V. éves fizika tanár szakos hallgató



A környezet hatása a Szemlő-hegyi-barlangra

Tudományos Diákköri dolgozat

Témavezetők: **Dr. Hunyadi Ilona**
Dr. Csige István

Készült az MTA Atommagkutató Intézetében
2000.

Mottó: "Talán egyetlen tudomány fejlődésében sincs annyi példa a vakmerő kockáztatásokra, az emberfeletti fizikai teljesítmények vállalására és véghezvitelére, az ábrándokban való mélységes csalódásokra, vagy éppen az ábrándoknak minden fantázián túlszárnyaló pazar megvalósulására, mint éppen a barlangkutatás történetében." (Kordos László: Magyarország barlangjai, Gondolat, Bp., 1984)

Előszó

Az egyik napon az Elméleti Fizika Tanszék könyvtárában ültem, amikor talákoztam egy felsőbb éves egyetemista fizikussal. Beszélgettünk, hogy ki mit csinál, és hogyan képzei el a jövőjét. Ekkor említette meg nekem, hogy legutóbb egy barlangban járt, és hogy az ott folyó mérések milyen érdekesek. Ezen beszélgetésen felbuzdulva megkerestem az ATOMKI Radon Csoportját, hogy érdeklődnék az itt folyó kutatás iránt. Tárt karokkal fogadtak, és elkezdtem a munkát Hakl Józseffel a csoport egyik munkatársával. Ő vitt el először barlangba és mondott el a témával kapcsolatban mindent, amire csak kíváncsi voltam. A csoporttól való távozása után Hunyadi Ilona OTKA témavezető irányításával vittem tovább a témát. Nagyon sok elméleti és technikai segítséget kaptam Csige Istvántól a Radon Csoport jelenlegi vezetőjétől is, aki szintén témavezetőm lett.

Az egyetememnek is sokat köszönhetek, hiszen sok olyan kurzus indul a Debreceni Egyetemen, ami ezzel a területtel foglalkozik. Külön kiemelném Dezső Zoltán tanár úr által meghírdetett előadássorozatot, ahol az érdeklődő hallgató a környezetfizikáról, a környezeti radioaktivitásról és hatásairól átfogó képet kaphatott.

Bevezetés

1997 novemberében jelentkeztem az MTA Atommagkutató Intézet Radon Csoportjánál TDK munkára, mint a KLTE III. éves fizika tanár szakos hallgatója, hogy szeretnék a náluk folyó barlangi kutatásokba bekapcsolódni. Hakl József a csoport tudományos munkatársa a következő hétvégén éppen barlangba készült. Így életemben először barlangásként a Veszprémtől északkeletre lévő Tési fennsíkon lévő Alba-Regia barlangban voltam vele. Ez a barlang közismerten nagyon nehezen mászható, bár nagyon szép. Emlékezetessé ezt a túrát mégsem a barlang szépsége tette. Először is minden védőruhánkat itthon felejtettük, majd a kölcsönkapott lámpa is felmondta félúton a szolgálatot. Ezt a balszerencsesorozatot a sors még azzal tudta tetézni, hogy a barlangból előttünk kijövő csoport lezárta a kijáratot, azt gondolva, hogy már nincs lent senki. Nagy nehezen sikerült kinyitni, és épségben elhagyni a barlangot. De ez a kaland sem tántorított el attól, hogy barlangos témával foglalkozzam az ezt követő években.

A magyarországi barlangok levegőjében található radon koncentrációjának szisztematikus vizsgálatát az ATOMKI Nyomdetektor Csoportja kezdte el 1977-ben dr.Somogyi György, a csoport akkori vezetője irányításával. A radon, mint természetes nyomjelző, nyomdetektoros mérése, a Szemlő-hegyi-barlangban, már 1985-ben elkezdődött. Géczy Gábor egy TDK dolgozatában (1986), és a szakdolgozatában (1989) már konstruált egy a Szemlő-hegyi-barlangra, illetve az ilyen típusú barlangokra jól alkalmazható fenomenológikus légkörzéses modellt. A kapott mérési adatokat e modell segítségével próbálták értelmezni és az eredményeket a csoport munkatársaival közösen írt (nemzetközi) publikációkban is ismertették.

1998 februárjában az ATOMKI Radon Csoport a T016558 számú OTKA kutatási szerződés keretében egy új kutatási programot kezdett a Szemlő-hegyi-barlangban. Az én feladatom lett az ebben való hatékony közreműködés, a mérések folyamatosságának biztosítása és a kapott eredmények kiértékelése az új kutatási sorozat megvalósítása érdekében.

Így az itt ismertetésre kerülő eredmények elérésében meghatározó szerepem volt, és úgy érzem, hogy nagy lépést tettem a kutató munkához szükséges gyakorlat megszerzése terén.

Célkitűzés: 1998. februárjában indítottuk az itt bemutatásra kerülő kutatási programot a Szemlő-hegyi-barlangban, azzal a céllal, hogy komplex, átfogó ismereteket nyerjünk a barlangi és a felszíni klíma kapcsolatáról, a barlangban lejátszódó légáramlások kialakulásának okairól. Feltételeztük, hogy a transzport folyamatok tanulmányozásából esetleg új barlangi járatok elhelyezkedéséről, eddig nem ismert áramlási útvonalakról is kaphatunk információkat.

A Szemlő-hegyi-barlang és földtani viszonyai

"A barlang a földkérget alkotó kőzetben kialakult olyan természetes üreg, amelynek hossztengelye meghaladja a 2 métert és mérete egy ember számára lehetővé teszi a behatolást." (1982/4.sz.T.e.r. és annak végrehajtásáról szóló 8/1982.sz. M.T.r.). Magyarországon a Barlangtani Intézet 2687 barlangot tart nyilván, melyek döntő többsége karsztos barlang. A Budai-hegységben 174 barlangot jegyez az Intézet. Földünk szilárd kőzetrétegének kb. 4 %-a karsztosodott. A karbonátos kőzetekben érvényesülhetett legjobban a csapadékvíz és a karsztvíz találkozási zónájában az üregképző hatás. Ismeretesek ezen kívül a gipsz és sókarsztok, sőt a vulkanikus kőzetekben képződött barlangok is. Barlangjaink keletkezésének különféle változatai közül a leggyakoribb a víz hatásának köszönhető. A legfontosabb a víz oldóhatása, ezt nevezzük korróziós barlangképzésnek, és lényeges folyamat a víz által sodort szemcsék koptató hatása is, ezt eróziós barlangképzésnek nevezzük. A folyamat általában együttesen játszódik le, ennek legjellegzetesebb példája a Budai-hegység barlangjainak keletkezése, a feltörő meleg hévizek és a felszíni vizek találkozásakor. A Budai-hegység a Keszthelyi-hegységtől a Duna balparti rögökig terjedő Dunántúli-középhegység része. A Budai-hegység a Duna vonalában található a Pesti-síksággal. Budapesten található a Rózsadomb fennsíkja (1.ábra), ami magába foglalja a Mátyás-, Szemlő-, Ferenc- és József-hegyet és közvetlen környezetét. A Szemlő-hegy alatt csekély mélységben (60-100 méter) helyezkedik el az általam vizsgált Szemlő-hegyi-barlang. A mai napig feltárás alatt álló barlang jelenlegi hossza 2201 m, ezzel Magyarország 20. leghosszabb barlangja. A természetes bejárata 200 m tengerszint feletti magasságban nyílik. A hegy fő tömegének építő eleme az eocén korabeli (a harmadidőszak 54 millió éve kezdődött és 36 millió évvel ezelőtt befejeződött szakasza) nummuliteszes mészkő és a budai márga is. A nummulitesz kihalt, egysejtű állat, a lencsényi mészvázak népies neve Szent László pénze.

A Szemlő-hegyi-barlang feltárása és kutatása 1930. őszén kezdődött. Egy a Zöldmáli út mellett fekvő telken, a mai Barlang utca 10. számú telken kőfejtés közben szűk, mélybevezető nyílásra bukkantak. Miklóssy Géza gyógyszerész, a telek tulajdonosa értesített a Budapesti Egyetemi Turista Egyesületet, barlangkutatóit, akik Sebő Károly és Futó András személyében szeptember 15-én leereszkedtek a barlangba. A barlang első feltárt részét Örvény-folyosónak nevezték el. Szeptember 20-án Kessler Hubert és Futó András újból kiszállt és az egyedülálló képződményekkel teli Rózsalugasba, majd a nagyméretű Óriásfolyosóba és a Hosszúfolyosó egy részébe is sikerült bejutniuk. Ekkor derült fény arra, hogy a falakat a hazai barlangokban addig nem látott mértékben borító kőrózsák, borsókövek anyaga nem a cseppkövekből ismert kalcit, hanem aragonit borítja, mely a melegvízből válik ki. Ez, valamint a gipszkristályok jelenléte

bizonyította a barlang hévizes eredetét. A barlang jellegzetes mészkő képződményei még napjainkban is folyamatosan fejlődnek. A világháborút követő gazdátlanságot, mint minden magyarországi barlang ez is megsínylette, nagyon sok szép képződménnyel lett szegényebb. Horváth János vezetésével 1961-62-ben a barlangról nagyon pontos felmérést végeztek, mely a későbbi kiépítés alapjául is szolgált. Az Országos Természetvédelmi Hivatal 1974-ben megkezdte a kiviteli munkákat a Szemlő-hegyi-barlang kiépítésére. A barlangban egy 45 m mély liftaknát építettek és közel 1000 méteres túraútvonalat hoztak létre. A barlang és a kapcsolódó létesítményeinek ünnepélyes megnyitására 1986. október 23-án került sor.

A Barlangtani Intézet jelenleg 9 idegenforgalmi barlangot tart nyilván hazánkban és ezek között jelentős szerepet vállal a Szemlő-hegyi-barlang. A Szemlő-hegyi-barlangban évi 15-20 ezer látogatót fogad. 1990. óta a Budapesti Szent János Kórház Barlangterápiás részlege is itt működik. A krónikus légzőszervi megbetegedésben szenvedők kezelése igen jó eredményt mutat, átlagosan a betegek 90-95 %-ának javult az állapota a kb. 4 hetes kúra során. A gyógyszerfogyasztást a kezelés után a betegek 27%-a elhagyta és 60 %-a csökkentette (Karszt és Barlang, 1990/II.). A II. világháború után jöttek rá az orvosok, hogy a barlangban való tartózkodás jó hatással van a légzőszervi betegekre. A tapasztalat megerősítése és magyarázata a következő évtizedekre várt. A barlangi légtér por-, toxikus, izgató és egyéb allergénanyag-mentessége az irritáció kizárását teszi lehetővé. A barlangi levegő bakteriális-viriális sterilitása az újrafertőződés lehetőségének kizáródásához vezet. A hőmérséklet-változások hiánya, és a jelentősebb légáramlások hiánya nagyban csökkenti a stresszhatásokat. A barlangi levegő magas relatív nedvességtartalma (80-100%) megnyugtatja a szervezetet. A gyors légköri frontok és az elektroszmog hiánya a szokatlan föld alatti környezet, csend, fényszegénység stb. lélektani hatásai elősegítik a biológiai ritmus helyreállítását, a vegetatív idegrendszer tónusát pedig kiegyensúlyozzák.

A barlangban a levegő fő összetevői (oxigén, nitrogén) lényegében azonosak a felszíni levegőével, csak az egyéb kis koncentrációjú anyagok százalékos összetevőiben van különbség. Egyik ilyen fontos elem a CO_2 , amely a felszíni levegőben 0,03 %-ban van jelen, itt viszont értéke megközelíti a 0,08%-ot. A szén-dioxid nagyobb koncentrációja okozza azt, hogy a barlangban szaporább a légzés, mélyebbek a levegővételek, és ezáltal a levegővételkor a kisebb hörgők is aktívvá válnak, és kitisztulnak. Így barlangi légtér átlagosnál magasabb széndioxid tartalma és 10-12 °C körüli föld alatti környezet hűvössége a légzésmélység fokozódását, és az anyagcsere folyamatokat felgyorsítja.

A karsztbarlangokban a radioaktív sugárzás általában a felszíni környezetnél lényegesen nagyobb. Bár a kozmikus sugárzás jó része elnyelődik a fedő kőzetekben, a barlangi légtér megnövekedett radon tartalma a kezelés ideje alatt a páciensek dózisterhelését is megnöveli. A radon szerepe a gyógytényező

kialakításában jelenleg még nem egyértelműen tisztázott. A közvetlen hatást mint dózisterhelést kezelik, de a radioaktív bomlások közvetett hatása a barlangi levegő negatív iontartalmának és aeroszol sűrűségének növelésében mindenképpen pozitívan értékelendő.

A természetes radon, mint a barlangi mikroklíma nyomjelzője

A barlangi vizsgálatok során a legnagyobb hangsúlyt a radon koncentráció, mint természetes nyomjelző időbeli megfigyelése kapta. A természetben három bomlási sor található, ezek mindegyike tartalmaz egy-egy radonizotópot. A bomlási sorok anyaelemei a ^{238}U , ^{232}Th , ^{235}U , a radonizotópok közvetlen anyaelemei a rádiumizotópok. Az ^{238}U bomlási sorában a ^{226}Ra -ból egy alfabomlással keletkezik a ^{222}Rn (radon), ami szintén alfabomló 3,82 nap felezési idővel (2.1.ábra). A ^{232}Th bomlási sorában a ^{224}Ra -ból alfabomlás során ^{220}Rn (toron) keletkezik, aminek felezési ideje 55 mp. A ^{235}U bomlási sorában keletkező ^{219}Rn (aktion) szerepe elhanyagolható 3,9 mp-es felezési ideje, valamint a természetes uránban található igen kis ^{235}U koncentráció miatt. A földkéreg anyaga átlagosan 3-4 g/t urániumot és 10-12 g/t tóriumot tartalmaz. Ezek bomlásterméke a radon, illetve a toron. A radon a relatív hosszú felezési ideje miatt leginkább alkalmas a felszín alatti lég és vízmozgások nyomjelzésére, hiszen ez az alfa-sugárzó nemesgáz többszáz méter távolságot is meg tud tenni, mielőtt elbomlana polóniummá. A barlangi légtérben jelenlévő radon legnagyobb része a kőzetben jelenlévő rádiumtól származik. A radon kőzeten belüli (lehetséges) útját a 2.2.ábra illusztrálja. A keletkező radon atomoknak először ki kell jutniuk a kristály és a talajszemcsék közötti pórusokba. A kristályrácsban keletkező radon az anyaelem bomlásakor visszalökődés útján jut ki a pórustérfogatba, ez az úgynevezett direkt visszalökődési hányad. A visszalökődés során azonban igen kicsi annak a valószínűsége, hogy a radonatom éppen a pórustérfogatban áll meg, sokkal valószínűbb, hogy a keletkező Rn atom a pórustérfogaton áthalad és a szomszédos szemcsékben fékeződik le. Más a helyzet azonban, ha a pórustérfogat részben, vagy egészben vízzel telített. Ekkor a kristályból kilökött radonatom már nagyobb valószínűséggel áll meg a pórustérfogatban lévő vízben, ahonnan azután könnyű szerrel kidiffundál a pórustérfogat levegővel töltött részébe. A szemközti szemcsében lefékeződött radonatom is kiszabadulhat a sugárrombolt csatorna vízzel való kémiai oldódása útján, ezt indirekt visszalökődési hányadnak nevezzük. Az ilyen módon kiszabadult radonatomok keveredve a pórusteret kitöltő levegővel, vagy a vízben oldódva, radioaktív bomlások révén a felszín alatti lég- és vízmozgások nyomjelzőjévé válnak. A radon szokásos koncentrációja talajban $5\text{-}50\text{ kBqm}^{-3}$,

barlangokban $1-15 \text{ kBqm}^{-3}$, épületekben $10-100 \text{ Bqm}^{-3}$, a szabad levegőn $2-20 \text{ Bqm}^{-3}$ között mozog.

A hegyláb típusú barlangok egyszerű légkörzési modellje

A barlangászok és a barlangok közelében élő emberek az idők során már régen megfigyelték azt, hogy a barlangok bejáratán át szezonálisan eltérő irányú légmozgás alakul ki. A megfigyelések értelmezésére kitalált egyszerű légkörzési modellt szemlélteti a 4. ábra. Amint az jól látható, télen a külső hideg levegő a bejáraton keresztül áramlik be a barlangba, s a kőzetek által felmelegítve felszáll (kémény-hatás), és a repedésrendszeren keresztül hagyja el az üregrendszert. Nyáron a külső meleg levegő a repedésrendszerbe jutva lehűl, s a külső meleg levegőnél nagyobb fajsúlya következtében szinte kifolyik a barlangból annak bejáratán keresztül. Ez utóbbi esetben jön be a barlang légterébe a repedésrendszerből a nagyobb aktivitású, radondús levegő, míg télen kis aktivitású levegő áramlik be a bejáraton keresztül. A fenti légkörzési modellt alátámasztják a barlangban tapasztalható huzatirányok is, de a legfőbb közvetett bizonyítékot az adja, hogy a modell segítségével sikerült értelmeznünk a barlang légterében mért radon aktivitáskoncentráció időbeli, szezonális változását. Az ilyen típusú légkörzés a vízszintes, hegy oldalába nyíló barlangokra jellemző.

A modell szerint a barlangon belül mérhető radonkoncentráció változásának éves menete jó korrelációt mutat a felszíni hőmérséklet alakulásával. A jelenséget a következőképpen értelmezhetjük. A radonkoncentráció telítési értékét egy repedésben az üreg felület/térfogat aránya határozza meg. A szűk repedésrendszerben ez az érték jóval nagyobb, mint a tágasabb barlangjáratokban. Nyáron a levegő a repedésrendszer irányából érkezik a barlangba, nagymennyiségű radont magával szállítva megemeli a tágasabb járatok légmozgások nélkül kialakuló radonszintjét. Télen a hegyoldalban nyíló bejáratokon át elhanyagolható radonkoncentrációjú levegő áramlik a barlangba, és ameddig ez a felszíni levegő bejut felhígítja az ott kialakuló telítési radonszintet.

Azt gondolhatnánk, hogy a barlangterápiás kezelés akkor igazán hasznos, ha nyár van. Ekkor ugyanis a barlangba áramló levegő a repedésrendszeren keresztül szűrődik meg, és válik pormentessé, de ezzel együtt kerül a légtérbe a radioaktív radon is, amely sugárdozimetriai kérdéseket is felvet. A radon közvetlen gyógyító hatása nem bizonyított, bár kizárni sem lehet. Azonban közvetve a radonkoncentráció időbeli és térbeli vizsgálatának segítségével minősíteni lehet, egyes barlangszakaszok gyógyhelyi alkalmasságát, és ki lehet választani a legalkalmasabb terápiás helyeket és időszakokat.

A kutatás során felhasznált mérőműszerek

Az 1998. február 21-én a Szemlő-hegyi-barlangba telepített mérőeszközöket működési elvük alapján két nagy csoportba sorolhatjuk. Az egyik a **szilárdtest nyomdetektoros** radonmonitor (Radamon). A Radamon egy kistérfogatú diffúziós edény (7 cm^3), amiben egy alfasugárzásra érzékeny (1 cm^2 felületű) CR-39 típusú nyomdetektor segítségével detektáljuk a radontól származó alfabomlásokat. Az általunk használt CR-39 nagyérzékenyséű és optikailag kedvező tulajdonságú detektort TRASTAK márkanév alatt a bristoli Egyetemen (Anglia) gyártják. A 34 mm átmérőjű és 16 mm magas henger alakú, műanyagból készült diffúziós edény fedőlapjához egy 0,3 mm-es rézkupola tartozik, amely az egyenletes nyomsűrűséget biztosítja. Az alaplapon helyezkedik el maga a nyomdetektor, amelyet ragasztóval rögzítünk. A távtartó borda funkciója a detektor felület-térfogat arányának a növelése, továbbá a belépő nyílásokat letakaró hidrofob szűrőpapír rögzítése. A szűrő fólia a levegőben lebegő szilárd aeroszolok és a radon bomlástermékek leválasztására szolgál. A csak radon mérésére alkalmas Radamonok még egy polietilén fóliát is tartalmaznak, amely az előzőeken kívül a toron kiszűrésére is alkalmas. Az alfabomlások által létrehozott roncsolást a nyomdetektor fólia kémiai maratásával feltárjuk, "olvashatóvá tesszük" és az alfarészecskék becsapódási helyein lévő kb $10 \mu\text{m}$ átmérőjű nyomokat mikroszkóp alatt leszámoljuk. Ismerve a Radamon érzékenységet, amit a Radon Csoport nemzetközi összeméréseken határozott meg, a mért nyomszámból meg tudjuk határozni a radon átlagos aktivitáskoncentrációját Bq/m^3 egységben.

A másik mérési módszer egy elektronikus mérőeszközön alapszik. A terepen mikroelektronika segítségével a folyamatos radonmérést úgy sikerült megoldani, hogy a nyomdetektoros mérési eljáráshoz kifejlesztett mérőpohár geometriájú csőben a nyomdetektort egy spektroszkópiai igényű **Si félvezető detektorral** helyettesítjük és a jelfeldolgozó és adattároló elektronikát valamint az energiaellátást adó ceruzaelemet egy a mérőtérfogatnál alig nagyobb térfogatba sűrítjük. A mérés biztonságos menete érdekében olyan védelemmel kell ellátni ezt a berendezést, hogy ellenálljon a mostoha körülményeknek. A rozsdamentes csőburkolat a több mint 10 éves tapasztalatok alapján megfelelőnek bizonyultak. A berendezés folyamatosan végzi a mérést és az általunk megadott kiolvasási idővel automatikusan eltárolja az adatokat az eszköz memóriájába. A berendezést a Balatonalmádi Dataqua Kft gyártja, két fajta felszereltséggel. A különbség a mérőberendezések mérőcsatornáinak számában van, az egyik egycsatornás, míg a másik négycsatornás. Az egycsatornás csak radonkoncentrációt mér, míg a másik ezen kívül hőmérsékletet és légnyomást is.

A félvezető detektorok elvben ugyanúgy működnek, mint az ionizációs kamrák, azaz egy töltött részecske a detektor térfogatban pozitív és negatív töltéseket szabadít fel, amelyek elektromos tér hatására a félvezető detektor határoló

felületein elhelyezett elektrodákhoz áramlanak és azokban feszültség impulzust keltenek. Ezek amplitúdója arányos a szabaddá vált töltéshordozók számával, tehát a részecske energiájával. Nagy előnyük a jó energiafelbontás és a "real time" működési mód. Az egy és többcsatornás Dataqua radon érzékelője egy 1 cm^2 -es Si fotodióda, illetve egy 3 cm^2 -es Si- félvezető detektor.

A jelen kísérleti periódusban végzett radonmérést az teszi még komplexebbé, hogy most először használjuk fel a közelmúltban üzembe helyezett klímamonitor állomás által mért adatsorokat is. A barlangi klímamonitor állomást Stieber József okleveles metrológus, barlangklimatológiai szakértő installálta az ATOMKI és a Stiebertech Bt. együttműködésével, részben OTKA kutatás támogatásával. Így szintén rendelkezésünkre áll a külső hőmérséklet a belső-, nedves- és száraz hőmérséklet a széndioxid térfogati koncentrációja és a nyomáskülönbség, amelyet egy differenciál nyomá szenzor jelez a barlangi és külső nyomás különbségeként. Mindezen adatokat egy a helyszínen telepített számítógép rögzíti. Sajnos a számítógép a mostoha körülményeket nem szereti, így az adatsorok hiányosak. A mérési program során felhasználtam még a Kiss Jenő vezetésével tevékenykedő helyi barlangász csoport által készített hőtérképet is.

Az új mérési sorozat során felhasznált mérőberendezések elhelyezkedését a barlangról készült sematikus rajzon a 3. ábrán jelöltem be. A helyi barlangász csoport által telepített hőmérők mérési helyeit nem tüntettem fel, mert a barlang egészén több mint 30 helyen jelen lévő hőmérő bejelölése túl zsúfolttá tette volna az ábrát.

Mérési eredmények a Szemlő-hegyi-barlangban

Kísérleti körülmények: A közel 2 éves mérési program során nyomdetektoros radon monitorokkal (Radamon) folyamatosan mértük a radon aktivitáskoncentrációját a barlang teljes hosszán elosztott 13 mérő helyen havonkénti cserével. Az egymástól nagyjából egyenlő távolságra kijelölt mérőhelyek többsége egybeesik a korábbi, a 80-as években végzett nyomdetektoros mérési pontokkal. Elhelyeztünk továbbá 1 db egycsatornás Dataqua műszert a Ferencvárosi-teremben és 3db négycsatornásat a Boszorkánynál, a Kereszthasadéknál és a Gombszaggatónál, 1 órás kiolvasási ciklussal telepítve. Az egycsatornás műszer csak a légtéri radon aktivitáskoncentrációját méri, míg a négycsatornás ezen kívül az atmoszférikus nyomást és a mérőhely közeli hőmérsékletet is rögzíti. Felhasználtuk továbbá a klímamonitor állomás adatait is, melyek szintén 1 órás kiolvasási ciklussal rögzített az adatgyűjtő számítógép.

A **nyomdetektoros megfigyelések** első eredményeként a két barlanglejárát profilmérését ismertetem, amely az 5. ábrán látható. Ez egy egyszeri 44 napos expozíciós idővel (1998.03.02-1998.04.15) végzett megfigyelés. A nyomdetektorokat a lejáratokon megpróbáltuk úgy elhelyezni, hogy a detektorok egyforma távolságokra legyenek egymástól. Jól látható, hogy a Lejtaknán a bejáratától kezdve a barlang felé (P7-P1) a radon aktivitáskoncentrációja nő. Ez megfelel a várakozásnak, hiszen a külső levegő hígításos hatását vártuk. Az Örvényfolyosói lejáróban inkább úgy néz ki, mintha két különböző aktivitású szintet metszene keresztül a járat. A mérési eredményből kitűnik, hogy sikerült olyan időintervallumot választanunk, amikor a lejáratokban lévő levegő szinte áll, vagyis nincs meghatározó huzatirány. Ez azzal magyarázható, hogy a külső és a barlangi hőmérséklet a tavaszi időszakban közeli, így nincs se kifújás, se befújás. A Lejtaknán mért értékek minden bizonnyal azért alacsonyabbak, mert ez egy mesterséges, kibetonozott vájat, így a repedésrendszerből nem tud olyan mértékben idekerülni a radon, mint a természetes eredetű Örvényfolyosói lejáróba.

A folyamatos monitorozásra szánt szilárdtest nyomdetektorokat megpróbáltuk a barlang jellegzetes helyein elhelyezni. A nyomdetektorok, amelyeket folyamatosan 4-6 hetenként cseréltem, a légkörzéses modellből következő radon aktivitáskoncentráció változásoknak megfelelő eredményt adtak, az átlagolt értékeket a 6.1. ábrán ábrázoltam. Télen (1998.11.19.-1999.02.09) a radon aktivitáskoncentrációja alacsonyabb, mint nyáron (1998.06.01-1998.09.01), és a barlang jobban szellőző (kijáráthoz közeli) járatainál kisebb, mint a belső barlangi járatoknál, és ez a modellből következő globális légáramlás meglétét indikálja.

Az egyszerű légkörzéses modell azonban nem tudja értelmezni a Szemlő-hegyi-

barlang minden járatában és teljes hosszán a barlangi levegő áramlásának változásait. A SZIKKTI Barlangkutató Csoport Kiss Jenő vezetésével hőmérséklet méréssel szándékozott felderíteni a barlangban kialakuló légmozgások részleteit. Mintegy 30 db hőmérőt helyeztek el a barlang ismert járatai mentén, és kb. 6 óránként egy éven át gyűjtötték az adatokat. A mért hőmérsékleti adatokból elkészített hőmérséklet térképek egy részletekben gazdagabb légkörzési modellhez vezettek. Ez a légkörzési kép (6.2.ábra) sokban eltér az egyszerű légkörzési modellből következő globális képtől. Ennek megfelelően a légmozgás okát nem csak a külső hőmérséklet változásában kell keresnünk. Bizonyos szakaszokon számottevővé válhatnak a barlang mélyéig húzódó repedéseken feláramló melegebb légtömegek hatásai is. Az egyszerű légkörzéses modellből következő és a kiterjedt barlangi hőmérséklet mérésekből valószínűsített légmozgások eltérése megfelel a várakozásoknak és könnyen indokolható azzal, hogy a Szemlő-hegyi-barlang vízszintes főjáratához, a modell barlangtól eltérően, többszintes, bonyolult felszínig húzódó üregrendszerek csatlakoznak.

A barlangok egészének belső hőmérséklete általában konstans, értéke az éves középhőmérséklet körüli, bár kisebb lokális változások előfordulhatnak. A helyi barlangkutató csoport által készített hőtérkép szerint a barlang hőmérséklete a bejáratától a barlang végéig folyamatosan nő: 11,8 °C-tól 13,2 °C-ig. Ennek magyarázata valószínű az lehet, hogy a barlang belseje felé menve egyre erőteljesebb feláramlási helyek vannak, és a mélyből melegebb hőmérsékletű levegő érkezik. Ezt alátámasztja az a megfigyelés is, hogy a mai napig alakul a barlang, és a belső formakincsre jellemző borsókövek a mai napig folyamatosan képződnek. Mindazonáltal vannak kutatók akik azt állítják, hogy ezek a barlangok már nem aktívak, a fejlődésük régen leállt. Méréseink értékes adatokkal járulhatnak hozzá e problémakörhöz is.

A félvezető detektoros műszerek éppen ehhez a problémakörhöz szolgáltatnak további fontos eredményeket (7.ábra). A Dataqua műszerek nem egy hónapos átlagolt értéket adnak, mint a nyomdetektoros Radamonok, hanem óras pontossággal tudomást szerezhethetünk a barlangban lejátszódó klimatikus változásokról, és a légmozgások gyors, dinamikus változásáról.

A műszerek elhelyezésénél (3.ábra) arra törekedtünk, hogy a mérési helyek a barlang környezettel való kapcsolata szempontjából meghatározók legyenek. A Ferencvárosi-terem (D1) kapocs a barlang felső és alsó járatai között és a turistaútvonal első állomása. A Boszorkány (D3) az útvonal utolsó állomása és itt fiatal borsókövekre is leltünk. A Kereszthasadéknál (D4) egyértelmű széles keresztrepedés húzódik a mélybe, aminek látható mélysége kb. 10-15 méter. Gombszaggató (D5) egy a barlang hátsó és első részeit összekötő keskeny járatrész.

Az adatsorokból kitűnik, hogy a barlangi radonkoncentráció követi a külső hőmérsékletet. Ez különösen szembetűnő a több napos változásoknál. Napi

változással való korrelációt csak abban az esetben észleltünk, amikor a barlangi és a külső hőmérséklet nagyjából megegyezik, vagyis tavasszal és ősszel (11.ábra). A nyári maximum jól megfigyelhető a Boszorkánynál (10.ábra), a Kereszthasadéknál (8.ábra) és a Gombszaggatónál (9.ábra) is. Megfigyelhetjük azt is 7. ábrán, hogy a Kereszthasadékban mért radonaktivitás ugyanúgy és ugyanakkor változik, mint a Gombszaggatóban. Ebből arra következtethetünk, hogy e két járatrész közös légtérből kapja a radont tartalmazó levegőt, vagyis az ismert főjárat alatt lennie kell egy alsó járatrésznek is, amiből a radonban dúsabb levegő kijut a Gombszaggatótól a Hópalota alatt egészen a Kereszthasadékig.

A barlang hőmérsékleti viszonyaihoz érdekes adaléknak látszott, hogy míg két Dataqua műszer állandó hőmérsékletértéket mért, addig a turistaútvonal végén elhelyezkedő Boszorkánynál mért hőmérséklet változott (10.ábra). (A Dataqua hőmérői nem kalibráltak, ezért eltérnek az eredeti barlangi hőmérséklettől 1-1,5 °C-szal). Ez a jelenség úgy képzelhető el, hogy a mélyebb rétegekből feláramló melegebb levegő modulálja az itt mérhető hőmérsékletértékeket. Ezt a feltevést támasztja alá az is, hogy itt a Boszorkánynál jól látható friss borsóköképződményekre leltünk, aminek oka lehet, hogy a mélyebb rétegekből ásványi anyagokban dúsabb aeroszokat hordozó melegebb levegő áramlik fel és a levegőből kiválnak és beépülnek a falakat borító aragonit kristályok. Valószínűsíthető, hogy ez a 40-50 méterrel mélyebben húzódó hévforrások hatása. A szakemberek által jól ismert, hogy a Molnár János forrásbarlang napjainkban is aktívan formálódik. Az itt lévő melegvízű források hőmérséklete 30-36 °C. Ez a termálvíz kerül felhasználásra a Lukács-fürdőben és a Komjádi-uszodában.

A Boszorkánynál 1998. márciusában kapott adatsoron, amikor a barlangi és a külső hőmérséklet közeli értéket ad, részletesen megvizsgáltuk a napi változásokat (11.ábra). A grafikonon szemmel is jól látható napi két maximum. Ezek után Fourier spektrumanalízissel megvizsgáltuk a radonkoncentráció idősorát és úgy találtuk, hogy az atmoszférikus nyomás változásaira jellemző 12 és 24 órás periódus itt is megjelenik (12.ábra). Kiszámoltuk továbbá órás felbontással a napi radonkoncentráció március hónapra vonatkozó átlagát és összehasonlítottuk az ugyanezen időben ugyanígy számított lokális nyomással (13.ábra). Az ábrán jól látható, hogy a radon és a nyomás nagyon határozott antikorrelációt mutat. A barlang ezen pontján a kapott eredmények arra utalnak, hogy itt egy nagyobb, radonban dúsabb levegőellátású zsákszerű képződmény húzódik a mélyben. Ha a nyomás értéke nő, akkor a radon aktivitáskoncentráció csökken, vagyis befelé szív, míg ha a nyomás értéke csökken, akkor a radonkoncentráció nő, vagyis kifelé fújó légáramlás valósul meg. **Ezt a megfigyelésünket új eredményként könyvelhetjük el.**

Összefoglalás

Az 1985 óta havi átlagolással mért nyomdetektoros radon monitorok adatait a felszíni hőmérséklettel hozták összefüggésbe. A korrelációból felismertük, hogy nyáron és télen ellentétes irányú légkörzés jön létre a barlangban. Ez az egyszerű légkörzési modell bár globálisan tekintve helytálló, de nem tud számot adni a bonyolult barlang minden járatában ténylegesen létrejövő légmozgásokról. A SZIKKTI Barlangkutató Csoport a barlang egészére kiterjedő hőmérséklet térképezéssel jutott újabb eredményekre. Az ATOMKI kutató csoportjában 1998-ban több automatikus mérőállomást telepítettünk, melyek a radonnal egyidőben felszíni és barlangi klímáparamétereket is órás felbontással rögzítették. A közel két éves adatsorok értékelése azt mutatja, hogy a felszíni hőmérséklet akkor meghatározó a barlangi légkörzés irányára, amikor az állandónak tekintett barlangi hőmérséklet jelentősen eltér a felszínitől. Az átváltás időszakában (tavasz, ősz) egyes mérőhelyeken egyéb, a barlangi radon aktivitáskoncentrációt befolyásoló paraméterek, mint az atmoszférikus nyomás is fontossá válnak. A lokálisan kialakuló gyengébb légmozgások megismerése ráirányítja a figyelmet az eddig még be nem járt nagyobb légterű járatok valószínű elhelyezkedésére.

Egészében elmondhatjuk, hogy a barlangnak a környezettel való kapcsolata az egyszerű modellel leírhatónál sokkal összetettebb. Ez végeredményben megfelel az elvárásoknak, mert a Szemlő-hegyi-barlang bár horizontális fekvésű, de többszintes, bonyolult üregrendszeret alkot. A felső járatai több helyen is eléri a felszínt és a főbb törésvonalak menti mély repedések valószínűleg a termálvízszintig hatolnak. E hasadékok mentén érvényesülő termálvízhatás a mai napig is gazdagítja a falak kristályos kiválásait, azaz formálja a barlangot.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnék mondani a terepi mérések, az adatfeldolgozás és a dolgozat elkészítéséhez nyújtott segítségükért és hasznos tanácsaikért:

- témavezetőimnek: Dr. Hunyadi Ilonának és Dr. Csige Istvánnak,
- Dr. Hakl Józsefnek,
- Dr. Várhegyi András,
- Géczy Gábornak,
- Stieber Józsefnek,
- Molnár Gyulánénak,
- és a helyi barlangász csoport vezetőjének Kiss Jenőnek.

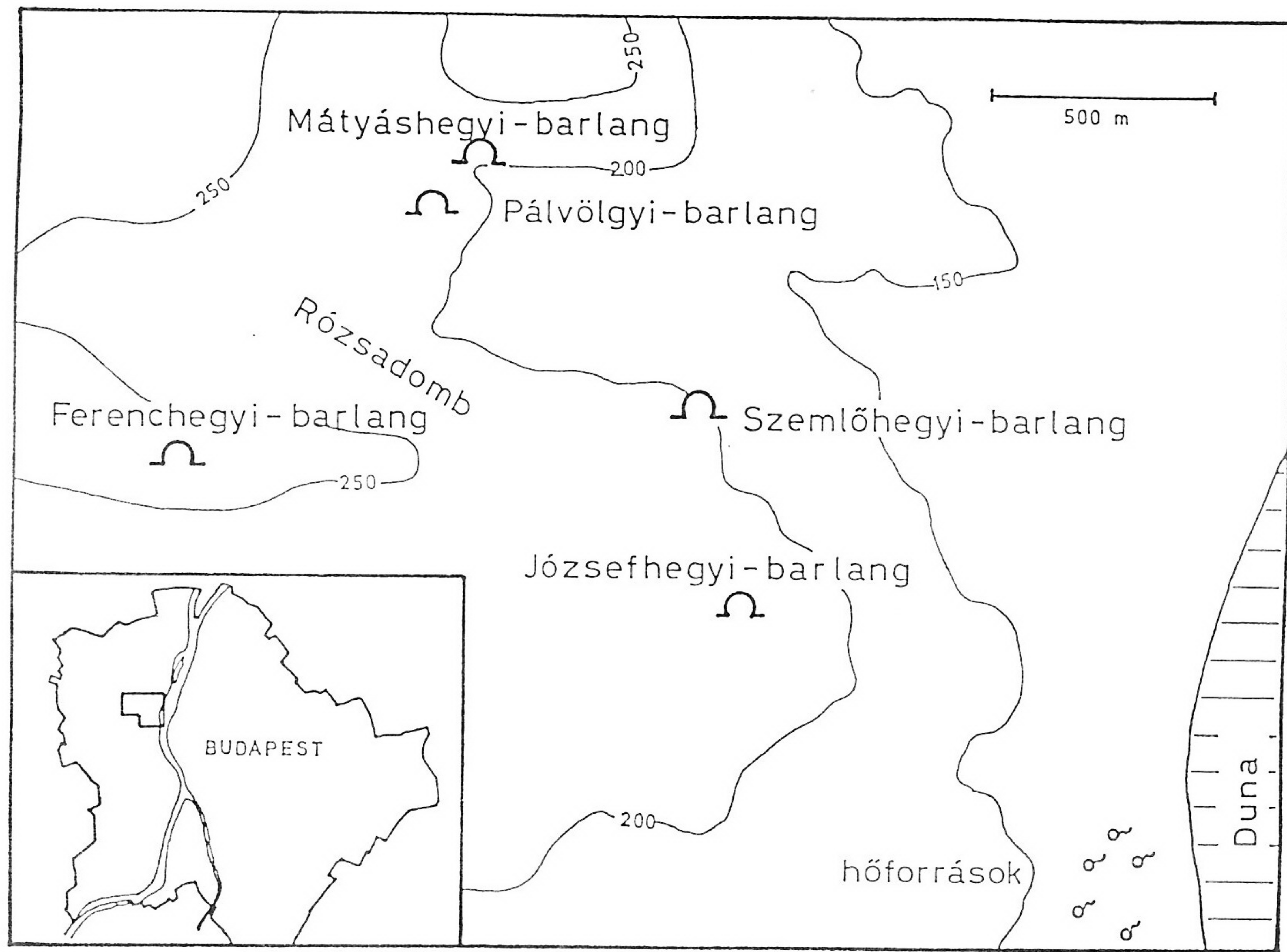
A munka a T 016558 és a T 017560 OTKA kutatási program keretében és támogatásával történt.

Felhasznált irodalom

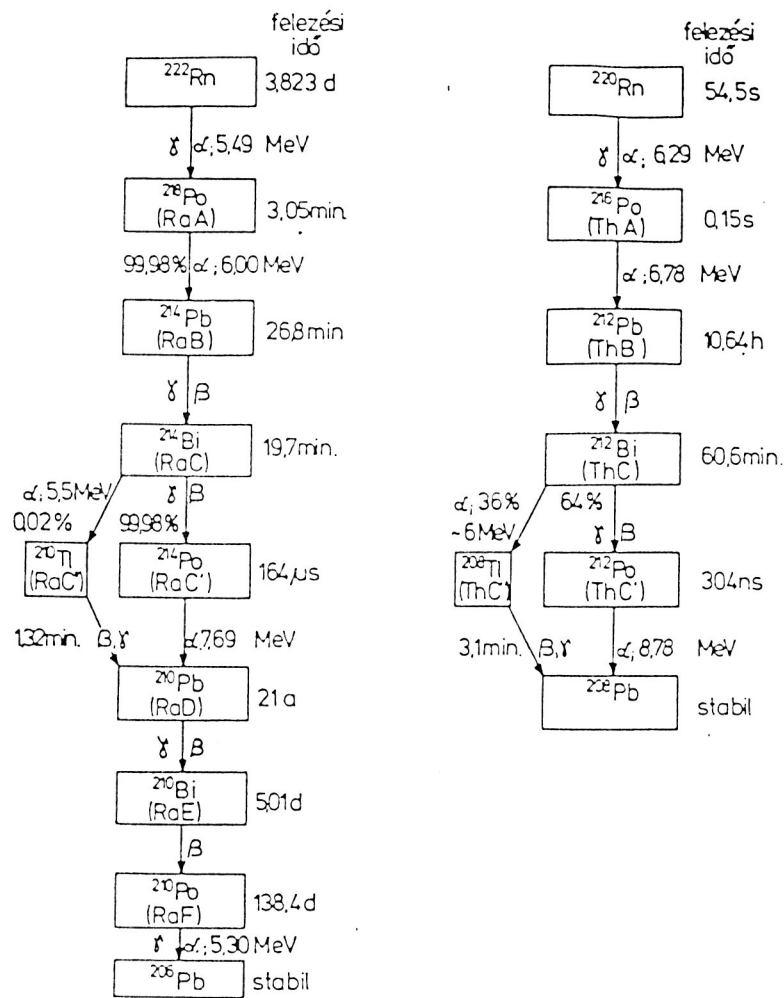
1. Kordos László: Magyarország barlangjai. Gondolat, Budapest, 1984.
2. Géczy Gábor: Radonmérések a Szemlő-hegyi-barlangban. TDK dolgozat, 1986.
3. Géczy G., Somogyi Gy.: A barlangi légkörzés egyszerű modellje a Szemlőhegyi-barlangban végzett radonmérések alapján. Oktatási Intézmények Karszt- és Barlangkutató Tevékenységének II. Országos Tudományos Konferenciája, 1987.
4. Géczy Gábor: Radontranszport jelenségek barlangokban és egyéb karsztos formációkon. Szakdolgozat, 1989.
5. Csige István: Szilárdtest nyomdetektor-technika fejlesztése és alkalmazása az űr- és radon dozimetriában. Egyetemi doktori értekezés, 1990.
6. Géczy Gábor: Budapest, a fürdők- és barlangok városa. "Az ismeretlen Budapest" c. filmhez készült szakanyag, 1991.
7. Hakl József: Radontranszport vizsgálatok. Egyetemi doktori értekezés, 1992.
8. Koltay Ede: Fejezetek a környezetfizikából. KLTE-ATOMKI Közös Fizikai Tanszék, 1994.
9. Kertész Zs., Maucha G.: Radon, a barlangi klíma természetes nyomjelzője. Tudományos Diákköri dolgozat, 1995.
10. Kertész Zsófia: Felszín és a barlang kölcsönhatása a Szemlőhegyi-barlangban végzett aeroszol vizsgálatok alapján. TDK dolgozat, 1996.
11. Cseri Beáta: A barlangi légkörzés és radontranszport modellezése. Szakdolgozat, 1997.
12. Tóth Diána: Radon és toron térbeli eloszlásának mérése. Szakdolgozat 1999.

Ábrák jegyzéke

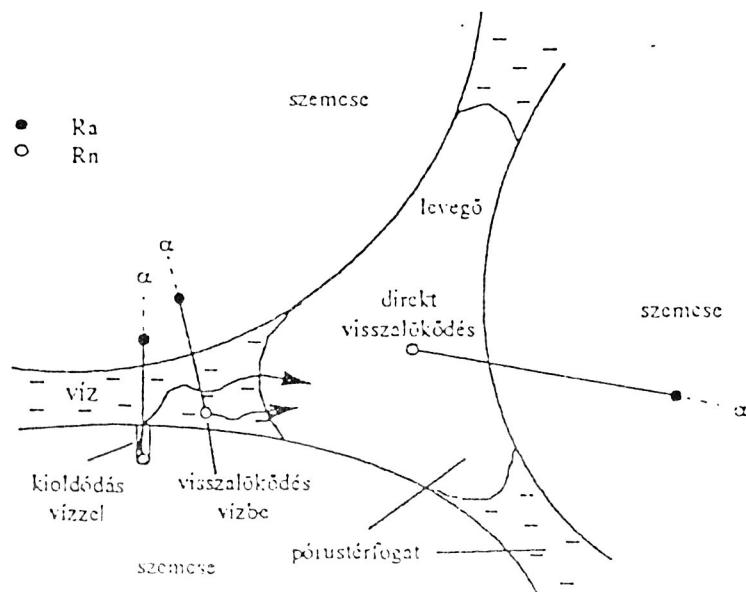
- 1. ábra:** A Rózsadomb térségének felszíne, a nagy barlangok bejáratának feltüntetésével.
- 2.1. ábra:** A radon nemesgáz keletkezése és bomlástermékei.
- 2.2. ábra:** A radon kiszabadulásának lehetőségei a rádium közetszemcse határán történő bomlásakor.
- 3. ábra:** A Szemlő-hegyi-barlang sematikus metszeti és felülnézeti rajza, amelyben feltüntettük a mérési helyeket.
- 4. ábra:** A hegy oldalába nyíló barlangok légkörszénének téli és nyári jellege.
- 5. ábra:** A Szemlő-hegyi-barlang két lejárataiban 1998 tavaszán végzett nyomdetektoros profilmérések eredményei.
- 6.1. ábra:** A Szemlő-hegyi-barlangban nyomdetektorral mért radonkoncentráció téli és nyári évszakokra vett átlagértékei az egyes mérési helyeken.
- 6.2. ábra:** A Szemlő-hegyi-barlang egészén mért hőmérséklet értékek időbeli változásából következtetett légkörszén.
- 7. ábra:** A Szemlő-hegyi-barlangban elhelyezett DATAQUA műszerekkel mért adatsorok és a külső hőmérséklet.
- 8. ábra:** A Szemlő-hegyi-barlangban a Kereszhasadéknál felvett félvezető detektoros adatok.
- 9. ábra:** A Szemlő-hegyi-barlangban a Gombszaggatónál felvett félvezető detektoros adatok.
- 10. ábra:** A Szemlő-hegyi-barlangban a Boszorkánynál felvett félvezető detektoros adatok.
- 11. ábra:** A Szemlő-hegyi-barlangban a Boszorkánynál elhelyezett félvezető detektoros műszer adatai március hónapra.
- 12. ábra:** Fourier spektrumanalízis a Boszorkánynál március hónapban mért radonkoncentráció értékekre.
- 13. ábra:** Március hónapra átlagolt napi radonkoncentráció órás felbontásban és az ugyanezen időben ugyanígy számított lokális nyomás értékek.



1. ábra

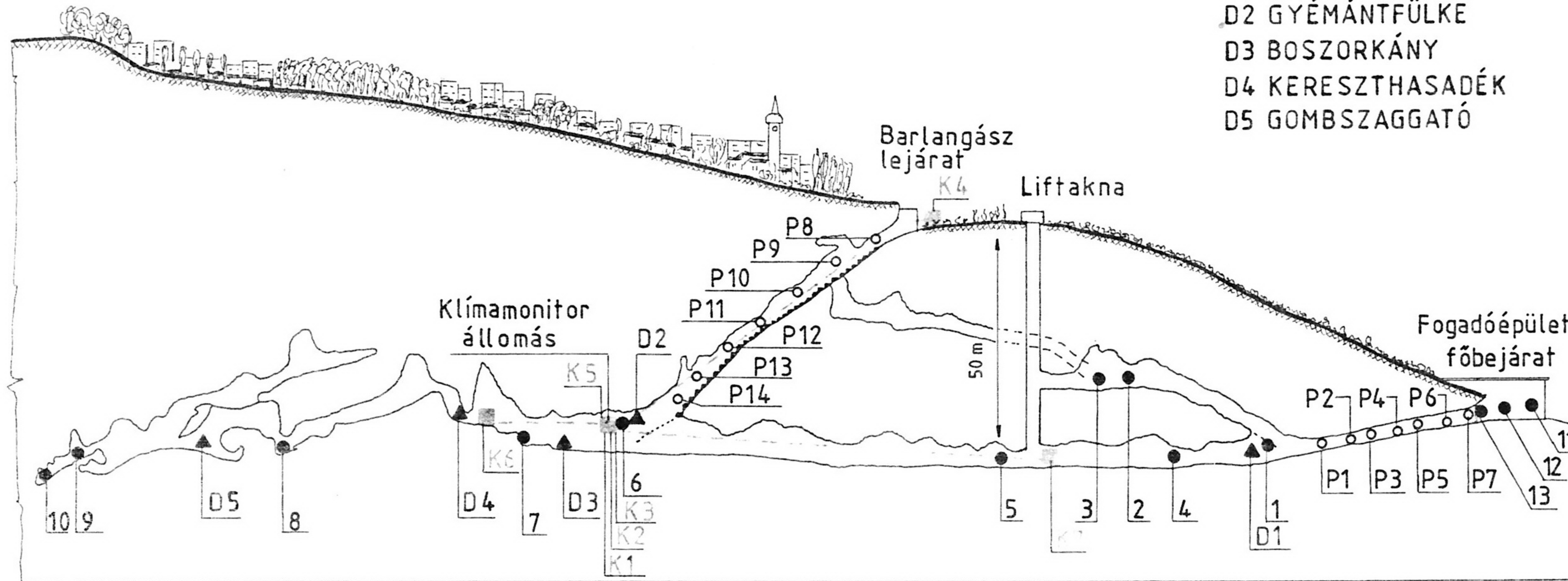


2.1. ábra



2.2. ábra

RADON MÉRŐHELYEK (ATOMKI) ÉS A KLIMAMONITOR ÉRZÉKELŐK (STIEBERTECH BT.) A SZEMLŐ-HEGYI-BARLANGBAN

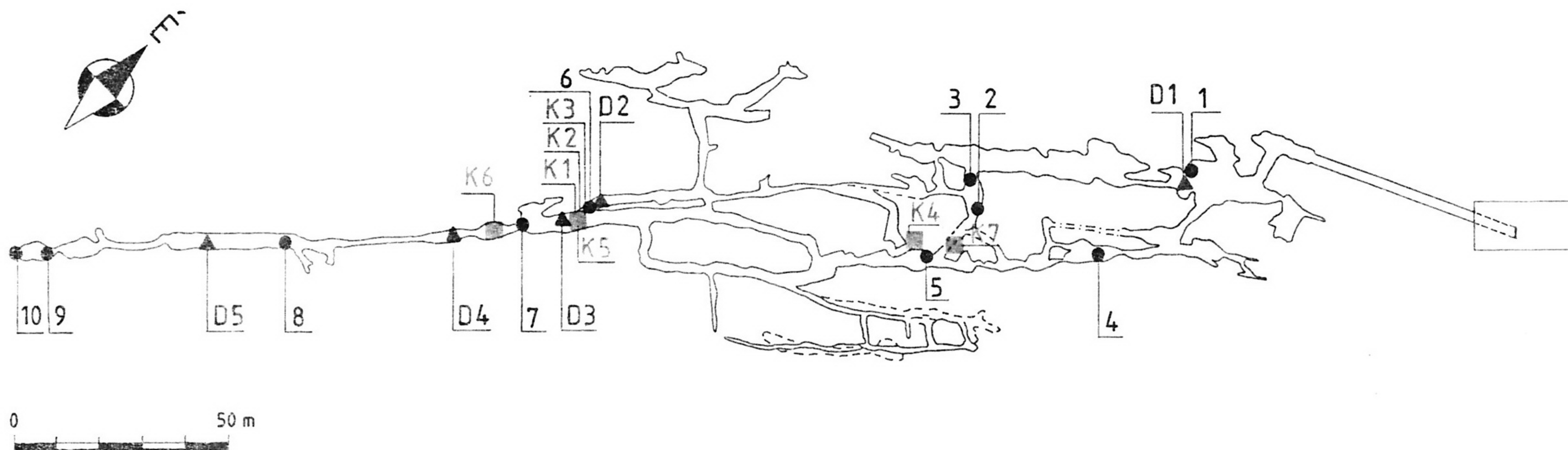


- (▲) DATAQUA, SI-DETEKTOROS
AUTOMATIKUS ÁLLOMÁSOK
- D1 FERENCVÁROSI TEREM
 - D2 GYÉMÁNTFÜLKE
 - D3 BOSZORKÁNY
 - D4 KERESZTHASADÉK
 - D5 GOMBSZAGGATÓ

- SSNTD DETEKTOROK:
- (●) FOLYAMATOS MÉRÉS
 - 1 FERENCVÁROSI TEREM
 - 2 AGYAGOS KAPCSOLÓ FELETT
 - 3 AGYAGOS - FARKASFOG
 - 4 HOSSZÚ-FOLYOSÓ HÍD ALATT
 - 5 VIRÁGOSKERT
 - 6 GYÉMÁNTFÜLKE
 - 7 ÓRIÁSFOLYOSÓ LÉTRA ALATT
 - 8 HÓPALOTA
 - 9 CSENGŐ
 - 10 KÖZGYÜLÉS-TEREM
 - 11 ORVOSI SZOBA
 - 12 TEAKONYHA
 - 13 BARLANG LEJÁRATI AJTÓ FELETT

- (○) SZEZONÁLIS PROFILMÉRÉS
- ÖRVÉNYFOLYOSÓ P8-P14
- LEJTAKNA P1-P7

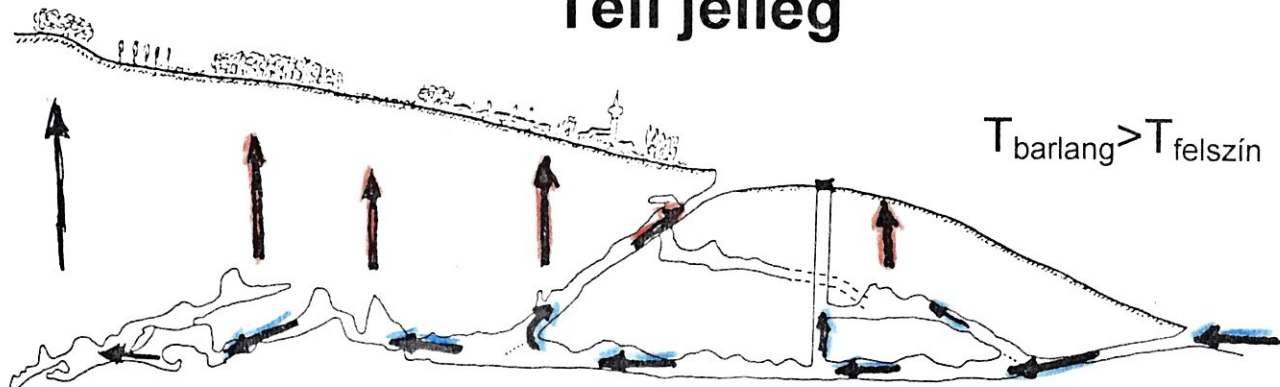
- (■) KLIMAMONITOR EGYSÉGEI
- K1 SZÁRAZ HŐMÉRŐ
 - K2 NEDVES HŐMÉRŐ
 - K3 SZÉNDIOXID MÉRŐ
 - K4 FELSZÍNI HŐMÉRŐ
 - K5 DIFFERENCIÁL NYOMASMÉRŐ
 - K6 BARLANGI REFERENCIA HŐMÉRŐ
 - K7 ADATGYŪJTÓ, SZÁMÍTÓGÉP



3. ábra

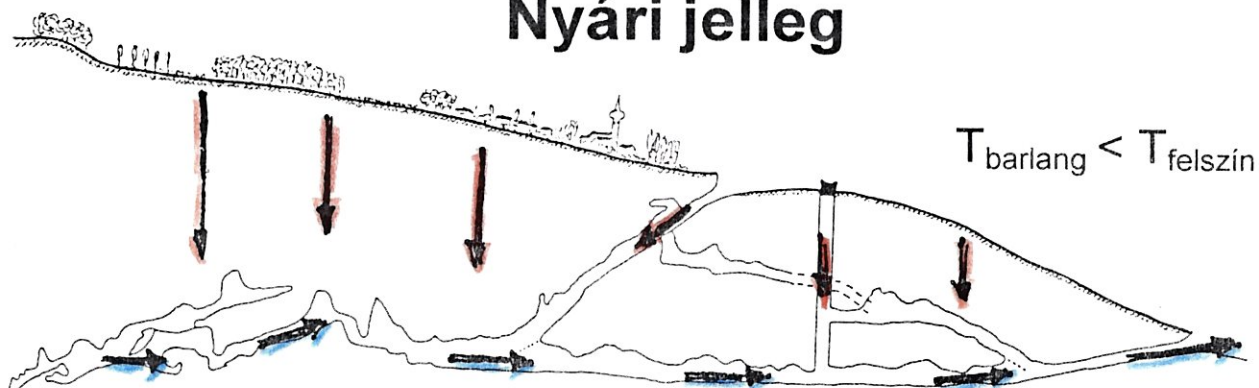
A hegy oldalába nyíló barlangok egyszerű légközrési modellje alkalmazva a Szemlőhegyi-barlangra

Téli jelleg



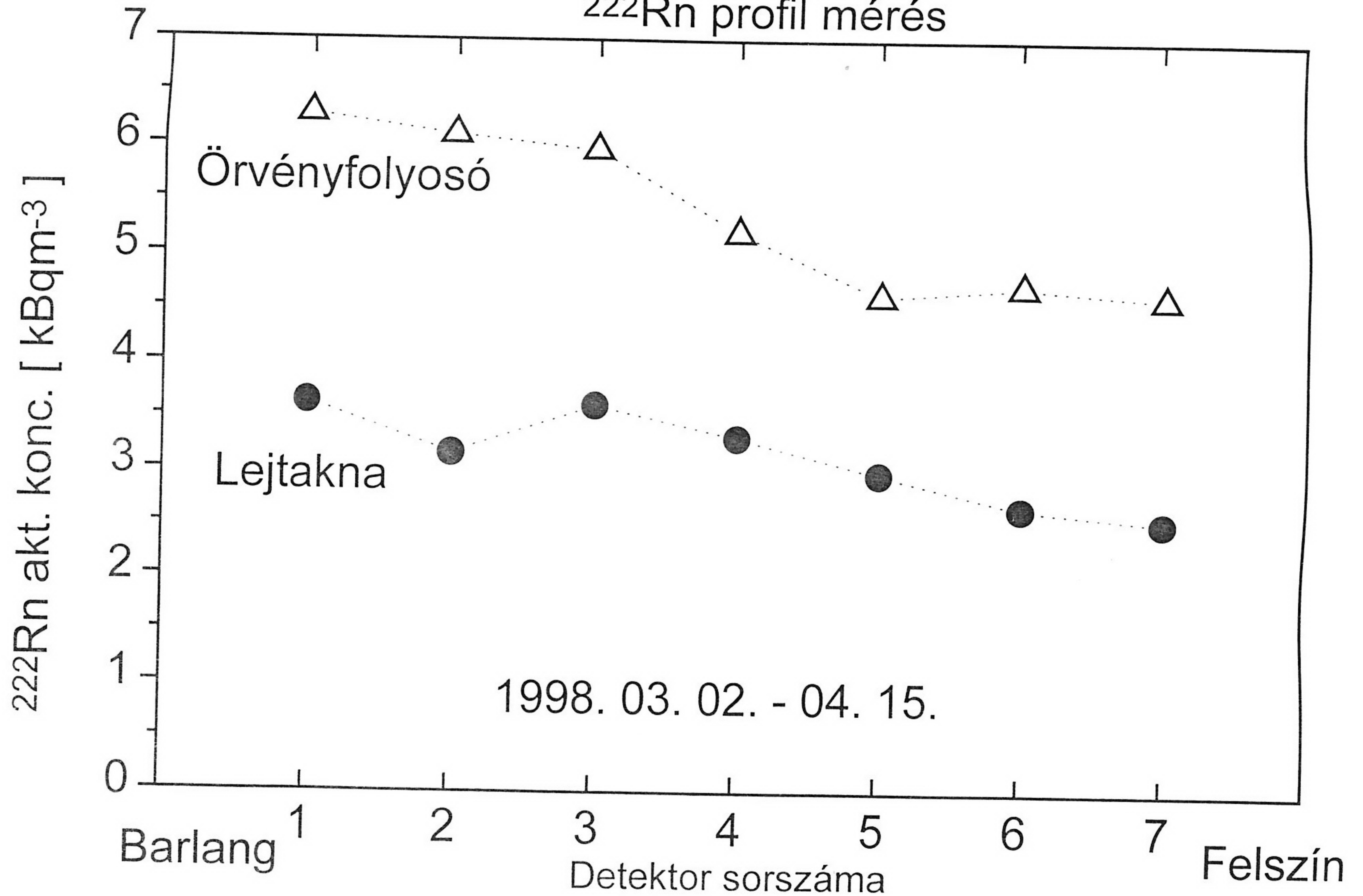
A külső csekély radontartalmú hideg levegő a bejáraton keresztül áramlik be a barlangba, s a kőzetek által felmelegítve felszál (kémény hatás), és a repedésrendszeren keresztül hagyja el azt.

Nyári jelleg



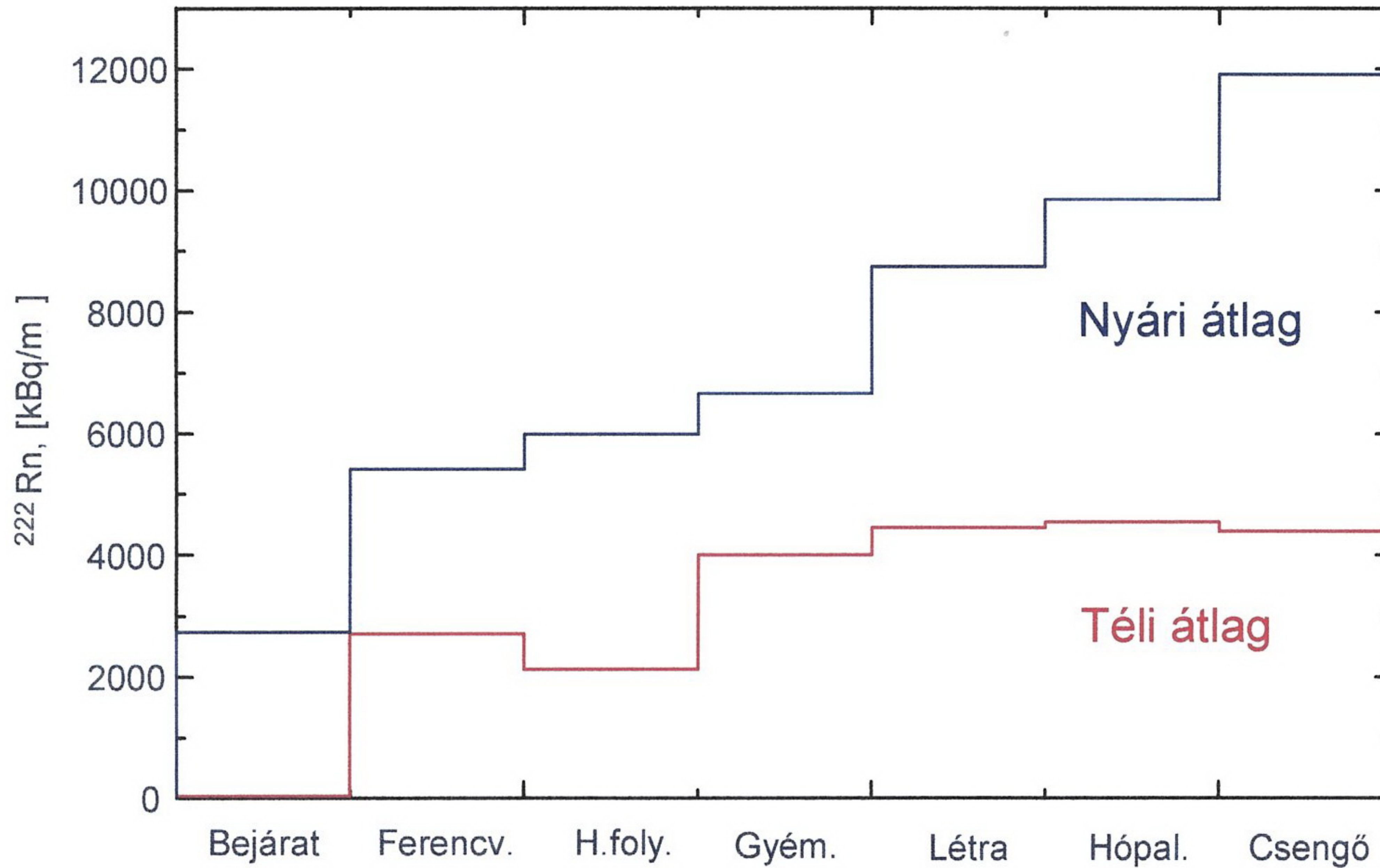
A barlangi hideg levegő szinte kifolyik a barlangból a külső meleg levegőnél nagyobb fajsúlya következtében, és a repedésrendszeren keresztül beszívott felszíni meleg levegő lehűlve és radonban feldúsulva jut be a barlangba.

Szemlőhegyi-barlang, Budapest
 ^{222}Rn profil mérés



5. ábra

Szemlőhegyi-barlang, Budapest
Szilárdtest nyomdetektoros (SSNTD) mérések

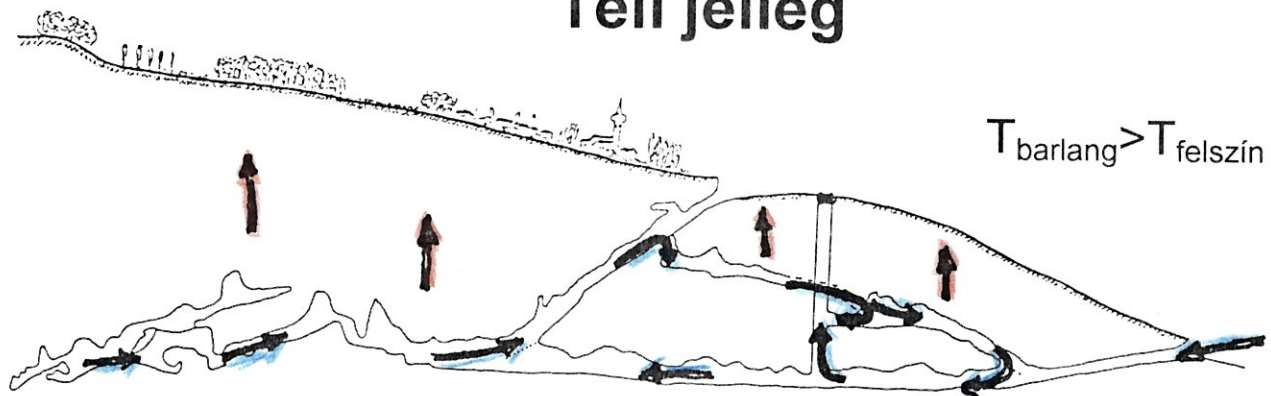


A barlang bejáratától befelé haladva meredeken nő a nyáron mért radon aktivitáskoncentráció, míg a téli átlag a barlang vége felé állandó.

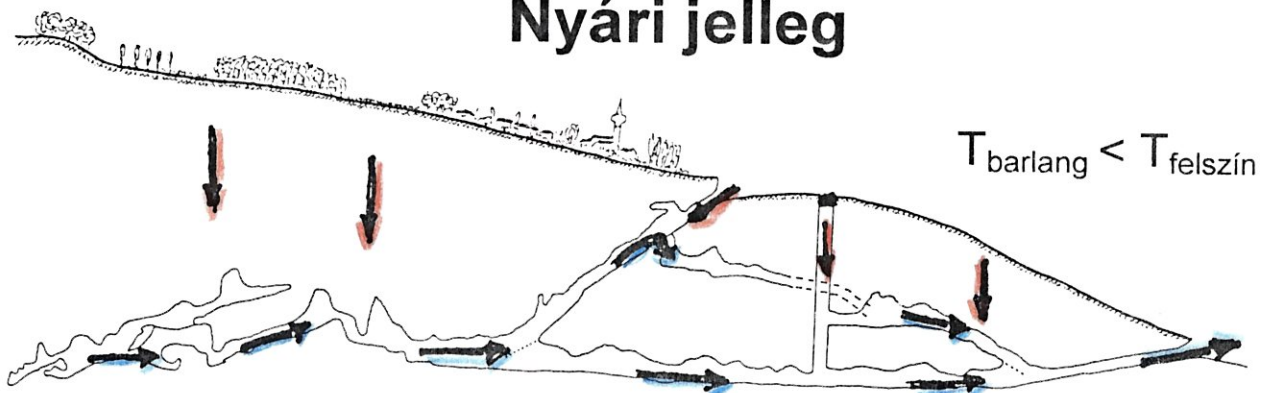
6.1. ábra

A Szemlőhegyi-barlang egészen mért hőmérséklet értékek időbeli változásából következtetett légkörzés

Téli jelleg



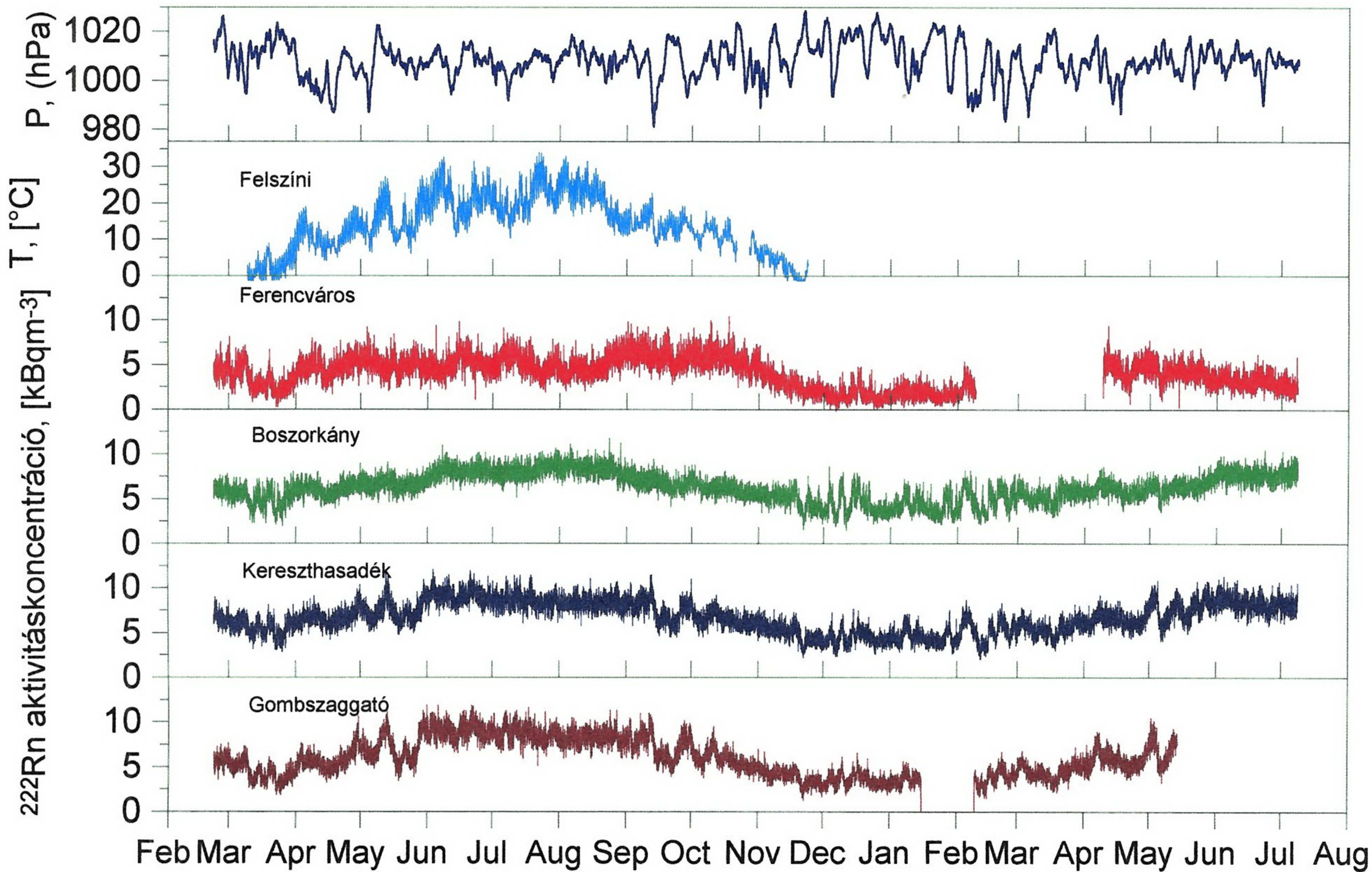
Nyári jelleg



Az egyszerű légkörzéses modellből következő és a kiterjedt barlangi hőmérséklet mérésekből valószínűsített légmozgások eltérése megfelel a várakozásoknak és könnyen indokolható azzal, hogy a Szemlőhegyi-barlang vízszintes főjáratához, a modell barlangtól eltérően, többszintes, bonyolult felszínig húzódó üregrendszerek csatlakoznak.

6.2. ábra

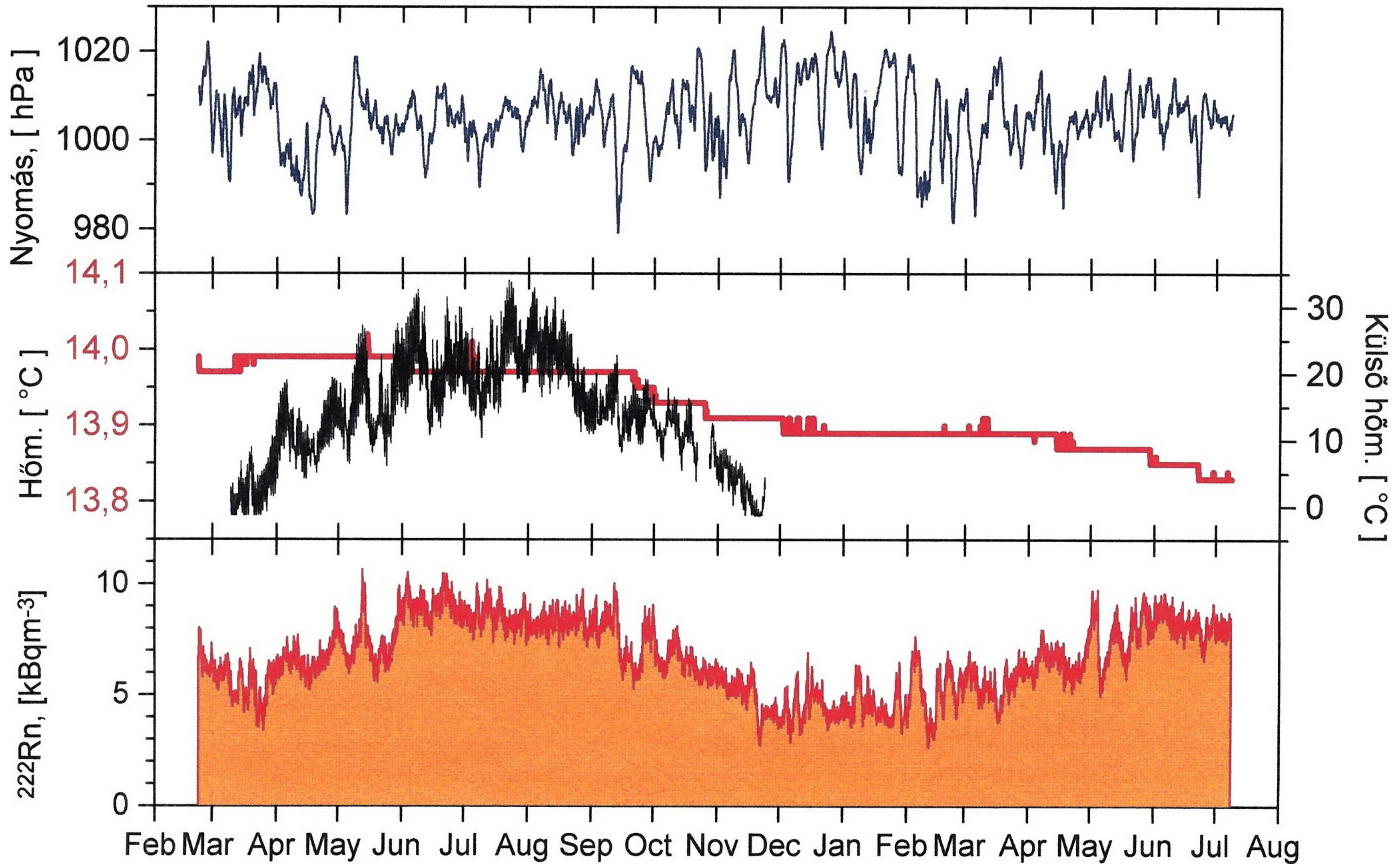
Szemlőhegyi-barlang, Budapest
DATAQUA mérések



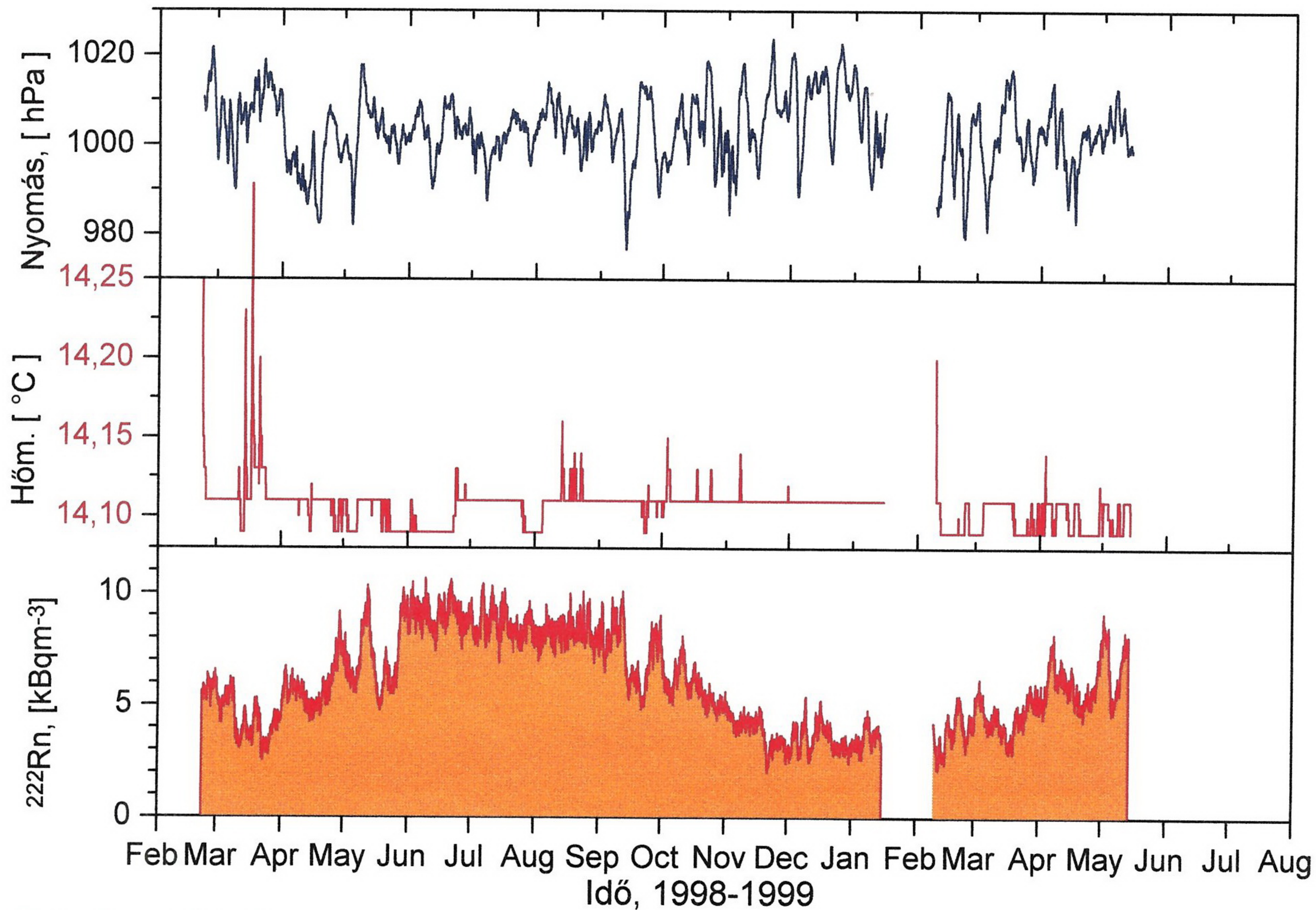
1998-1999

7. ábra

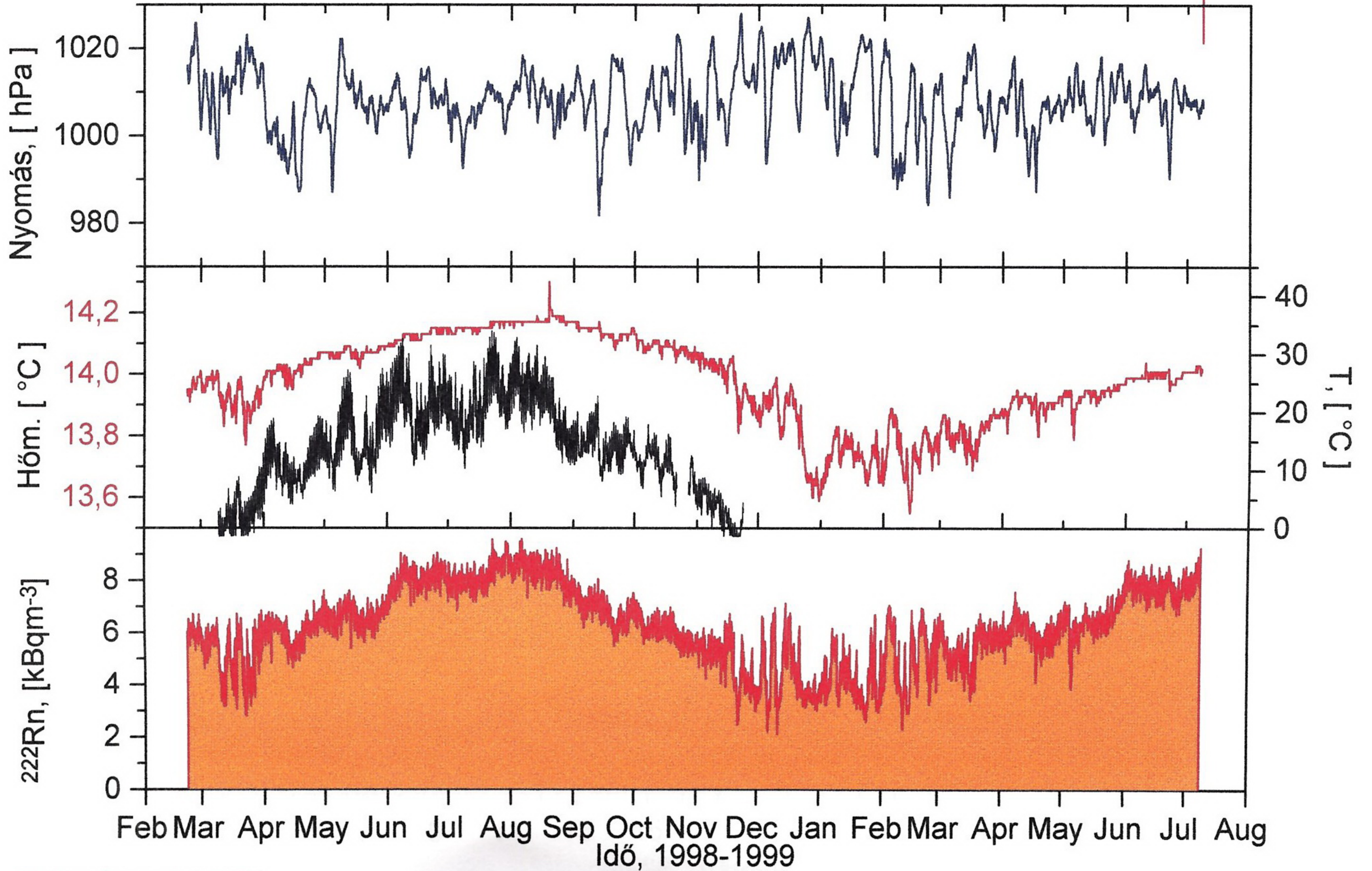
Szemlőhegyi-barlang, Kereszthatadék



Szemlőhegyi-barlang, Gombszaggató



Szemlőhegyi-barlang, Boszorkány

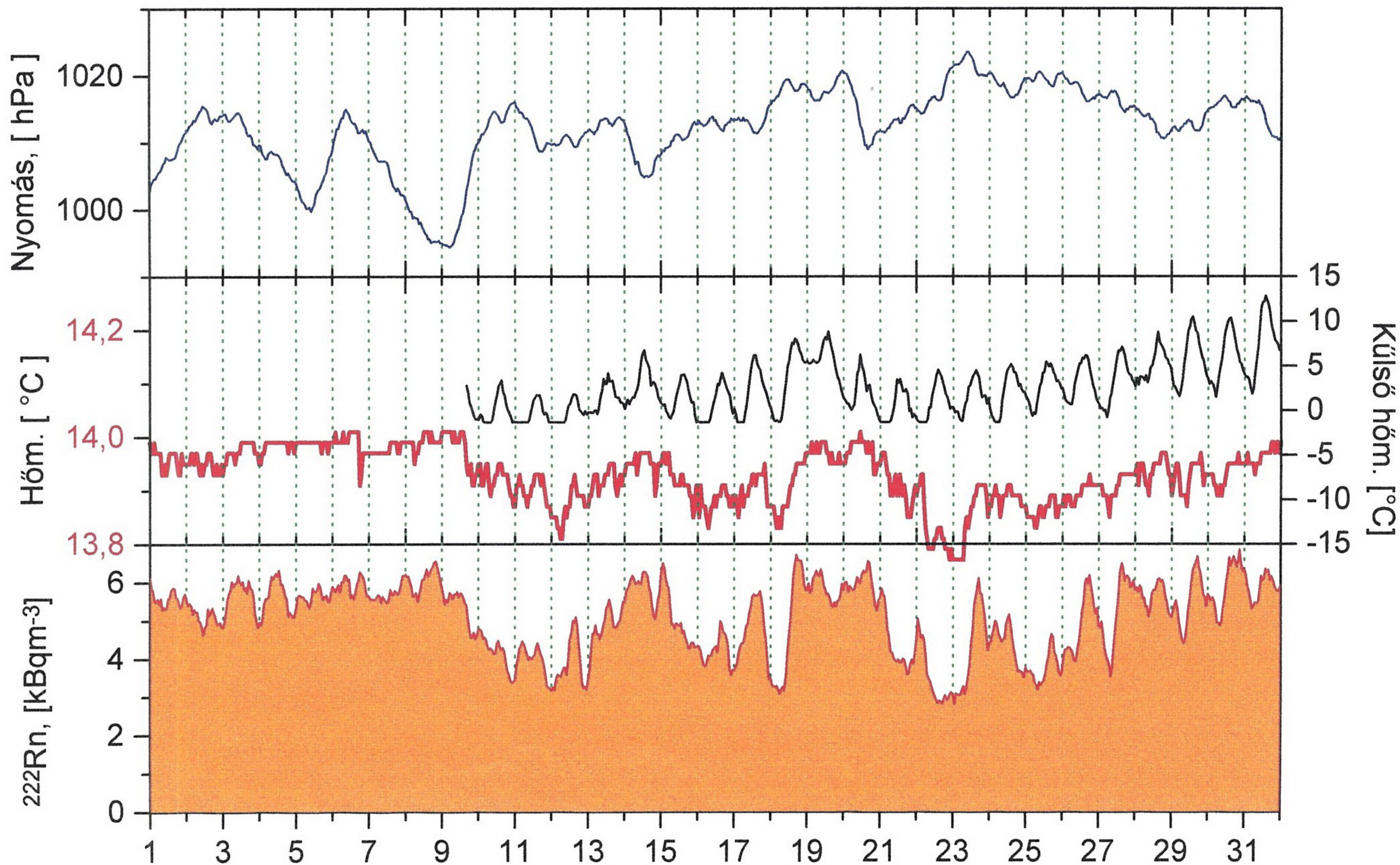


Radon Csoport, Atomki

10. ábra

Szemlőhegyi-barlang, Boszorkány

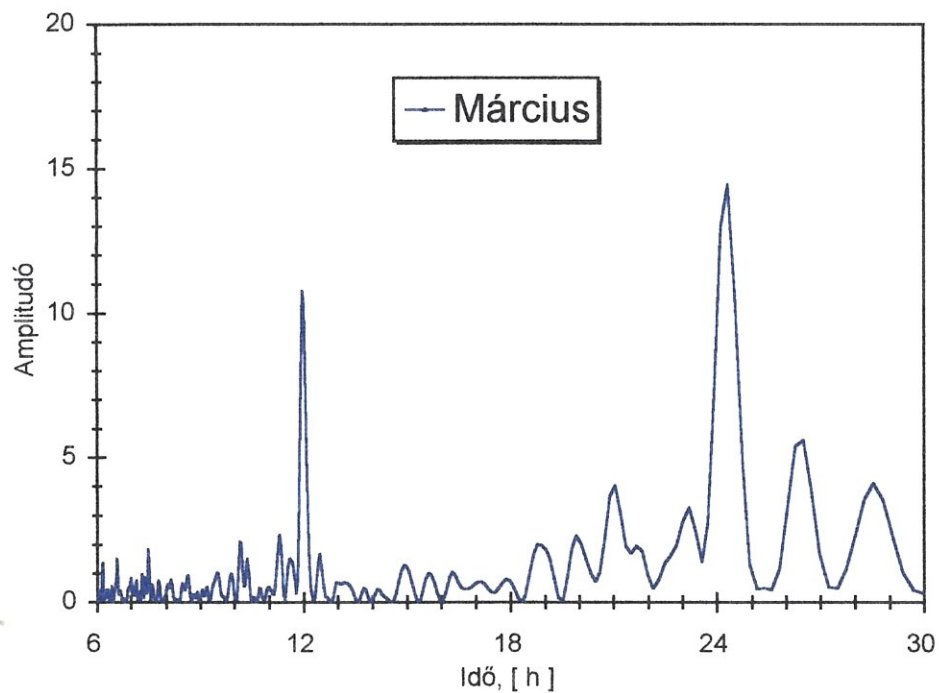
DATAQUA mérések



1998. március

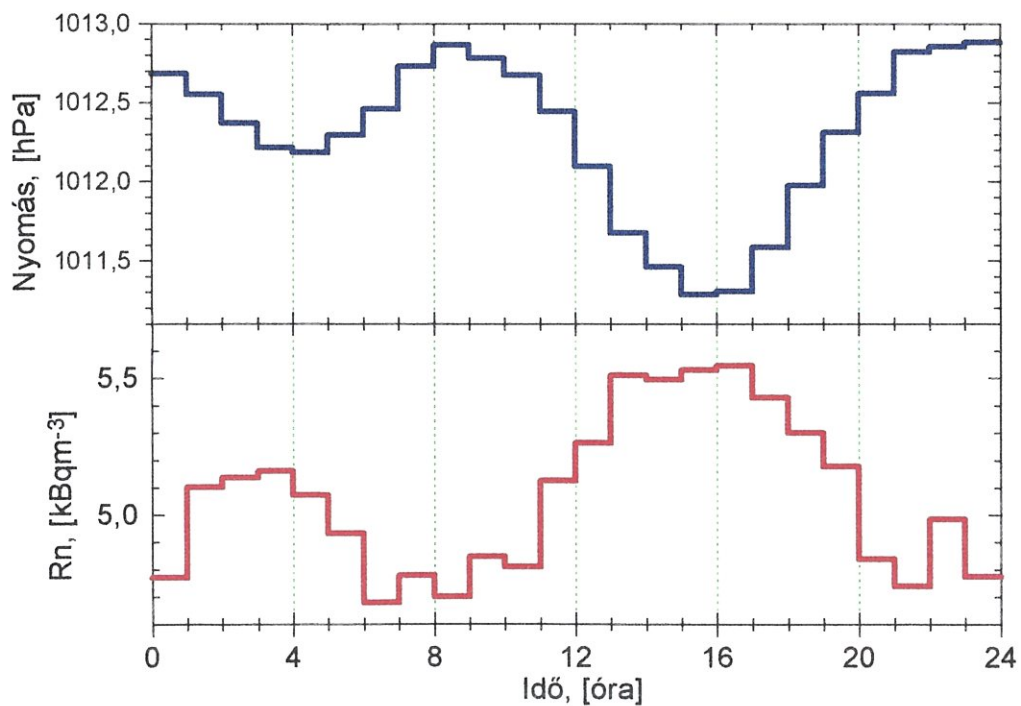
11. ábra

Szemlőhegyi-barlang, Boszorkány



Fourier spektrumanalízis a Boszorkánynál
1998 március hónapban mért radonkoncentráció értékekre
12. ábra

Szemlőhegyi-barlang, Boszorkány



1998 március hónapra átlagolt napi radonkoncentráció órás felbontásban
és az ugyanezen időben ugyanígy számított lokális nyomás értékek
13. ábra