ÉLETTANI ÉS KLIMATOLÓGIAI KUTATÓTÁBOR A CSERSZEGTOMAJI-KÚTBARLANGBAN

1996

Jelentés

Szerkesztette: Fehér Katalin[3,9]
Janata Károly[2,9]

A jelentés szerzői:

Bognár Csaba[1,5] (7. fejezet)
Bognárné Senoner Zsuzsanna[1,8] (7. fejezet)
Fehér Katalin[3,9] (1-5. fejezet)
Fritz Zsolt[9] (9. fejezet)
Hadamcsikné Nagy-Zombori Judit[1,5] (7. fejezet)
Dr. Hakl József[7] (6. fejezet)
Dr. Laczkovits Gabriella[1,4] (8 fejezet)
Dr. Várhegyi András[6] (6. fejezet)

A jelentés a KTM-TVH Barlangtani Intézet támogatásával készült.

1. ANTEUS Mikrobiológiai Barlangkutató Csoport, Budapest
2. Budapesti Természetvédelmi Igazgatóság, Budapest
3. Erdészeti Tudományos Intézet, Budapest
4. Fővárosi Szent János Kórház Barlangterápia, Budapest
5. "Johan Béla" Országos Közegészségügyi Intézet, Budapest
6. Mecsekurán Kft. Radiometriai Labor, Pécs
7. MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen
8. Országos Korányi TBC és Pulmonológiai Intézet, Budapest
9. Pagony Barlangkutató Csoport, Budapest

TARTALOM

1. Bevezetés, előzmények 4
2. Földtani viszonyok 5
3. A tábor általános ismertetése 7
4. Klímamérések 9
5. Feltáró kutatás 14
6. Radiometriai mérések 16
6. 1. Levegő Rn-222 koncentráció mérés 16
6. 2. Radomtermék mérés 22
6. 3. Gamma-spektrometriai vizsgálat 28
7. Mikrobiológiai vizsgálatok 38
7. 1. Módszerek 38
7. 2.A levegőbakteriológiai vizsgálatok eredményei 40
7. 3. A résztvevőkön végzett bakteriológiai vizsgálatok 41
8. Élettani vizsgálatok 43
8. 1. A vizsgálat körülményei és módszerei 43
8. 2. Eredmény és értékelés 43
9. Az anyagcserével, alkalmazkodással, valamint fizikai igénybevétellel kapcsolatos tünetek gyűjteménye (interjúk) 56
10. Köszönetnyilvánítás, a résztvevők és támogatók névsora 62
11. Irodalomjegyzék 65

1. BEVEZETÉS. ELŐZMÉNYEK

1996. tavaszán egy hetes kutatóexpedíciót tartottunk a Cserszegtomaji-kútbarlangban. Ez a jelentés a táborban végzett mérések, tapasztalatok összefoglalása.

A barlangjárók és a barlangkutatók a nehezen járható szakaszok (aknák, szűkületek stb.) leküzdése, valamint a feltáró munka során komoly fizikai megterhelésnek vannak kitéve. Ezt a fizikai megterhelést a sajátos hőmérsékleti, légnedvességi körülmények, a napszaki változás hiánya előre nem látható mértékben fokozhatják. Ennek eredményeképpen - különösen hosszú barlangi tartózkodás esetén - gyakran teljesítőképesség-romlás, reakcióidő-növekedés, fáradékonyság lép fel, ezért még a gyakorlott barlangászok esetében is megnövekszik a baleseti veszély. Különösen igaz ez akkor, ha a kutatók extrém klimatikus, illetve egyéb tényezőkkel jellemzett barlangban tartózkodnak.

A barlangban tartózkodó személyeken bekövetkező fiziológiai változásokat többen - köztük számos hazai kutató - is vizsgálták. Eredményeik alapján a barlangi balesetek okai könnyebben felderíthetővé váltak. Hasonló jellegű kutatásokat terveztünk a Cserszegtomaji-kútbarlangban, amely a hazai barlangok közül az egyik legszélsőségesebb, legmegterhelőbb környezetet nyújtja.

Expedíciónk több célt tüzött maga elé: további járatok feltárását, a barlangi levegő és klíma vizsgálatát és az ennek kitett emberi szervezetben lezajló élettani változások nyomonkövetését. A vizsgálatok kiélezett helyzetben (állandó lenttartózkodás mellett), illetve szélsőséges klímájú barlangban zajlottak.

Barlangjárókként kiváncsiak voltunk arra, hogy szervezetünk hogyan reagál az itt tapasztalható sajátos körülményekre. Az ilyen ismeretek fontosak a barlangi balesetek megelőzésénél, de a gyógyászat is hasznosítani tudja eredményeinket. Nem véletlen, hogy a Szemlő-hegyi barlangterápia vezető főorvosa végezte az orvosi vizsgálatokat.

A Cserszegtomaji-kútbarlang klímája az eddigi vizsgálatok szerint jelentős mértékben eltér a többi magyarországi barlang klímájától. Az eltérés oka a barlang sajátos földtani körülményeiben, kialakulásmódjában található meg.

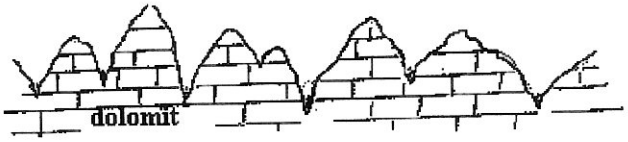
2. FÖLDTANI VISZONYOK

A barlang a Keszthelyi-hegység DNy-i részén Cserszegtomaj község temetőjében található, 182 m tszf. magasságban. A 30-as években kútásás közben fedezték fel, 52 m mélységben. Járatrendszere a triász dolomit és a pannonban rátelepült homokkő határán alakult ki a hévizek oldó hatására. Az egykori dolomitfelszín hosszú ideig karsztos lepusztulásnak volt kitéve, az erre települő vastag üledék - jórészt homokkő - kitöltötte a dolomit mélyedéseit, behatolva a legkisebb repedésekbe is. A dolomit kioldódásával képződött üregek boltozatát ezért homokkő alkotja, konzerválva a kioldott dolomit fosszilis domborzatának negatív lenyomatát *(2.1. ábra)*. A falakat alkotó homokkő jelentős vastagságban átkovásodott, igen kemény kvarcittá alakult. Az erózióbázis süllyedése kapcsán a barlang szárazzá vált.

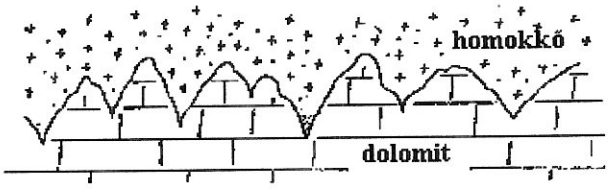
A falakat csipkeszerű homokkő-taréjok fedik, amelyek a kioldódott dolomit-tömbök negatív lenyomatát adják. Szinte hihetetlen ez a könnyedség e kemény kőzettől. Néhol vörös, kék foltok (hematit, hidrohematit), fekete bársonyszerű bevonatok képződtek csillogó gipszkristályokkal ékesítve. A benyúló homokkő oszlopok a hajdani karsztfelszín mélyedéseit töltötték ki. E látvány - nem véletlenül - az ősi kazamatákat juttatta eszükbe a barlang első bejáróinak. Az oszlopok között vezető járatok szűkek, négykézláb, hason csúszva járhatók. Felüdülést jelent, ha egy nagyobb teremben felállhat az ember és kinyújtózhat.

A 2300 m-t meghaladó szövevényes járatrendszer kis alapterületen helyezkedik el, geológiai adottságok alapján feltételezhető, hogy ennek többszöröse húzódik még a föld alatt. (A légnyomás és légáramlás változásai alapján végzett számításaink szerint az ismert járatoknak akár tízszerese is.)

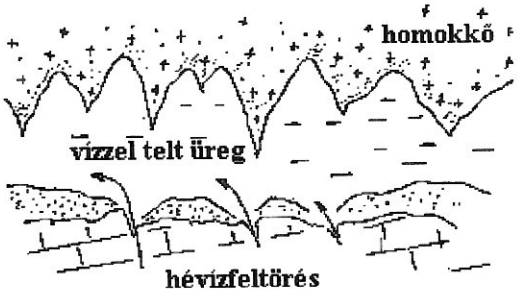
1. Karrosodott dolomittérszín



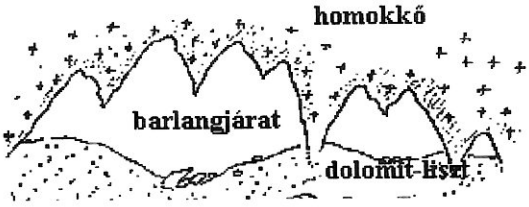
2. A homokkő rátelepülése a dolomitra



3. A fekű dolomit hévizes kioldódása



4. Mai állapot



2.1. ábra A Cserszegtomaji-kútbarlang kialakulása

3. A TÁBOR ÁLTALÁNOS ISMERTETÉSE

Az expedíció szervezése során - a biztonsági követelményeket szem előtt tartva - felszíni ellátóbázist építettünk fel a kúttól kb. 200 m-re lévő használaton kívüli kultúrházban. Ez volt a felszíni ügyelet szállása, az ellátás és annak háttérmunkái is itt zajlott, valamint a felszerelés raktározása.

Külön helyiségben alakítottunk ki egy mikrobiológiai laboratóriumot, ahol az orr-torokváladék, illetve a széklet minták előzetes feldolgozása, a későbbi specifikus meghatározáshoz szállíthatóvá tétele történt. Berendeztünk egy kémiai laboratóriumot is, ahol a széndioxid-méréshez használt elnyeletőoldatok feldolgozása történt.

Az élettani vizsgálatok során a terheletlen kontrollcsoport adatait is a felszínen dolgozó társaink szolgáltatták.

A kútnál felállított házsátor adott helyett az állandó, éjjel-nappali ügyeletnek, ami telefon összeköttetésben volt a barlangban tartózkodókkal. Sajnos, a kultúrház és a kút között nem sikerült telefonkapcsolatot kialakítani, ez néha megnehezítette dolgunkat.

A hat napra és hét éjszakára tervezett állandó lenttartózkodásos kisérletet tíz, rutinos, alapos ismeretekkel rendelkező barlangász hajtotta végre. A táborhely a kúthoz közeli Lovassy-teremben volt. Itt zajlott a "társasági" élet, illetve az innen nyíló fülkék, oldalfolyosók voltak a hálóhelyek. A kútnál alakítottuk ki a WC-t, mosakodóhelyet és a dohányzás is itt volt engedélyezve. A kutat a járószinten bedeszkáztuk, itt tároltuk azt a zárható edényt, amibe a vizelet és az elhasznált mosdóvizet gyüjtöttük a kiszállításhoz. A széklet és a szemét műanyag zacskóban lett kiszállítva.

Napi feladatunk az élettani vizsgálatok, a különböző klimatológiai, illetve radiometriai mérések elvégzése mellett a barlang több pontjára irányuló feltáró munka végzése volt. Minden résztvevő nyomdetektort viselt és naplóban rögzítette a barlangon belüli mozgását.

Mind a felszíni, mind a barlangi brigádnak pontos menetrendet állítottunk össze, melybe a tennivalókat, bontóműszakokat, méréseket, orvosi vizsgálatok pontos időrendjét osztottuk be személyekre lebontva. Ettől már az első barlangban töltött nap után el kellett térni. A magas széndioxid-tartalom miatt - amely a tábor egész idejére jellemző volt - nehezebben ment az ébredés, lassabban készültünk össze és a tervezett napi két műszak sem mindig valósult meg. A belső zónákban gyakran okozott rosszullétet, légszomjat, de a kutatók fegyelmezett magatartása, higgadt reagálása miatt balasetre nem került sor.

A táborban a nehézségek ellenére jó hangulat uralkodott.

Az expedíció által elvégzett méréseket, vizsgálatokat táblázatban tüntettem fel *(3.1. ábra)*.

A Cserszegtomaji kútbarlang expedíció során végzett vizsgálatok

Klímamérések

Felszín
- hőmérséklet
- páratartalom

Barlang bejárata és a belső zónák
- légnyomás
- hőmérséklet
- páratartalom
- légáramlás
- széndioxid

Tábor
- széndioxid
- portartalom

Élettani vizsgálatok

Általános fiziológiai mutatók
- testhőmérséklet
- pulzus
- vérnyomás

Tüdőkapacitás
Vérvizsgálat
Vízháztartás
Reflex

Radiometriai mérések
- Rn-mérés a barlang négy pontján
- Rn és leánytermék mérés a táborhelyen
- Személyi nyomdetektoros mérések
- Gammasugárzás területi eloszlása a barlangon belül

Bakteriológiai vizsgálatok

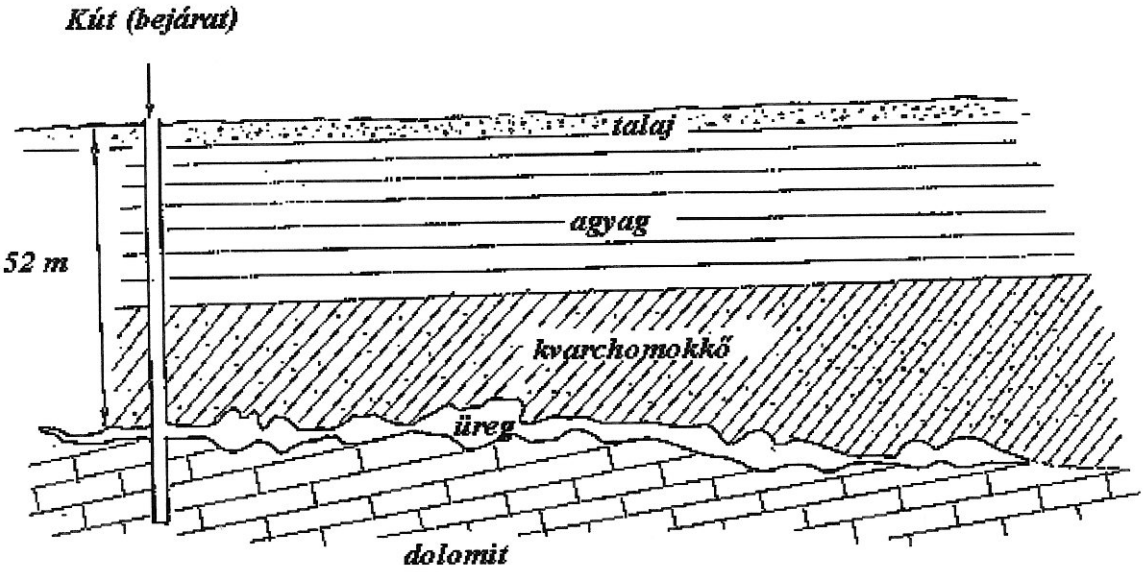
A barlang általános állapotának felmérése
A résztvevők vizsgálata
- orrváladék
- torokváladék
- széklet

3.1. ábra

4. KLÍMAVIZSGÁLATOK

A barlang hőmérséklete átlagosan 13 °C, a páratartalom 95-100 %-os. 1986-ban készült gázkromatográfiás elemzés szerint az Alba Regia-terem levegőjének összetétele 18,4 % oxigénnek, 0,01 % hidrogénnek, 79,3 % nitrogénnek és 2,3% széndioxidnak adódott (a minta víztartalmát nem tudták mérni). Becsepegő vizekből származó aeroszol nincs, a felverődő por pedig nehezen ülepszik le.

A barlang szellőzése csak a kúton keresztül történik. Más hazai barlangok geológiai adottságaival szemben a fedőkőzetet alkotó pannon rétegek vízzárók és nincs olyan kőzetrepedés, amin keresztül a légcirkuláció megvalósulhasson *(4.1. ábra)*. Ez okozza jellegzetes "barométerszerű" viselkedését: ha a felszíni légnyomás magas, akkor fentről levegő nyomul a barlangba, ha viszont a légnyomás csökken, akkor a légáramlás iránya megfordul és a barlang belsejéből magasabb radon- illetve - a különböző ásványi folyamatokból származó - széndioxid tartalmú levegő áramlik a kút felé.

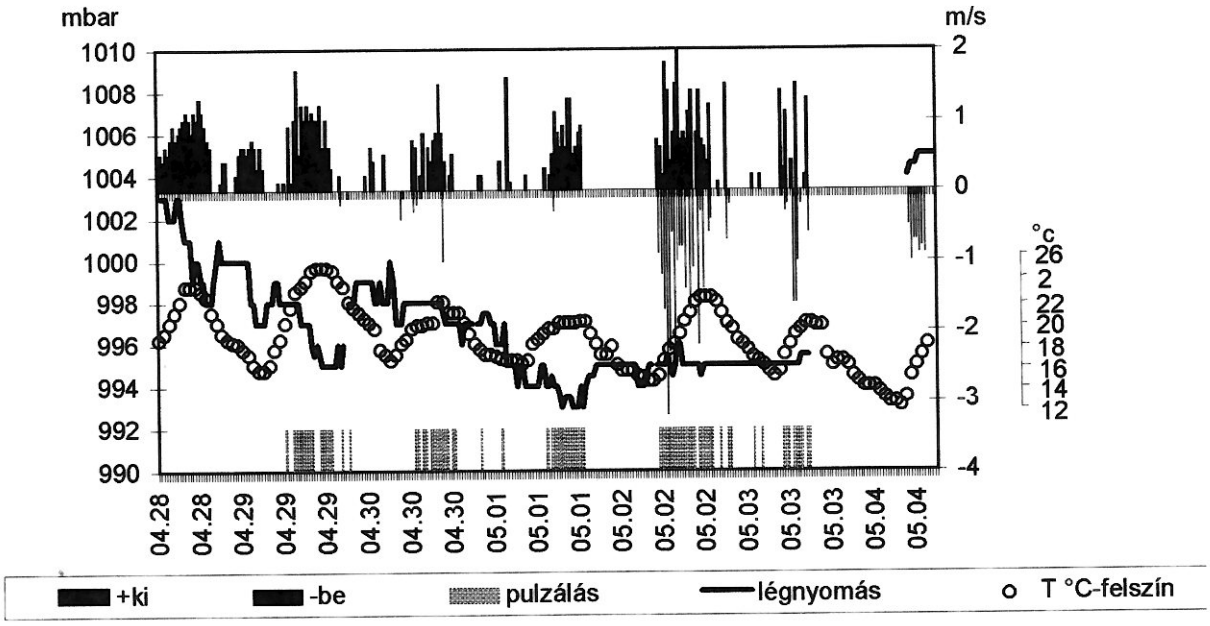


4.1. ábra A Cserszegtomaji-kútbarlang idealizált hossz-szelvénye

A tábor ideje alatt a barlang 52 m mélységben lévő bejáratát PUR-hab és hungarocell lapok segítségével leszükítettük 15x15 cm-es nyílássá, így a légáramlás sebessége mérhetővé vált lapátkerekes anemométerrel. Félóránként mértük még a légnyomást, a hőmérsékletet és a páratartalmat. Ezzel párhuzamosan a felszínen termohigrográf segítségével rögzítettük a hőmérsékletet és a páratartalmat.

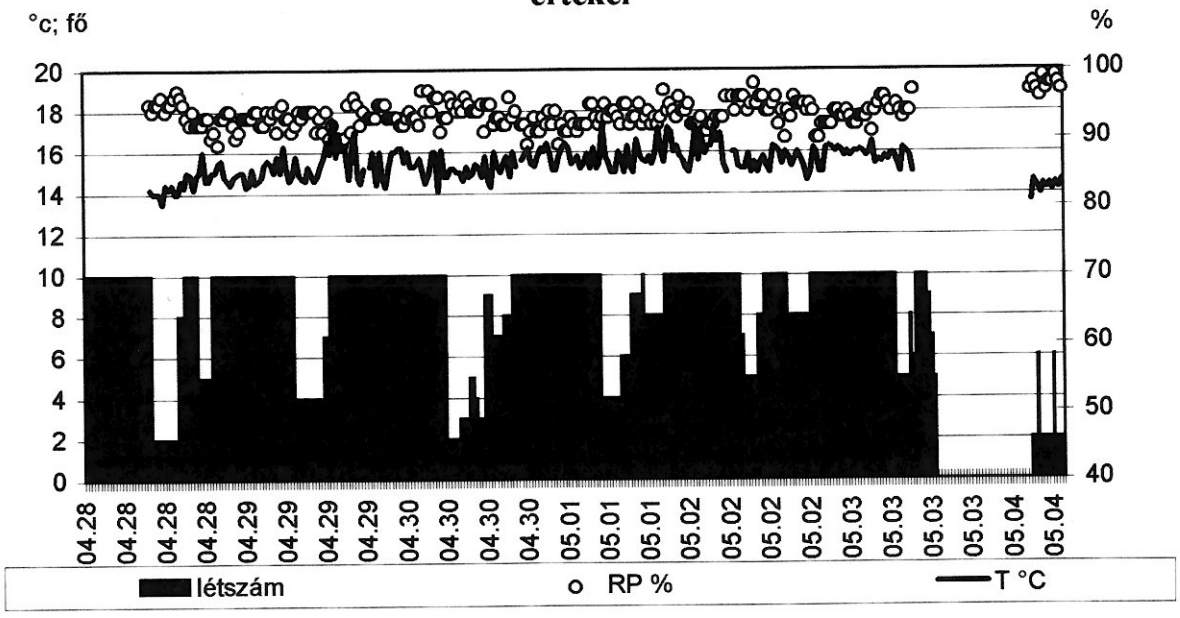
A mérések megkezdésekor a helyi légnyomás értéke 1003 mbar volt. A második napon 995 mbar-t mértünk, azaz légnyomásesés 8 mbar volt 24 óra alatt. Ezután

A légnyomás, a felszíni hőmérséklet és a bejárati légáramlás változása



4.2. ábra

A létszám, a bejárati hőmérséklet, illetve a relatív páratartalom értékei



4.3. ábra

kisebb emelkedés (999 mbar) után újabb esés következett: a negyedik napon 993 mbar-ra csökkent, majd a tábor végéig 995 mbar érték körül állapodott meg.

A légáramlás menetét megvizsgálva szembetűnik, hogy az éjszakai órákban leáll a légmozgás, a felszíni hőmérséklet emelkedésével párhuzamosan viszont beindul, felélénkül, pulzál, majd a délutáni lehülés időszakában újra leáll *(4.2. ábra)*. Ez a jelenség a talaj felmelegedése okozta talajközeli légmozgásoknak tulajdonítható. A belső zónákban ez nem figyelhető meg.

A hőmérséklet és a páratartalom mérések adatait - az alacsony légnyomású front hatására kifelé áramló huzat miatt - a táborban és a kútnál tartózkodó személyek erősen befolyásolták, értékelésük nem vezet eredményre *(4.3. ábra)*.

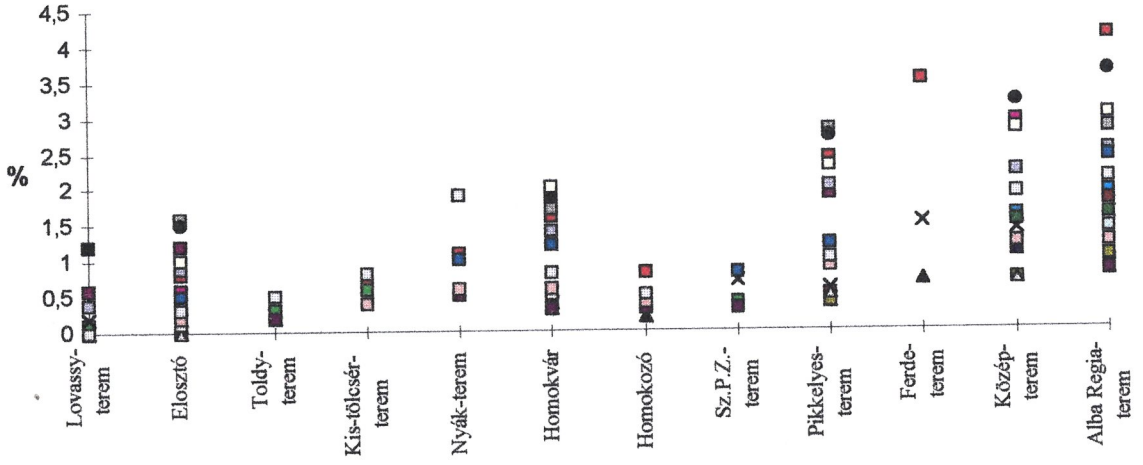
A széndioxid tartalom - párhuzamosan a radon tartalommal - a kúttól való távolság függvényében növekszik a belső zónák felé. A széndioxid mérését - müszer hiányában - báriumhidroxid oldatban való elnyeletéssel végeztük. 20 cm^3 0,1 n báriumhidroxid oldaton 1 dm^3 levegőt szívattunk át kézi, ill. akkumulátoros pumpával. A felszerelés barlangon belülil nehézkes mozgatása miatt a felszínen csavartetővel ellátott kémcsőbe lett bemérve az elnyeletőoldat, amit a helyszínen töltöttünk át az elnyelető impingerbe, majd az elnyeletés után visszaöntöttük a tároló edénybe. Az átöntés zavaró hatásának kiküszöbölése érdekében minden mérőhelyen egy vakmintávalis megismételtük a műveletet levegő átszívása nélkül. Az elnyelető edényt minden esetben desztillált vízzel átöblítettük a mérések előtt, ill. között. Az elkoszolódott folyadékot zárt edényben a felszínre szállítottuk. Az elnyelető oldat visszatitrálása 0,1 n sósavval történt fenolftalein indikátor jelenlétében a felszíni laboratóriumban. Sajnos, az értékelésnél olyan alacsony számokat kaptunk, ami ellentmond tapasztalatainknak, de a magas radon tartalom se támaszt alá. A hiba vagy a módszerben, vagy a végrehajtásban van. Ennek ellenére figyelemre méltó, hogy május 3-án a Szabó Pál Zoltán-teremben olyan széndioxid koncentrációt mértünk, amelyet a tábor kezdetén csak a legbelsôbb zónákban (pl. Alba Regia-terem) tapasztaltunk.

	04. 28.	05. 02. de.	05.02. du.	05. 03.
Kút			0,4	
Lovassy-terem		0,3	0,5	
Elosztó	0,3	0,4		0,7
Toldy-terem	0,4	0,5		
Homokvár	0,7			
Sz.P.Z.-terem	0,6			0,9
37-es t.pont	0,7			
Közép-terem	0,8			
Alba Regia-terem	0,9			

4.1. táblázat Széndioxid-tartalom báriumhidroxidos elnyeletéssel (tf. %)

Átnézve a régebbi, Drager-pumpával, ill. mérőkapszulával végzett méréseket *(4.4-4.5. ábra)*, ill. figyelve szervezetünk reagálását meg tudjuk becsülni a hozzávetőleges széndioxid tartalmat.

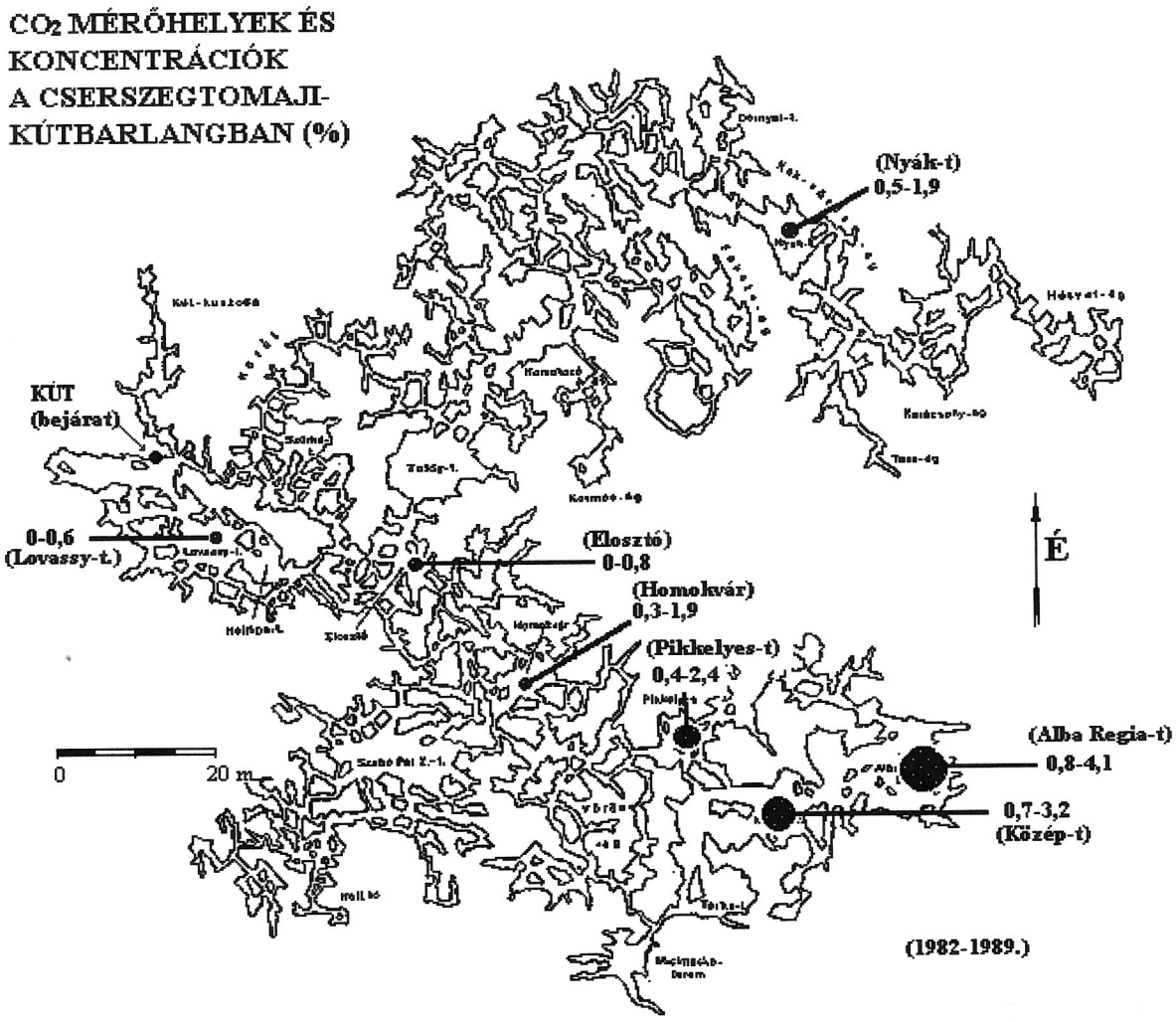
Széndioxid értékek 1982, 83, 84, 87, 89. évben



4.4. ábra

A légnyomás esése már az első kutatónapon megkezdődött, így a belső zónákban a magas széndioxid-tartalom miatt csak rövid ideig tartózkodhattunk. Koncentrációja az Alba Regia-teremben ekkor 4-4,5 % között volt valószínüsíthető, míg az utolsó nap már a Szabó Pál Zoltán-terem, Homokvár zónájában tapasztaltuk magunkon hasonló mértékű "levegőhiányt". A táborhelyen 1-1,5 % becsülhető átlagos széndioxid tartalomnak, itt a gyufa sem igen akart meggyulladni. A légnyomás és a Rn-tartalom mérési eredményei is alátámasztják ezeket a feltételezéseket.

A tábor időszakában erős esést követően, tartósan alacsony légnyomás alakult ki. Emiatt a légáramlás a barlangból kifelé irányult, majd az egyensúly beálltával a bejáratnál a légmozgás pulzálása volt tapasztalható. Ez csak a felszíni hőmérséklet emelkedésének hatásával magyarázható. A széndioxid koncentrációja megemelkedett. A széndioxid-mérés sikertelensége miatt (amely részben abból is következett, hogy a magas koncentrációjú szakaszokat a második naptól már mintavétel céljából sem tudtuk felkeresni) csak régi mérési adatok és becslések alapján feltételezzük a Rn-hoz (lásd 6. fejezet) hasonlóan magas koncentrációkat. A kedvezőtlen időjárás miatt a résztvevők előre meg nem jósolhatóan magas terhelésnek voltak kitéve.


CO2 MÉRŐHELYEK ÉS
KONCENTRÁCIÓK
A CSERSZEGTOMAJI-
KÚTBARLANGBAN (%)
(Nyák-t)
0,5-1,9
KÚT
(bejárat)
0-0,6
(Lovassy-t.)
(Elosztó)
0-0,8
(Homokvár)
0,3-1,9
(Pikkelyes-t)
0,4-2,4
É
0
20 m
(Alba Regia-t)
0,8-4,1
0,7-3,2
(Közép-t)
(1982-1989.)

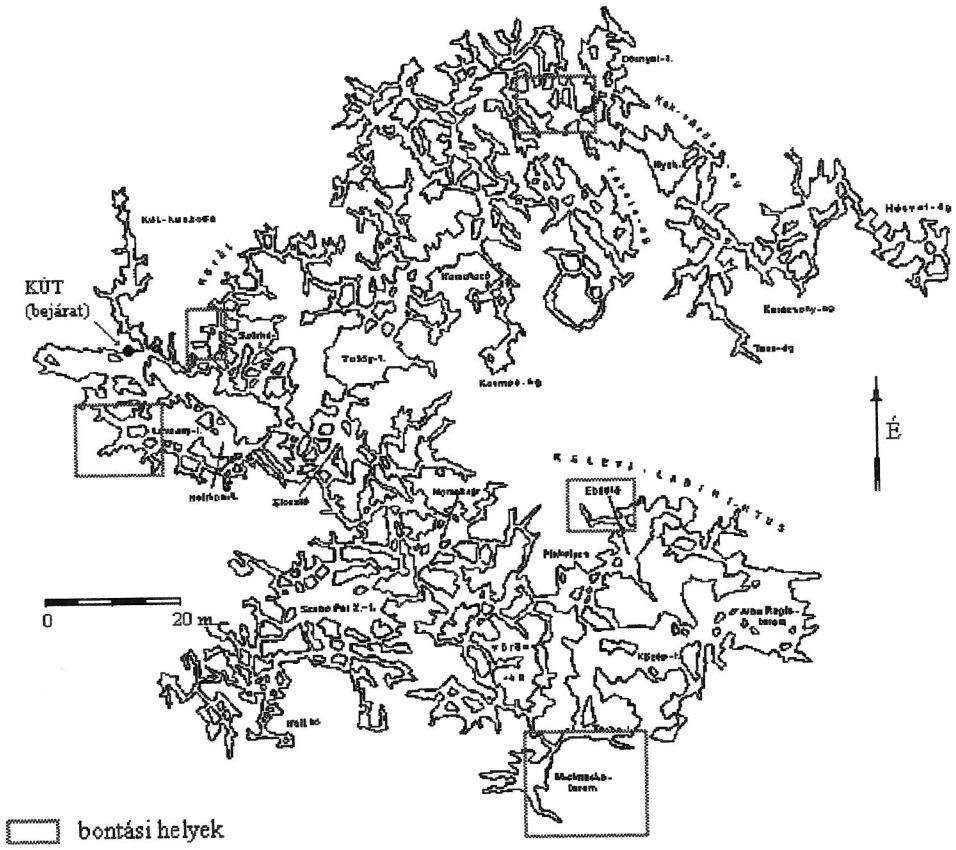
4.5. ábra

5. FELTÁRÓ KUTATÁS

A Déli-labirintus térségében tervezett munkákat a magas széndioxid-koncentráció miatt nem tudtuk megkezdeni, csupán a Micimackó-terem déli és az Ebédlő északi végpontján történt próbálkozás a tábor első napján.

Az Északi-labirintusban a Tölcsér-terem talpát bontottuk. Három napi munka után kézi eszközökkel bonthatatlan kemény kitöltést találtunk, ezért ezen a ponton a munkát befejeztük.

A Körút délnyugati részén szűk, dolomitpúderba ágyazdott kőtörmelék átbontásával két kisebb, egymás tőszomszédságában nyíló terembe jutottunk. A termek 2-3 m átmérőjüek, főtéjük omladékban harapódzott fel, a kisebbikben nem lehet továbbmenni, a nagyobbikban időhiány miatt kellett abbahagyni a kutatást.



5.1. ábra: a feltáró kutatások helyszínei

A Lovassy-terem délnyugati végpontján vésőgép segítségével végeztünk bontást. A kitöltés itt nehezen jövesztheto átkeményedett dolomitpor, amelyben nehezen haladtunk előre. Ebben a zónában több ponton kezdtük el a kitöltés jövesztését.

Mivel csak két kutatónapon állt rendelkezésünkre vésőgép, eredményt egyik ponton sem tudtunk felmutatni. A továbbkutatás ezen a ponton eredménnyel bíztat.

6. RADIOMETRIAI MÉRÉSEK

A kutatás szervezése során felmerült az igény radiometriai mérési program összeállítására, amelynek előzménye az volt, hogy a már korábbi években végzett hasonló vizsgálatok a barlangi levegő viszonylag magas radioaktivitását és különleges változási sémáit jelezték. A kutatótábor jó lehetőséget adott az ezirányú vizsgálatok részletező kiterjesztésére. Beszámolónkban ezen kutatási program radiometriai tárgyú eredményeit ismertetjük.

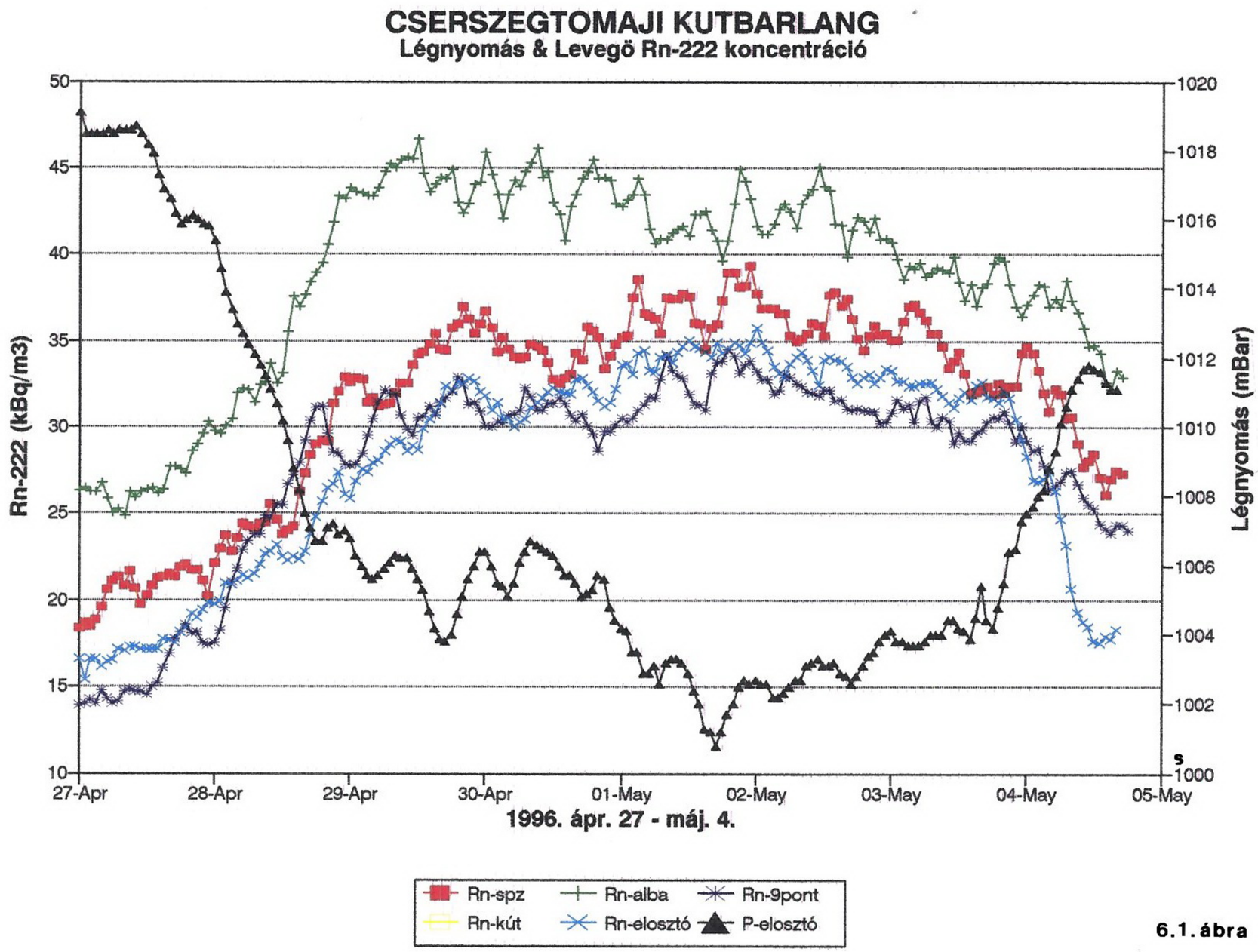
6.1. Levegő Rn-222 koncentráció mérés

A barlangi radonkoncentráció mérését az ATOMKI kutatói már az 1970-es évektől több hazai barlangban folyamatosan végzik. Eleinte szilárdtest nyomdetektorokkal történtek a mérések, amelyek lehetővé tették az expozíciós idő alatti átlagos radonkoncentráció meghatározását. Ezen mérések adataiból a barlangi légkörzés egy sor törvényszerűségére lehetett következtetni, és kiderült, hogy a barlangok többségében időnként figyelemreméltóan magas radonkoncentrációk (több 10 kBq/m^3-es nagyságrend) fordulnak elő, amelynek dozimetriai jelentőséget kell tulajdonítanunk. A cserszegtomaji barlangban jelenleg is folynak rendszeres nyomdetektoros mérések, melyeket a tábor idejére kiegészítettünk 15 db Radamon típusú személyi dozimétterrel az egyéni radonexpozíciók vizsgálatára.

A radonkoncentráció mérésében áttörést jelentett a monitoring műszerek megjelenése, amelyekkel folyamatosan, nagy időfelbontással végezhetők a vizsgálatok. A folyamatos idősorok regisztrálásával eddig elérhetetlen részletességgel váltak tanulmányozhatóvá a radonkoncentráció néha igen jelentős dinamikájú változásai és a barlangi légkörzés finomabb törvényszerűségei. Tovább mélyítette ismereteinket, amikor hozzájutottunk a monitoring műszerek többcsatornás változataihoz, amelyek a radonkoncentráció mérésén túlmenően a legfontosabb környezeti paraméterek (hőmérséklet, légnyomás, vízszintingadozás, stb.) folyamatos regisztrálását is ellátják. Ezek a vizsgálatok és a műszerek kifejlesztése - többek között - a 2014 sz. és a T 017560 sz. OTKA támogatásával történtek .

A cserszegtomaji barlangban folyamatos radonkoncentráció méréseket 1993. óta végzünk. Eleinte egy, majd 1995-től kezdődően öt ponton helyeztük el a műszereket. Ezek a következők: Kút alja, Elosztó, Szabó Pál Zoltán terem, Alba-Regia terem és az északi ágon a 9. sz. azonosítási pont. A műszerek helye a később tárgyalandó *6.6. ábra* térképén azonosítható. A műszerek közül 2 db egycsatornás (csak a Rn-222-t méri) és 3 db többcsatornás (Rn, hőmérséklet, légnyomás méréssel) változat. Az alkalmazott műszerek a Balatonalmádi DATAQUA

Elektronikai Kft. gyártmányai. Ezek a terepen elhelyezve autonóm módon folyamatosan végzik a radontól és bomlástermékeitől származó alfa-részecskék detektálását, és a begyűjtött impulzusszámot beállítható időközönként tárolják le. A műszer detektora egy különleges minőségű fotodióda. Az általunk beállított gyűjtési idő egy óra volt. A műszer kialakítása olyan (alacsony fogyasztás, nagy adattároló kapacitás), hogy több hónapos folyamatos mérés lehetséges. A műszereknek kijelzője, adatmegjelenítője nincs, a mérési adatok a helyszínen egy kisméretű adatgyűjtő terminál vagy notebook számítógép segítségével nyerhetők ki, a mérési folyamat megzavarása nélkül.


CSERSZEGTOMAJI KUTBARLANG
Légnyomás & Levegö Rn-222 koncentráció
Rn-222 (kBq/m3)
Légnyomás (mBar)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
1020
1018
1016
1014
1012
1010
1008
1006
1004
1002
1000
27-Apr
28-Apr
29-Apr
30-Apr
01-May
02-May
03-May
04-May
05-May
1996. ápr. 27 - máj. 4.
Rn-spz
Rn-alba
Rn-9pont
Rn-kút
Rn-elosztó
P-elosztó

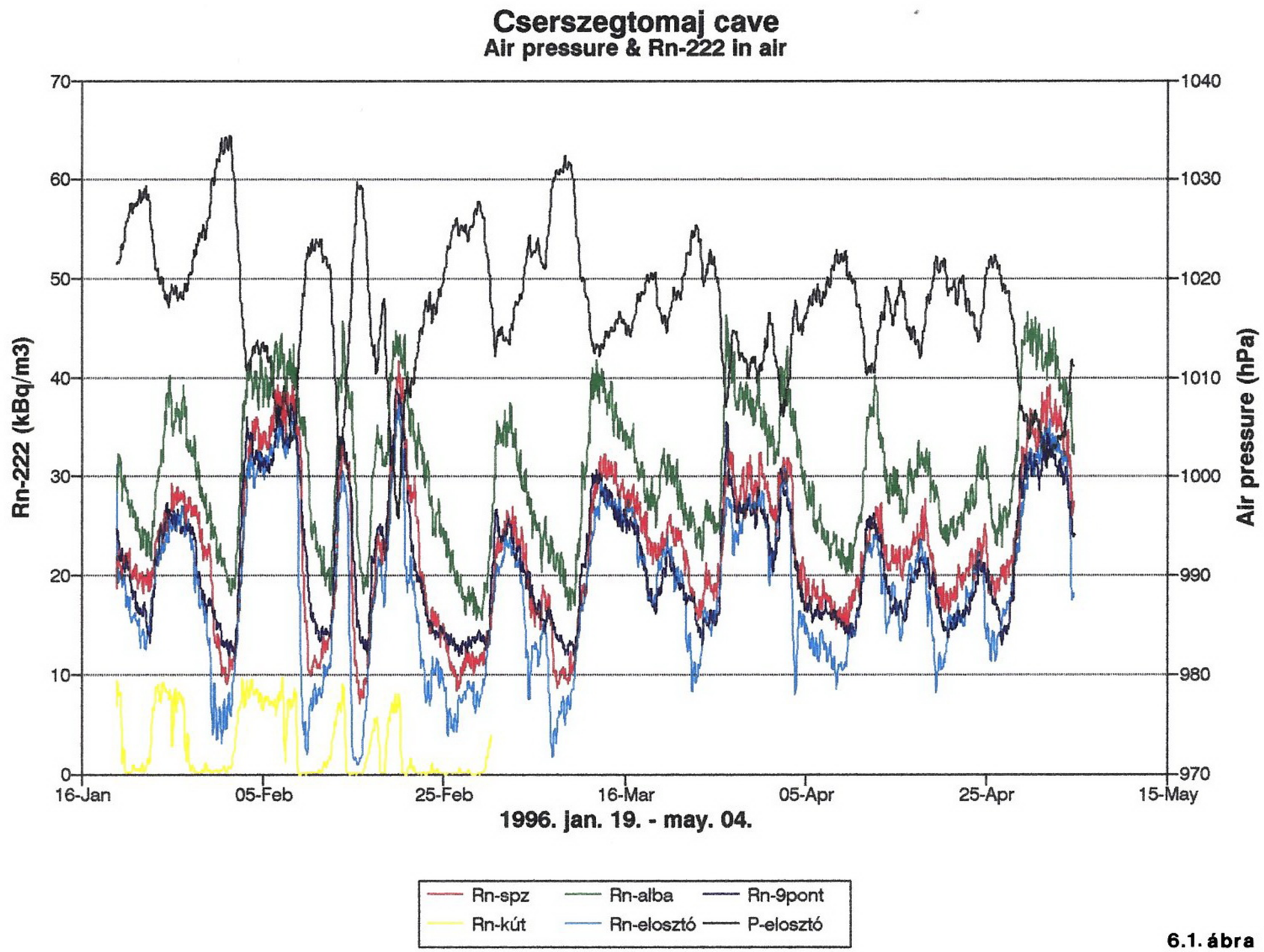
6.1. ábra

A kutatótábor ideje alatt a műszerek folyamatosan működtek (a kút alján lévő kivételével, amely meghibásodott). A tábor végén 4 db műszer kiépítésre került, és jelenleg csupán egy ponton (a kút alján) történik monitoring.

A tábor időtartama alatti, 1996. április 27. - május 5. közötti idősorokat mutatja a *6.1. ábra*. A 4 db Rn-diagramon kívül feltüntettük a légnyomás görbéjét is. Ezek összevetéséből rögtön látható, hogy a két paraméter szinte tökéletes antikorrelációban áll. Abból a szempontból a tábor időpontjának megválasztása balszerencsés volt, hogy folyamatosan csökkenő, majd tartósan alacsony légnyomású időszakra esett - természetesen ezt nem lehetett előre prognosztizálni. A balszerencsés minősítést azért tettük, mert két éves folyamatos méréseink alapján az említett jelenség 144 órán (a kutatás időtartama) keresztüli folyamatosságának valószínűsége kisebb, mint 1 %. Emiatt a radontól eredő sugárterhelés, másrészt a barlang levegőjének CO_2 tartalma maximális volt a tábor ideje alatt. (A legvalószínűbb átlagos radonszint kb. a fele a tapasztaltnak.)

Hosszabb időszak hasonló diagramja látható a *6.2. ábrán*. A téli-tavaszi időszakot átfogó diagramokból látható, hogy a tábor alatt bekövetkezett tartósan alacsony légnyomású időszak viszonylag ritkán, évente néhány alkalommal fordul elő. A Rn-222 légnyomással való szoros kapcsolata itt is markánsan jelentkezik. Ezt a viselkedést a barlang légcseréjének speciális voltával magyarázzuk: egyetlen bejárattal rendelkező "zsákszerű" képződményről lévén szó, a barlangban nem tud kialakulni a külső és belső levegő fajsúlykülönbsége által hajtott tartós és stabil áramlási rendszer - amint az a legtöbb barlangnál megfigyelhető. Ezt támasztja alá az a megfigyelés is, hogy a levegő radonkoncentrációjában szezonális ingadozás gyakorlatilag nem mutatkozik. A görbék megfigyelt jellege a következőképpen értelmezhető: csökkenő és alacsony légnyomásnál a levegő a barlangból kifelé húz, és a légáramlás "megszívja" a repedésrendszert, amelyben természetesen magas radon- és CO_2 koncentrációjú póruslevegő található. Ekkor a koncentráció a barlangban növekszik, illetve magas értékű. Növekvő és magas légnyomásnál az áramlás iránya fordított: ekkor a külső, radonmentes levegő áramlik a barlangba és a pórusrendszerbe befelé nyomul; emiatt a Rn-koncentráció alacsony értékű. A görbékről az is látható, hogy a legalacsonyabb Rn-222 értékek a bejáratnál mutatkoznak, majd befelé haladva (Kút-Elosztó-SzPZ-Alba) fokozatosan nőnek. Ez szinte magától értetődő és a fentebb vázolt áramlási kép alapján magyarázható. Azt is meg lehet állapítani a koncentráció-arányokból, hogy a befelé mutatkozó növekedés először hirtelen (Kút és Elosztó között), majd utána kisebb mértékű. Ebből az következik, hogy már a Kúttól kisebb távolságra is viszonylag magas, gyakorlatilag az egész barlangra jellemző radonkoncentráció értékek uralkodnak, ami a barlangászok sugárterhelése szempontjából rossz hír. A tapasztalatok szerint a levegő átlagos széndioxid tartalma jóval lassabban és egyenletesebben növekszik befelé és a legmagasabb értékeket csak a barlang legbelsőbb részein éri el. Az eltérő jellegű viselkedést a két gáz forráseloszlásának különbözősége magyarázhatja. Míg a radon forrása többé-kevésbe egyenletesen eloszolva található, addig a széndioxid

inkább távoli forrás. A pumpáló légmozgás higító hatása a radioaktív bomlás következtében kialakuló stabil radonszinteket csak a bejárat közelében tudja átlagosan lecsökkenteni, miközben ugyanez a légmozgás a távoli forrás és a bejárat között átlagosan egyenletesen növekvővé keveri a széndioxid szinteket.


Cserszegtomaj cave
Air pressure & Rn-222 in air
Rn-222 (kBq/m3)
Air pressure (hPa)
70
60
50
40
30
20
10
0
1040
1030
1020
1010
1000
990
980
970
16-Jan
05-Feb
25-Feb
16-Mar
05-Apr
25-Apr
15-May
1996. jan. 19. - may. 04.
Rn-spz
Rn-alba
Rn-9pont
Rn-kút
Rn-elosztó
P-elosztó

6.1. ábra

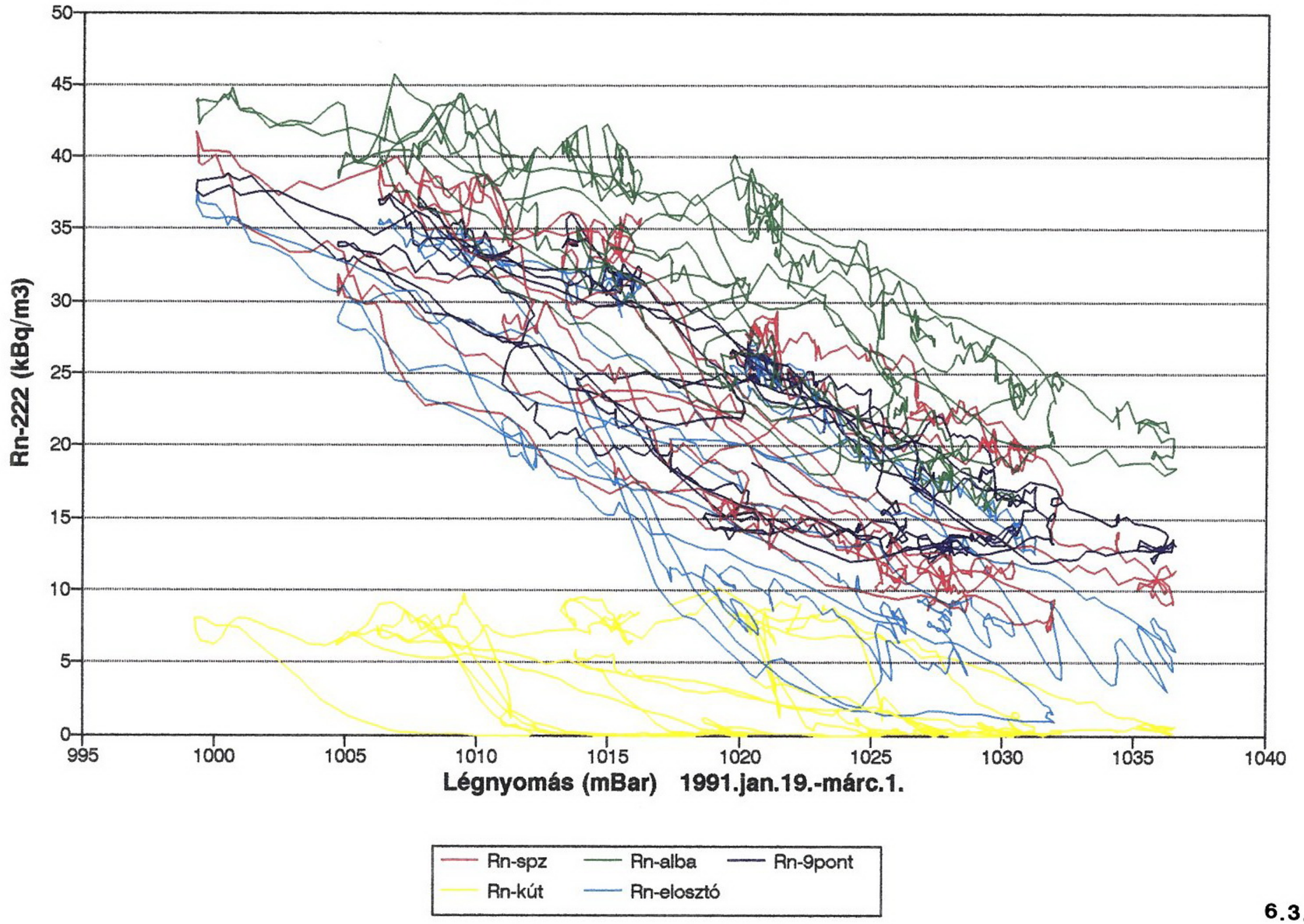
A *6.3. ábrán* a légnyomás-radonkoncentráció fázisdiagramjait mutatjuk be, ahol a görbék lefutása alátámasztja az eddig elmondottakat. Az ábrából azonban ennél több is kiolvasható: A légnyomás és a koncentráció kapcsolata nem szigorúan definit: a görbék bonyolult "bolyongásából" következően a folyamat jelentős hiszterézis hatást mutat (azaz a nyomás felszálló és leszálló ágában eltérő utat jár be a fázistérben).

Elvégeztük az idősorok 1996. január 19. és márc. 1. közötti szakaszának amplitúdó-spektrum meghatározását. Az alkalmazott algoritmus a Fourier-analízisnek egy speciális változata volt. A spektrumok a frekvencia (vagy ennek reciproka: a periódusidő) függvényében adják az adott paraméter változásának a nagyságát. Segítségével eldönthető, hogy milyen periódusidejű folyamatok dominálnak az adott paraméter időbeli változásaiban. A kút alján elhelyezett monitor nyomás, hőmérséklet és Rn-222 adatsorából számított amplitúdó-spektrumok láthatók a *6.4. ábrán*. Mindhárom paraméter esetében jól kivehető 12 órás periódusidejű csúcs mutatkozik. Ez a légnyomásváltozások esetében az irodalomban leírt és jól ismert jelenség, ami a Föld forgásából adódik, és periódusideje annak fele. A radon hasonló csúcsa a légnyomással való szoros antikorreláció miatt szükségszerűen adódik. A hőmérséklet spektrumának 8 és 12 órás csúcsa különös jelenség, magyarázatát egyelőre nem tudjuk megadni. Mindenesetre a 24 órás csúcs hiánya azt jelzi, hogy a napi hőmérsékletváltozások hatása idáig nem hatol le (érthető módon: a makroszkópikus légáramlás hiánya és a neutrális zónát, azaz kb. 15-20 m-t meghaladó mélység miatt). Mindhárom paraméter esetében az időjárási frontok gyakoriságára jellemző többnapos periódusok markánsan jelentkeznek.

6.2. Radontermék mérés

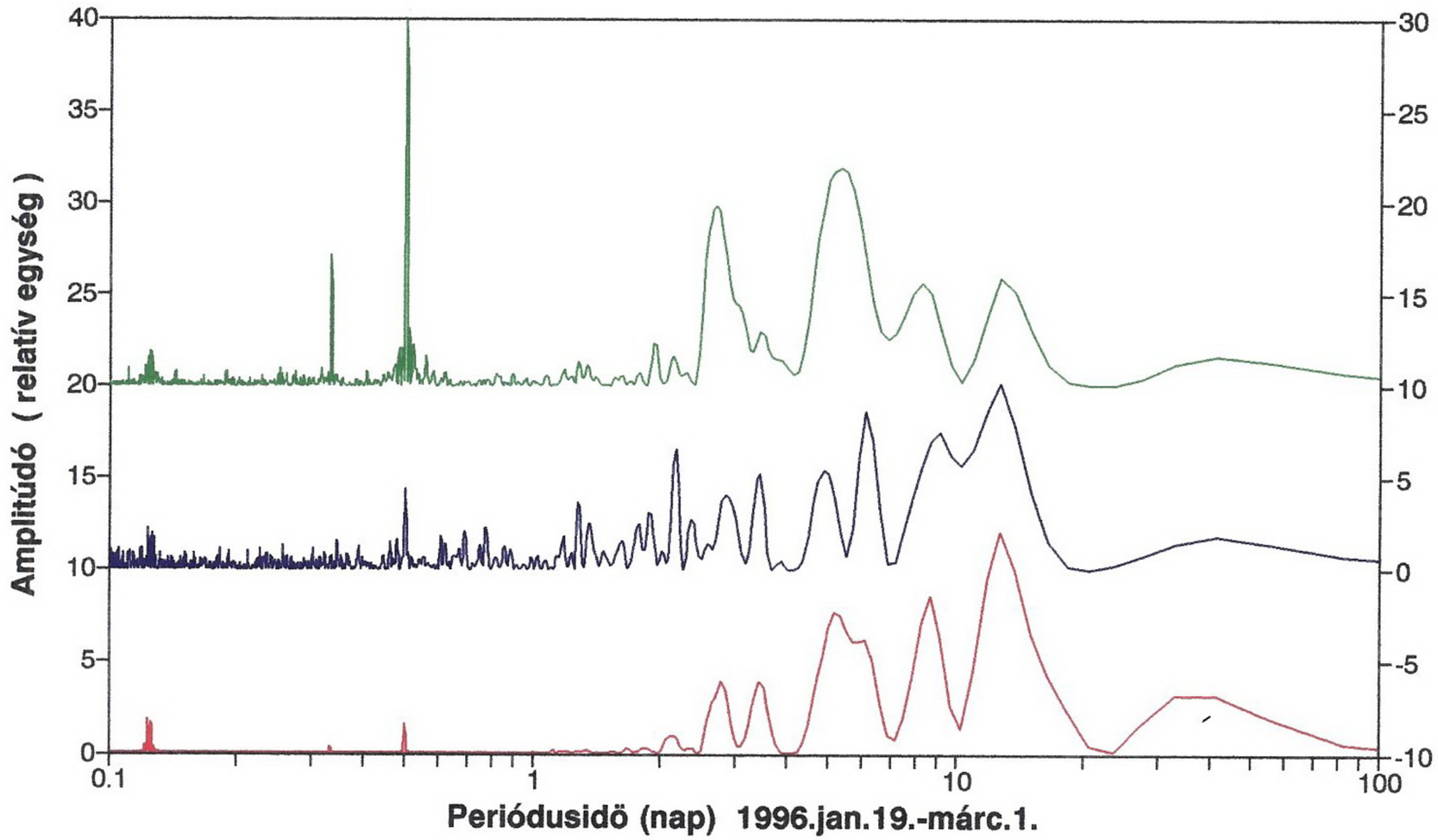
A barlangászokat érő sugárterhelés elsősorban nem a radontól, hanem annak rövidéletű alfa-sugárzó bomlástermékeitől (Po-218 és Po-214) ered. Ennek az a magyarázata, hogy míg a belélegzett radon nagy valószínűséggel kilégzésre kerül (csak egy elenyészően kis hányada bomlik el éppen a tüdőben), addig a bomlástermékek - kiülve a levegőben lévő aerosol részecskékre - a belégzést követően jelentős arányban maradnak a tüdőben, kicsapódva annak felületére. Itt azután kifejtik roncsoló hatásukat. A radon és bomlástermékei közötti radioaktív

CSERSZEGTOMSAJI KUTBATLANG
Légnyomás - Rn-222 fázisgörbék



6.3. ábra

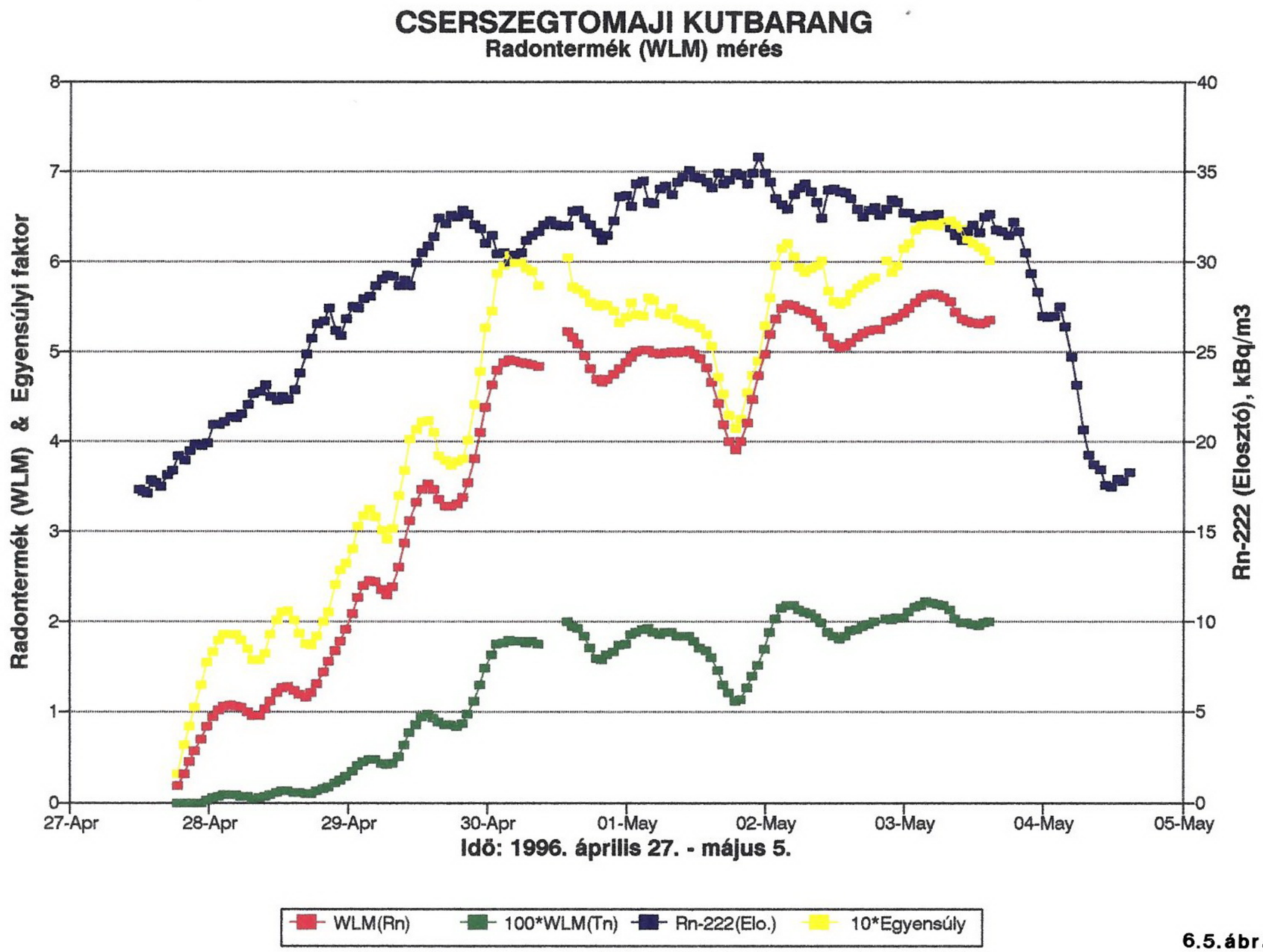
CSERSZEGTOMAJI KUTBARLANG
Légnyomás - Hömérséklet - Rn-222 amplitúdóspektrum



Filter: lowcut 10 dB/decade
Oversampling: 4 x

P-kut — T-kut +20 — Rn-kut

6.4.ábra


CSERSZEGTOMAJI KUTBARANG
Radontermék (WLM) mérés
Radontermék (WLM) & Egyensúlyi faktor
Rn-222 (Elosztó), kBq/m3
0
1
2
3
4
5
6
7
8
0
5
10
15
20
25
30
35
40
27-Apr
28-Apr
29-Apr
30-Apr
01-May
02-May
03-May
04-May
05-May
Idő: 1996. április 27. - május 5.
WLM(Rn)
100*WLM(Tn)
Rn-222(Elo.)
10*Egyensúly

6.5.ábra

egyensúly a levegőben tökéletesen sohasem tud beállni, mivel a bomlástermékek eltérő kémiai jellegük miatt (fémes ionok) folyamatosan kicsapódnak a felületekre (lehet ez aerosol részecske - ekkor a levegőben maradhat, de ki is hullhat - vagy a barlang fala).

A sugárterhelés pontos meghatározása pusztán a radonmérésekből nem lehetséges, ha a radon és a bomlástermékek közötti arányt kifejező úgynevezett egyensúlyi faktor (f) nem ismert. A tapasztalatok szerint f értéke jól szellőző illetve szellőztetett helyeken (pl. a mecseki uránbányákban) 0,1-0,3 közötti érték, kevésbé jól szellőző helyeken (pl. barlang, lakás) 0,4-0,5 közé tehető, azonban az olyan korlátozott légcseréjű térségekben, mint a cserszegi barlang, f értéke elérheti a 0,5-0,6-os értéktartományt is. A tábor ideje alatt a barlangászokat ért radon bomlástermék okozta sugárterhelés meghatározása valamint az egyensúlyi faktor vizsgálata céljából folyamatos radon bomlástermék koncentráció mérést végeztünk az adott időszakban. A mérésre a Veszprémi Egyetem Radiokémiai Tanszékének WLx típusú műszerét kaptuk kölcsön (köszönjük a Tanszéknek és személy szerint Dr. Somlai Jánosnak). A műszer órás felbontással folyamatosan regisztrálta külön-külön a radon és a toron (azaz a Rn-220, a tórium radioaktív család tagja) bomlástermék koncentrációját a barlang levegőjében, a barlangászok alvóhelyén. A mérés eredménye látható a *6.5. ábrán.*

Az ábrán feltüntettük a radon és toron bomlástermékek koncentrációját WL (working level) egységben (1 WL megfelel 3,7 kBq/m^3 radontermék aktivitáskoncentrációnak), a mérés helyszínéhez legközelebb lévő DATAQUA radon monitor Rn-222 aktivitáskoncentráció diagramját, valamint az egyensúlyi tényező előbbiek alapján számított görbéjét. Utóbbi esetén feltételeztük, hogy a radon aktivitáskoncentráció az Elosztónál és az alvóhelyen azonos (ez a feltételezés a *6.1-2. ábrák* különböző helyeken felvett diagramjai alapján valószínűsíthetően megállja a helyét). Látható, hogy a radon-bomlástermék aktivitáskoncentráció a radonéhoz viszonyítva még nagyobb dinamikával változott (emelkedett) a vizsgált időszakban, amelynek végére az egyensúlyi tényező is elérte a 0,5-0,6-os értéket (sőt, meg is haladta azt). Ez utóbbi érték közvetve is alátámasztja a barlangi légcsere korlátozott mivoltát. A toron bomlástermék aktivitáskoncentrációja, bár kimutathatósági határ feletti volt, a radontermékéhez képest elhanyagolható értékű, utóbbinak kb. 0,5 %-a. Ez az alacsony érték a toronnak az igen rövid élettartamából következik ($T_{1/2}$ = 55 s); egyszerűen a toronnak "nincs elég ideje" a teljes lebomlás előtt kilépni a pórusokból.

A radon-bomlástermék aktivitáskoncentráció, a tartózkodási idő és a radontermékre vonatkozó dózis-konverziós tényező szorzatából adódik a személyeket ért effektív dózis egyenérték. A tábor időszakára ezt kiszámítva 3,2 WLM adódik. A WLM (working level month, munkaszint-hónap) az uránbányászatban előforduló magas koncentrácóknál használatos dózis-egység, az ICRP-65 alapján 1 WLM megfelel 5 mSv effektív dózis egyenértéknek. Utóbbi egységben kifejezve a táborban résztvevő személyek által csak a radon-

bomlástermékektől összegyűjtött többlet effektív dózis 16 mSv. Ennek értékeléséhez megadjuk, hogy a környezeti háttérsugárzásból egy év alatt összeadódó dózis egyenértékek világátlaga (és kb. a magyarországi átlaga is) 2-2,5 mSv. A Radamon személyi doziméterek szerint ennek durván hatszorosát lehetett begyűjteni egyenletesen, ugyanis a Pylon WLx radon lánytermék monitor mellé elhelyezett Radamon radon monitorok és az egyes kutatók egyéni radonexpozícióját mérő Radamon radon monitorok közti relatív eltérés minden esetben kisebb volt, mint 10 %. Így gyakorlati szempontból az adatok egyformának tekinthetők. Mivel a kutatók általában különböző helyen és ideig tartózkodtak a barlang egyes részein, s ez nem tükröződik az őket ért radonexpozícióban, elmondható, hogy a tartósan alacsony légnyomás miatt barlangon belül is egyenletessé vált a radonszint. Ez utóbbi jelenség ellentmond eddigi tapasztalatainknak, amelyek a bejárathoz közel átlagosan fele akkora radonszinteket prognosztizáltak, mint a barlang belső részein.

A jelenleg hatályos magyarországi előírások normál lakosságra nézve 5 mSv/év, sugárveszélyes munkahelyen dolgozókra (pl. az uránbányászokra) 50 mSv/év dóziskorlátot írnak elő az effektív dózisra. A legújabb nemzetközi ajánlások szigorúbbak, 2 illetve 20 mSv/év-et javasolnak öt évre átlagolva. A leírtak alapján a barlangászok által elszenvedett többlet-dózis a határértékekhez viszonyítva jelentős, de ennek értékelésekor feltétlenül mérlegelni kell a barlangászok tevékenységéből adódó baleseti kozkázatot is, amelyet minden leszálláskor vállalnak. Mindazonáltal a barlangászoknak is érdemes törekedniük arra, hogy ekkora dózisok begyűjtésére csak ritkán és akkor is csak indokolt esetben kerüljön sor.

A tábor megkezdése előtt adtunk egy szakvéleményt, ahol a várható sugárterhelés WLM-ben kifejezett értékét a ténylegesen adódotthoz igen közelinek (2,7 WLM-nek) prognosztizáltuk. Ezzel kapcsolatban két megjegyzés kívánkozik:

1.) A prognózis során a radonkoncentráció vonatkozásában átlagos körülményekből indultunk ki, a valóságban azonban - a terhelés szempontjából - az átlagtól a lehető legjobban eltérő, magasabb értékek adódtak. A valóságos sugárterhelés azért nem lett mégis magasabb, mert a radon - radontermék közötti egyensúly csak igen lassan állt be a telítési értékre, amely utóbbi jelenséget nem láttuk előre. Ebből az is adódik, hogy a rövidebb idejű légnyomásesési periódusok esetén (inkább ezek a jellemzőek, ld. 6.*2. ábra* légnyomás diagram) a mostaninál lényegesen alacsonyabb terhelés várható, ami a barlangászok szempontjából jó hír.

2.) A prognózisban a WLM-mSv közötti átszámítást a Magyar Szabvány és az ÁBBSz alapján végeztük, amely szerint 1 WLM 10 mSv dózis egyenértéknek feleltethető meg. A legújabb nemzetközi ajánlás (ICRP-65) e konverziós tényező értékét a felére csökkentette. A mostani dózisszámításnál már ezt az új értéket alkalmaztuk. A dóziskonverziós tényező ilyen nagyarányú megváltoztatása arra is utal, hogy a gyakorlatban előforduló, igen csekélynek minősíthető sugárdózisok esetén a megbetegedési kockázatnövekedés olyan kismérvű, hogy még rafinált

statisztikai módszerek alkalmazásával is csak rendkívül nehezen érhető tetten. Úgy gondoljuk, ez is jó hír a barlangászoknak.

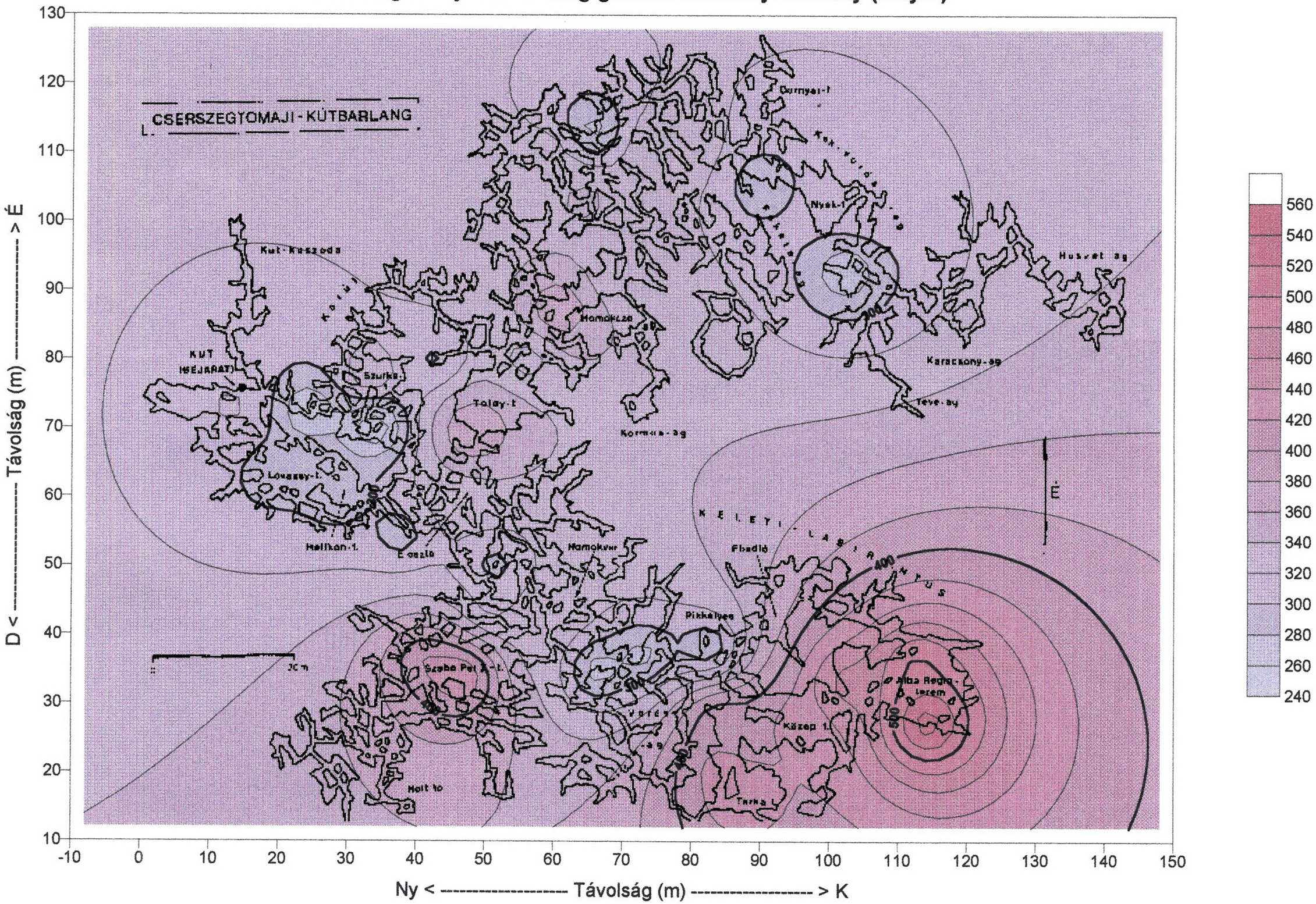
6.3. Gamma-spektrometriai vizsgálat

A terepi gamma-spektrometriai mérések a természetben előforduló két legfontosabb radioaktív nuklidtársaság (az urán és tórium radioaktív családok) szülőelemei, valamint a kálium (a K-40-es radioaktív izotóp alapján) koncentrációjának szelektív meghatározását szolgálják. Erre az ad elvi alapot, hogy a fenti radioaktív sugárzók által kibocsátott gamma-fotonok energiája diszkrét és egymástól eltérő értékekből tevődik össze. Amennyiben tehát a teljes sugárzási energiaskálán "ablakokat" nyitunk, amelyeken túlnyomórészt a fentebb említett sugárzók gamma-fotonjai dominálnak, akkor a megfelelően megválasztott energia-ablakokban mért impulzusszámokból a radioaktív elemkoncentrációk meghatározhatók.

A barlangi méréseket MÉV gyártmányú NK-484 típusú 4 csatornás terepi gamma-spektrométerhez csatlakoztatott ND-497 típusú ∅ 75 x 50 mm-es NaI (Tl) szcintillátor kristállyal végeztük. A spektrométer elemtartalmakra történő hitelesítésére a Mecsekurán Kft. hiteles anyagmintákat tartalmazó etalontömbjeit használtuk, és az ott elfogadott szakmai követelményeket alkalmaztuk. A gammadózis hitelesítésre zárt rádium sugárforrás szolgált. A mérések elvileg a mérési pont alatti talaj U, Th és K tartalmát, valamint a levegőben elnyelt gamma dózisteljesítmény értékét szolgáltatják, négy energiaablakban egyidejűleg végzett impulzusszámlálás alapján. A barlang felmérése 50 ponton történt meg, amelynek eredményeit táblázatban összefoglaltuk. A táblázatban feltüntetett koordináták relatív értékek, a mérési pontok azonosítására szolgálnak. A táblázat tartalmazza továbbá a gamma dózisteljesítmény értékét nGy/h egységben, valamint az urán, tórium és kálium ablakban beérkező impulzusszámot és a megfelelő elemkoncentrációkat.

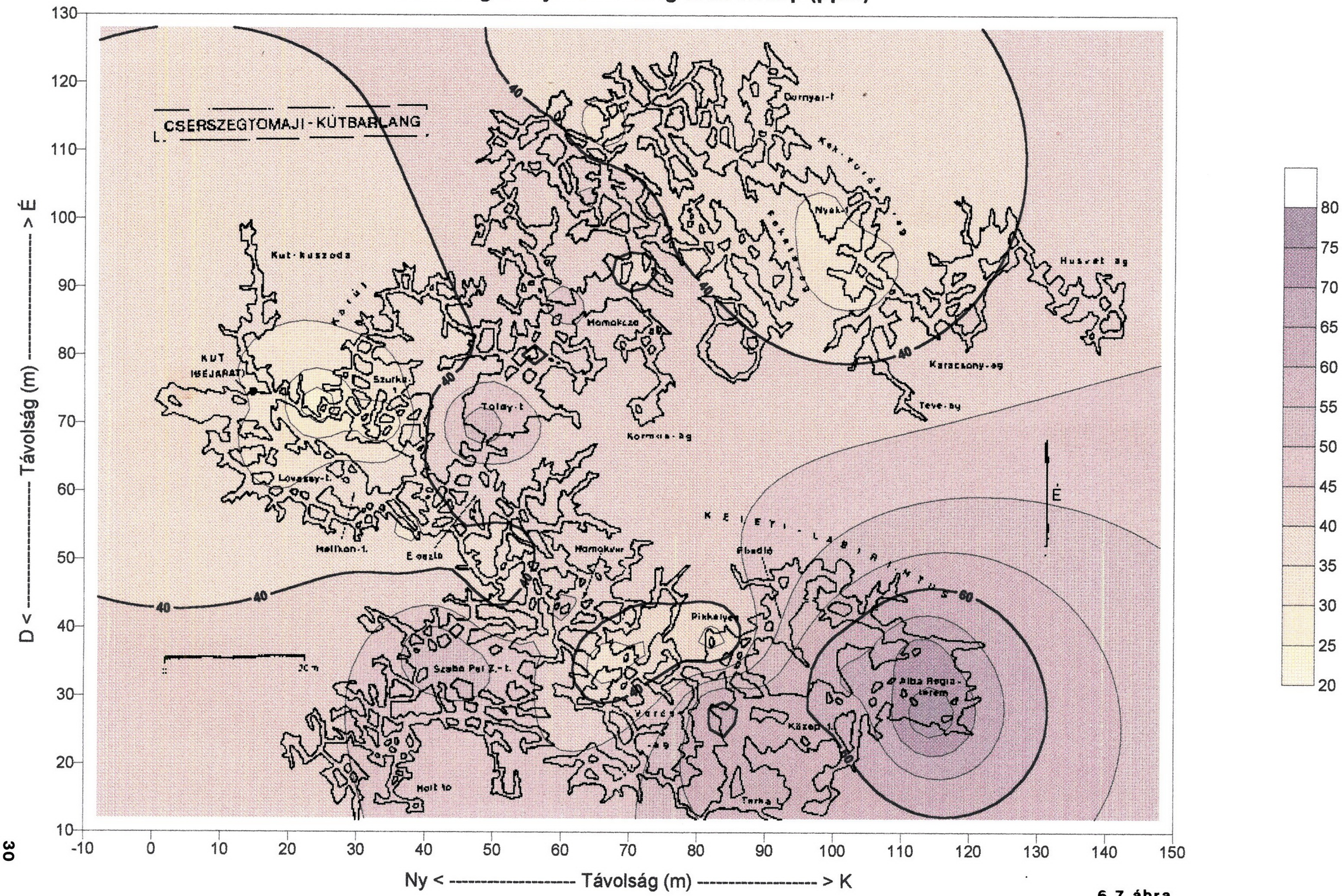
A mérések eredményeiből megszerkesztettük a felmért terület színes, izovonalas gamma dózisteljesítmény, valamint U, Th és K tartalom térképeit, amelyek a *6.6-9. ábrákon* láthatók. A táblázat és az ábrák tanulmányozásából rögtön szembetűnik az U tartalom mindenütt jelenlévő irreálisan magas értéke (világátlag: 2-3 ppm), amit a földtani adottságok egyáltalán nem indokolnak. Ez hívta fel a figyelmet arra, hogy a műszerrel kapott U koncentráció értékek semmiképpen sem tekinthetők valósnak. Ennek az a magyarázata, hogy a hitelesítés és a mérés körülményei jelentősen különböztek egymástól, a következők tekintetében:

Cserszegtomaji Kútbarlang gamma dózisteljesítmény (nGy/h)



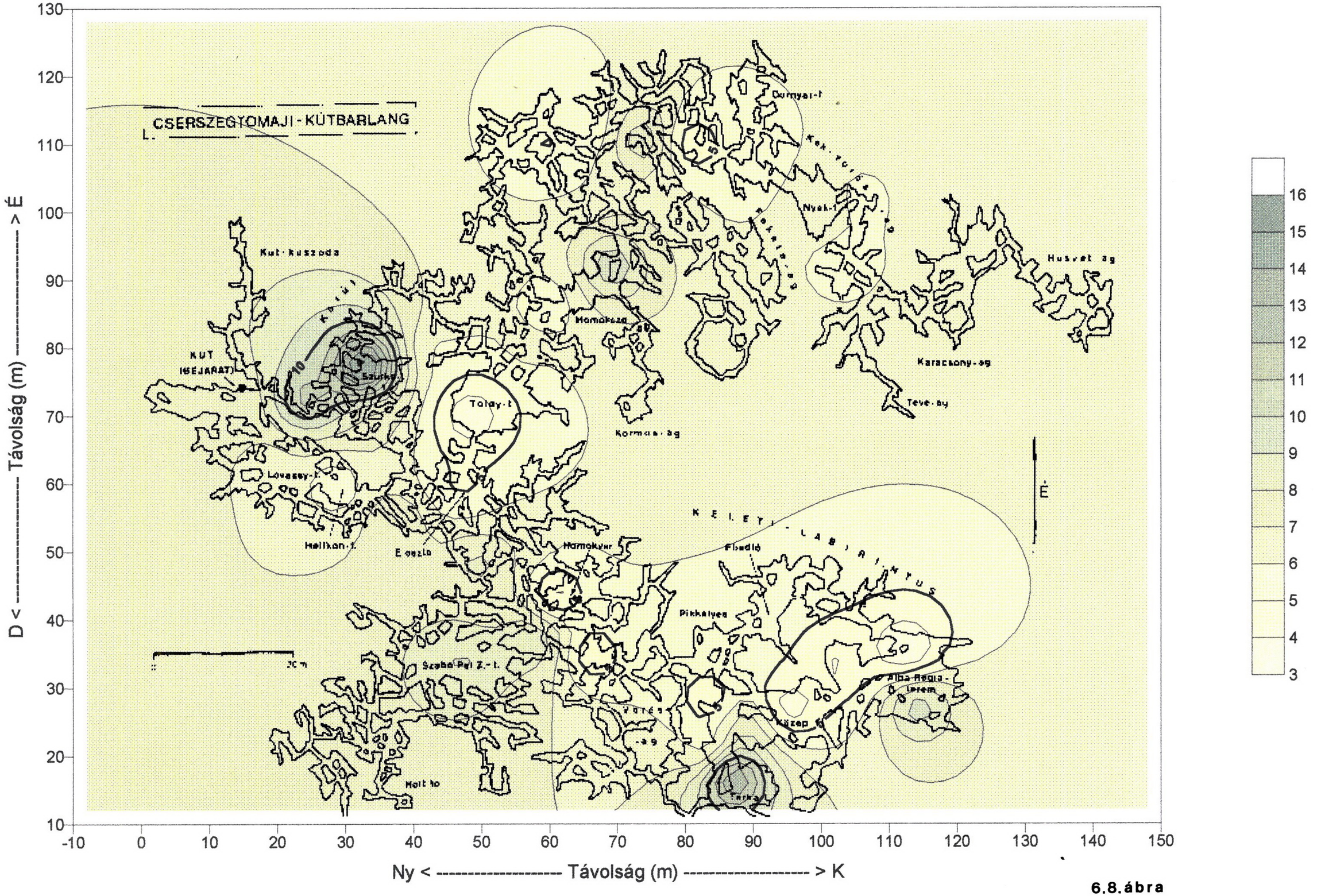
6.6. ábra

Cserszegtomaji Kútbarlang urán térkép (ppm)



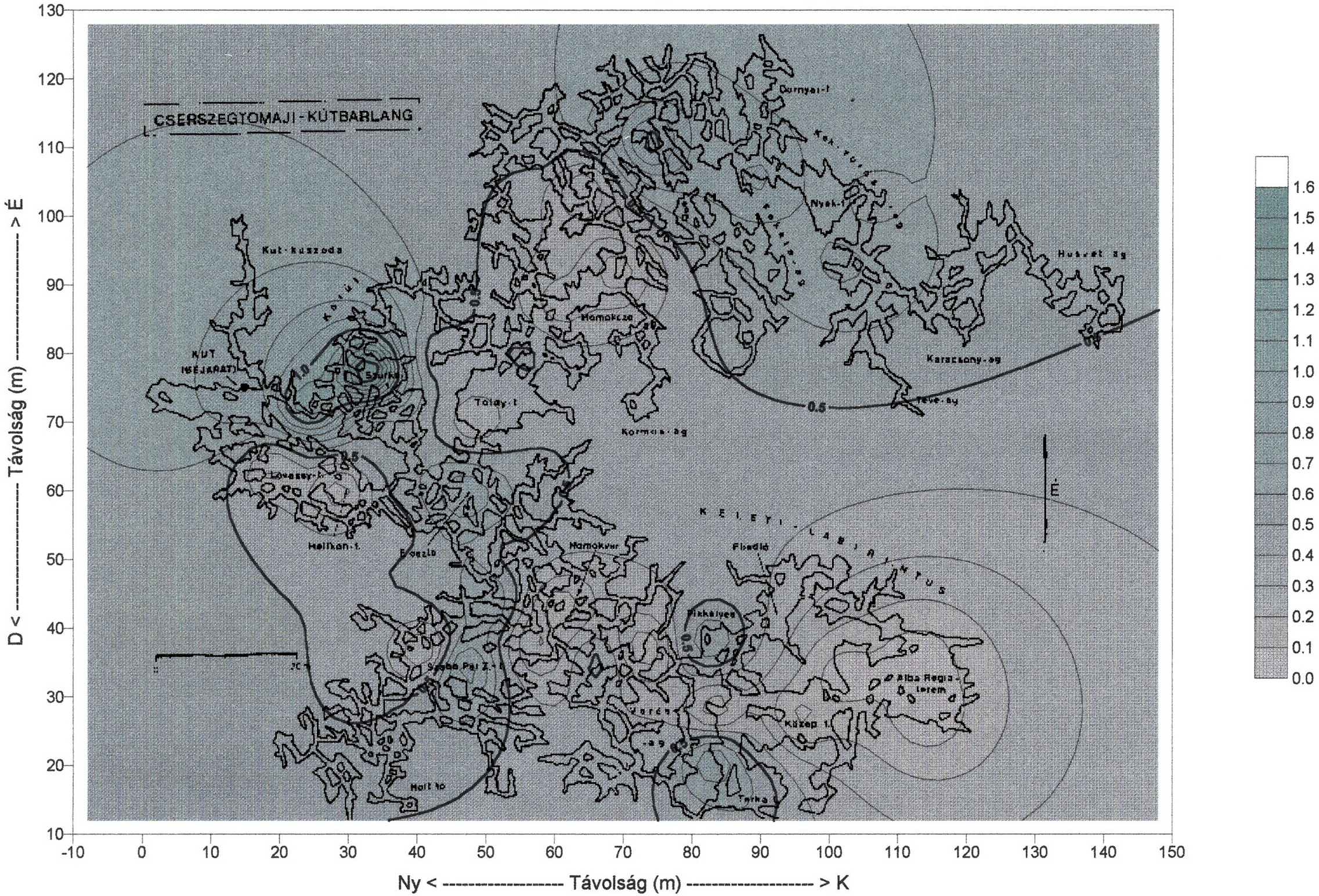
6.7. ábra

Cserszegtomaji Kútbarlang tórium térkép (ppm)



6.8.ábra

Cserszegtomaji Kútbarlang kálium térkép (%)



6.9.ábra

Cserszegtomaji Kútbarlang: Gamma-spektrometriai mérések eredménye

Sor-szám	Koordináták X(m)	Koordináták Y(m)	Gamma nGy/h	Kálium K(i/p)	Kálium K(%)	Urán U(i/p)	Urán U(ppm)	Tórium Th(i/p)	Tórium Th(ppm)
0	47	59.5	316	400	0.0	318	45.3	31	4.0
1	51	49.5	244	298	0.0	234	32.6	30	5.4
2	47	34	376	472	1.2	299	42.9	28	3.3
3	57.5	37.5	429	609	0.1	463	64.1	65	12.6
4	57.5	37.5	274	316	0.0	258	35.7	36	7.0
5	57.5	37.5	297	375	0.4	266	36.7	39	7.8
6	60.5	43.5	338	386	0.0	329	47.5	25	1.7
7	66	35	246	280	0.6	181	25.7	20	3.0
8	73	37	257	276	0.0	233	32.5	30	5.4
9	82.5	38	267	330	0.8	209	29.1	29	5.5
10	83.5	28	421	535	0.0	458	65.8	38	3.5
11	89	24	414	553	0.4	404	56.6	50	8.7
12	95	27	433	535	0.0	419	60.5	33	2.5
13	112.5	35	512	609	0.0	517	74.8	38	2.2
14	114	27.5	565	689	0.0	578	81.4	65	10.2
15	102	33	474	596	0.0	468	67.3	39	3.6
16	83.5	21	431	622	1.0	431	61.7	40	4.6
17	87	17	452	625	0.7	438	59.7	72	15.5
18	14	72.5	286	330	0.5	224	30.5	37	8.0
19	19	63.5	283	329	0.2	243	33.8	33	6.2
20	28.5	60	282	314	0.0	275	38.8	30	4.6
21	38	54.5	278	333	0.4	229	31.1	39	8.6
22	47	59.5	349	455	1.0	302	43.5	26	2.5
23	48.5	70.5	363	464	0.3	345	49.6	29	2.7
24	60.5	87	392	452	0.2	340	48.2	36	5.2
25	69	92	324	381	0.1	285	38.7	48	10.5
26	64	104	352	441	0.1	338	47.7	38	6.0
27	61	110	330	408	0.0	318	44.5	39	6.7
28	99	100	308	364	0.7	239	32.9	36	7.3
29	102	93.5	254	325	0.7	208	28.9	29	5.6
30	104.5	101.5	320	384	0.5	266	37.3	33	5.7
31	89.5	105.5	280	380	0.9	246	34.6	30	5.1
32	80.5	110	329	412	0.8	277	39.5	28	3.8
33	74	110.5	345	456	1.2	282	38.6	46	9.8
34	65	113	248	301	0.8	187	26.1	25	4.6
35	60.5	110	328	452	1.0	297	42.5	28	3.3
36	56	80	302	391	0.5	271	37.9	35	6.3
37	48	69.5	419	521	0.0	430	62.4	30	1.3
38	48	69.5	374	492	0.6	347	49.3	36	5.1
40	42.5	79.5	286	357	0.4	255	35.7	32	5.6
41	34	70	212	254	0.5	165	22.0	32	7.5
42	33	77	343	496	2.0	258	32.7	70	18.5
43	24	72.5	249	292	1.4	139	17.0	45	12.5
44	14	72.5	361	441	1.0	285	40.0	36	6.3
45	47	59.5	329	431	1.5	247	34.2	37	7.4
46	50.5	49	328	440	1.1	272	36.7	50	11.4
47	51	43	305	417	0.8	274	38.1	38	7.3
48	41.5	36.5	437	530	0.0	417	58.6	49	8.1
49	47	34	534	661	0.7	465	63.6	74	15.6

1.) A hitelesítés szabad levegőn történt, a mérés pedig rendkívül magas Rn-222 koncentrációjú légtérben. Ekkora radontartalom esetén a detektort érő gammasugárzás döntően nagyobb hányada érkezik a levegőből, mint a környező kőzetekből (a gammasugarak levegőbeli tipikus úthossza 100 m, kőzetekben 10 cm nagyságrendű). Mivel a Rn-222 az uránsor eleme, emiatt a barlangban a detektor mindenütt sokkal több uránt "lát", mint amennyit a valóságban a kőzek tartalmaznak. Az ebből eredő hiba az U tartalommeghatározás esetében nagyságrendnyi, azonban a másik két elem esetében is jelentős mértékű lehet. Emiatt azt kell mondanunk, hogy az urán térképén mutatkozó értékek nem valósak, és a változások főleg a levegőbeli radonkoncentráció változásaival kapcsolatosak (azaz a térkép még tendenciáiban sem jelezheti az U tartalom valós változásait). A Th és K térképek pontosnak nem, de jelleghelyesnek vehetők. A gamma dózisteljesítmény értékek természetesen ettől függetlenül korrektnek tekinthetők.

2.) A hitelesítés és a mérés körülményei a mérési geometria tekintetében is eltértek egymástól, hiszen a hitelesítés az etalontömbök felületén, míg a mérés a kőzettest belsejében (2π illetve 4π geometriában) történt. Az ebből eredő hiba azonban meg sem közelíti a fentebbiből eredő hiba nagyságrendjét.

3.) További hibaforrás, hogy a barlang két, földtanilag jelentősen különböző kőzettest (dolomit illetve homokkő) határfelületén húzódik, így nem dönthető el, hogy a változások valójában melyik képződményhez köthetők.

Fentiek miatt a tartalomtérképek gyakorlati értéke erősen csökkent. A meghatározás hibáját a detektor mérőfejének ólomárnyékolásával és alacsonyabb radonszintű mérési periódusok kiválasztásával lehetne ugyan csökkenteni, megszüntetni azonban nem. A jövőre nézve javasoljuk a vizsgálat megismétlését kőzetmintavételen alapuló laboratóriumi gamma-spektrometriai analízissel, amely költséges eljárás ugyan, de pontos eredményt ad.

Egyetlen, a kút aljáról vett kőzetmintán a Mecsekurán Kft. radiometriai laboratóriumában elvégeztük az ott rendelkezésre álló 8196 csatornás, félvezető detektoros (következésképpen nagypontosságú) berendezéssel a gamma-spektrometriai vizsgálatot. Ennek eredményéből a mintában lévő összes, a detektálási szintet meghaladó radionuklid fajtája és koncentrációja meghatározható. A kétféle detektorral (GeLi és HPGe) felvett spektrum, a legfontosabb csúcsokhoz tartozó nuklidok feltüntetésével a *6.10-11. ábrán* látható. A spektrumok kvantitatív kiértékelésével meghatározott legfontosabb radioelemek koncentrációja a mintában az alábbi:

U család (U-ekvivalensben kifejezve):

U-238: 6 ppm	Th-234: 6 ppm	Ra-226: 7 ppm
Bi-214: 6 ppm	Pb-214: 7 ppm	Pb-210: 7 ppm

Th család (Th-ekvivalensben kifejezve):

Pb-212: 2,5 ppm Tl-208: 3 ppm

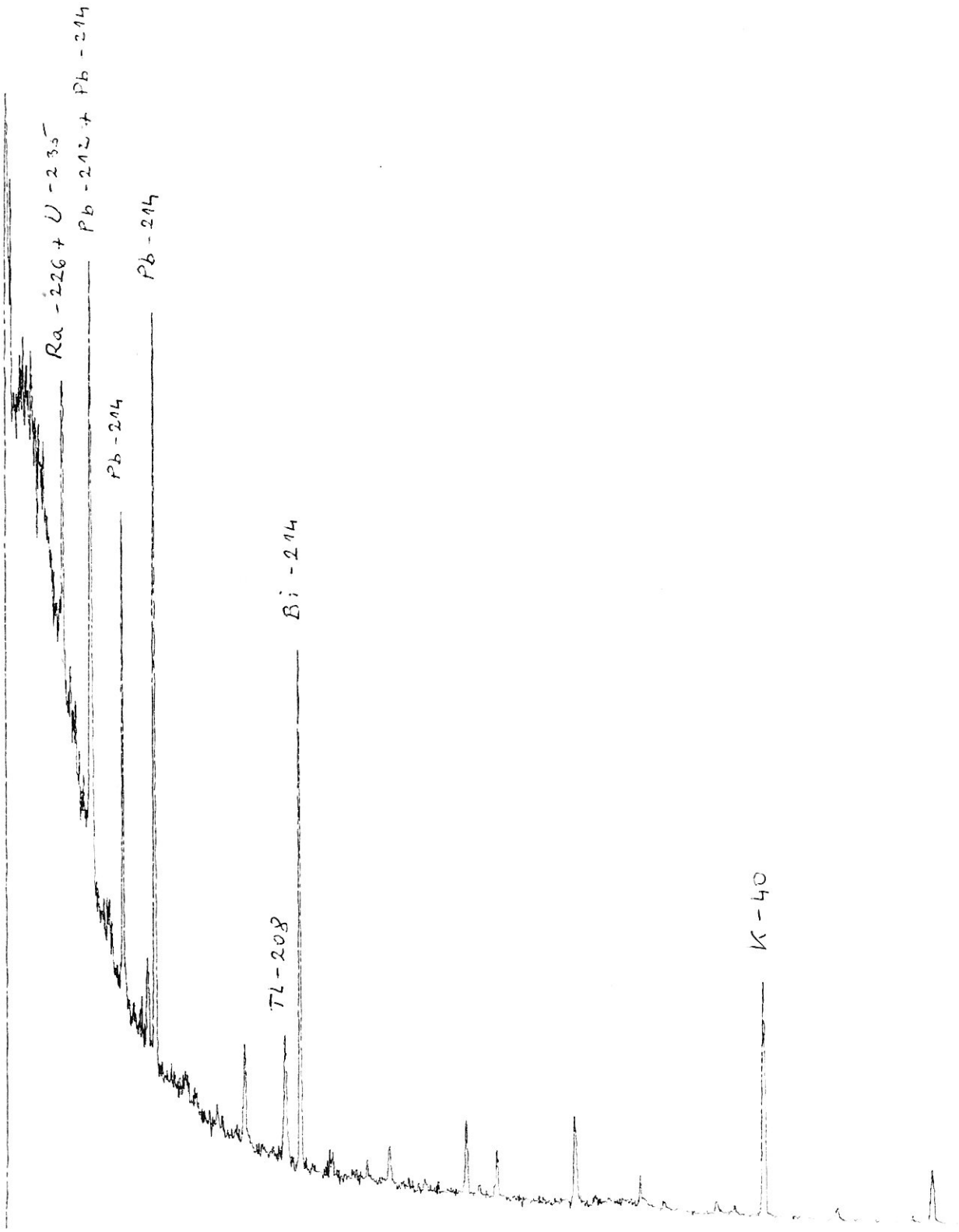
A *K tartalom* 0,4 %-nak, a *fajlagos aktivitás* 116 Bq/kg-nak adódott.

A fentiek alapján megállapítható, hogy a mintában közelítőleg fennáll a radioaktív egyensúly (azaz jelentős radioelem-migráció az utóbbi néhány százezer évben nem volt) A számértékek megfelelő értékeléséhez megadjuk, hogy a földkérgi átlagok: U: 2,7 ppm, Th: 9,6 ppm, K: 2,5 %. A minta tehát a földkérgi átlagnál magasabb urán, alacsonyabb Th és K tartalmú, és kiugróan alacsony a Th/U arány, amely utóbbi fontos geokémiai jelzőszám. A fajlagos aktivitás kapott értéke szerint a minta normál (átlagos) radioaktivitású. Egyetlen minta eredményei alapján azonban általános következtetéseket az egész barlangra vonatkozóan nem lehet levonni.

A mintaelemzés és az in situ gamma-spektrometriai vizsgálat eredményeinek az összevetéséből is leszűrhető, hogy az U térkép - a fentiekben részletezett okok miatt - irreálisan magas értékeket mutat, a Th és K térképek értéktartománya azonban reális.

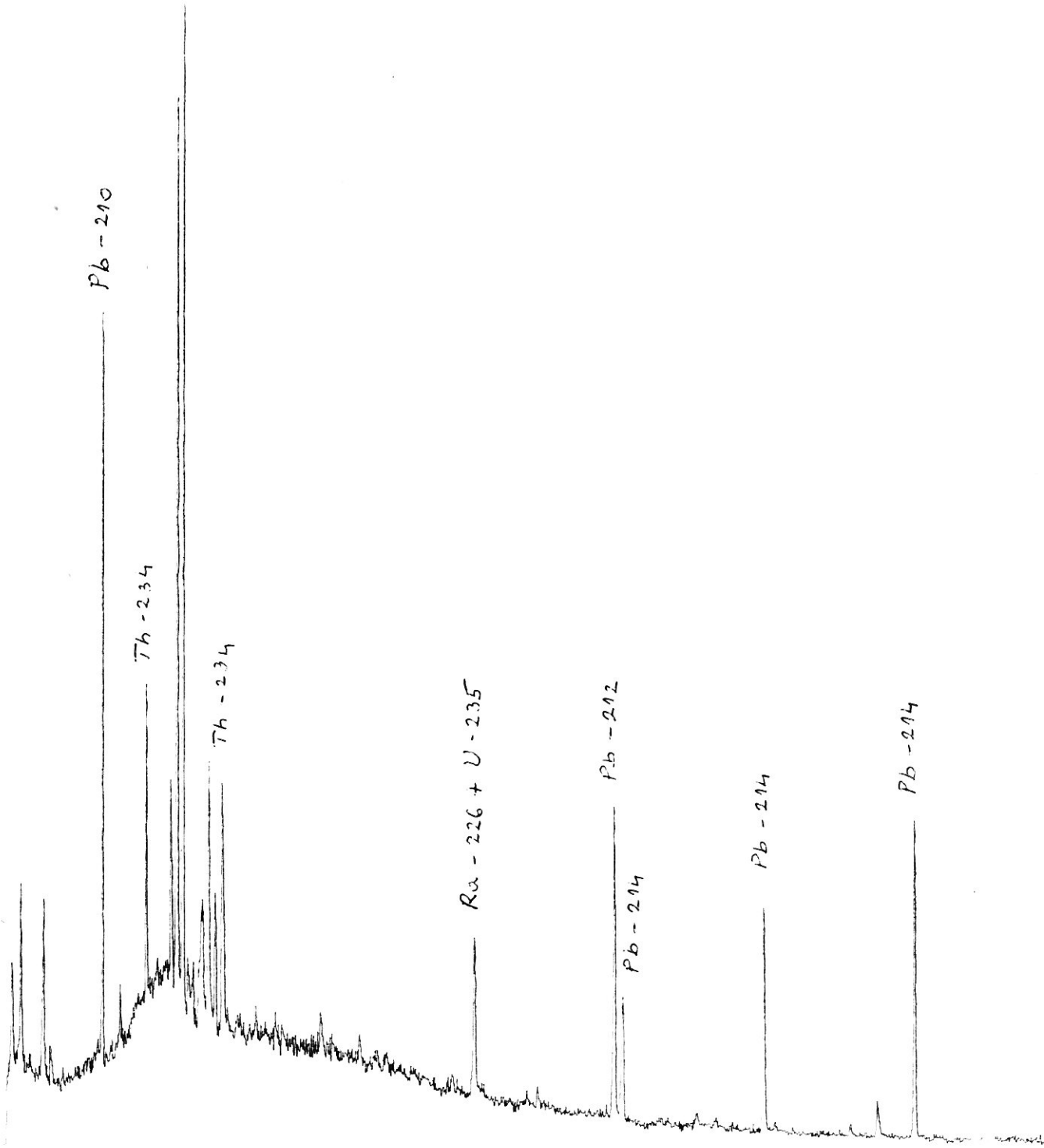
A levegő gamma dózisteljesítmény barlangban mért viszonylag magas értéke a magas levegőbeli radonkoncentrációból adódik (a legfontosabb gammasugárzók: a Bi-214 és Pb-214 nuklidok a Rn-222 rövidéletű bomlástermékei). A helyenként 4-500 nGy/h-ás értéktartományt elérő gammadózisok értékekléséhez megadjuk, hogy a magyarországi átlagérték (külszínen, szabad levegőn) 86 nGy/h. A gammadózis mérések alapján a külső gammasugárzásból a tábor ideje alatt kapott többletdózis meghatározható. Ennek nagyságrendje 0,1 mSv alatti, ezért a radontermékek belégzéséből eredő dózisösszetevőhöz viszonyítva elhanyagolható.

Cserszegtomaji Kútbarlang: Kút aljáról származó minta GeLi gamma-spektruma



6.10.ábra

Cserszegtomaji Kútbarlang: Kút aljáról származó minta HPGe gamma-spektruma



6.11. ábra

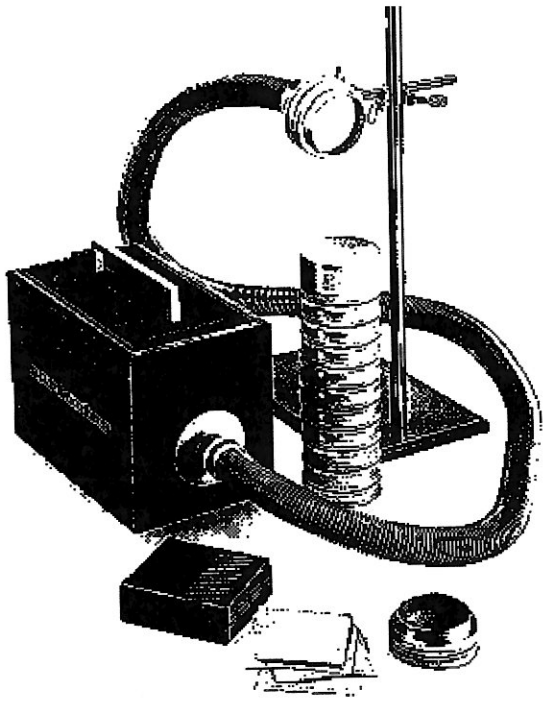
7. MIKROBIOLÓGIAI VIZSGÁLATOK

7.1. Módszerek

Az expedíció során a barlangi levegő mezofil aerob baktérium-tartalmát és a baktériumok faji összetételét vizsgáltuk. Három, a felszíni viszonyokra kidolgozott mintavételi módszer, ill. berendezés barlangban való alkalmazhatóságát is vizsgáltuk. Ezen módszerek, ill. berendezések használatáról az aktív vizes Szemlőhegyi-barlangban már nyertünk tapasztalatokat, de száraz, poros barlangban együttes használatukra most került sor először. E módszerek, ill. berendezések a következők voltak:

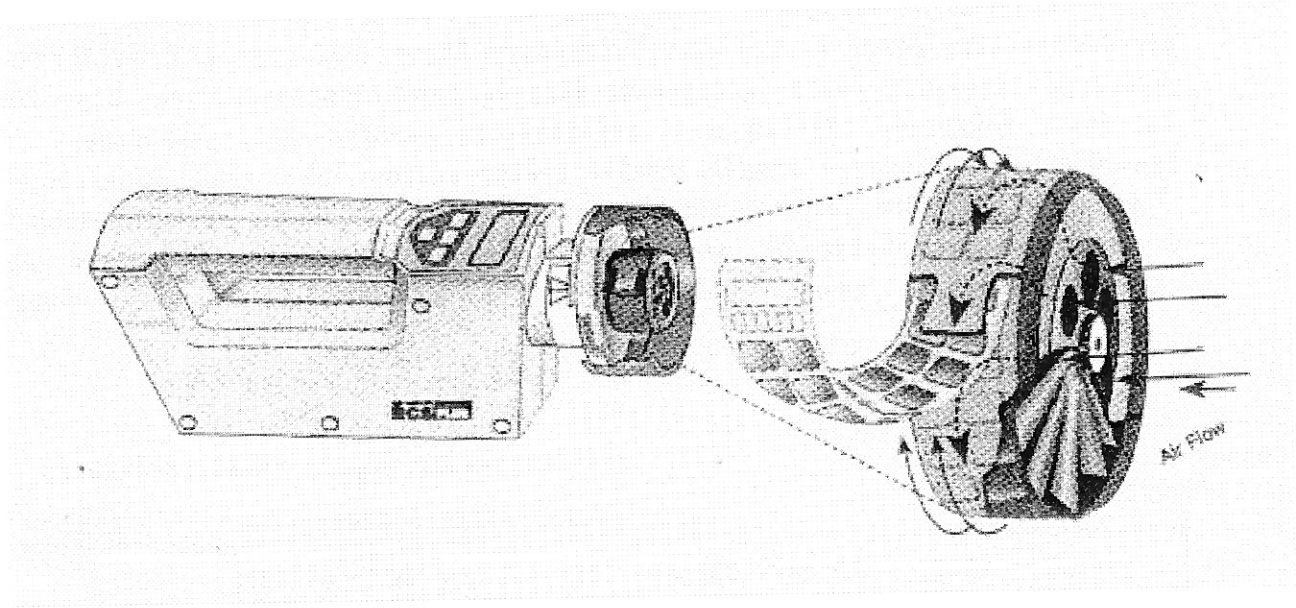
1. Koch-féle szedimentáció, tíz perces expozíciós idővel. Alkalmazott táptalaj: véres agar.

2. Levegőszűrés zselatinmembránon keresztül. Alkalmazott berendezés: Sartorius MD 8, táptalaj: véres agar, vizsgált levegőmennyiség: 8l.



7. 1. ábra: Sartorius MD8 mintavevő

3. Levegő ütköztetése táptalajfelületnek. Berendezés: BIOTEST RCS-Plus, táptalaj: GK-A (gyári), véres agar (saját), vizsgált levegő mennyiség: 20 l.



7. 2. ábra: RCS Plus mintavevő

1. A szedimentáció - mint más barlangok esetében (Szemlő-hegyi-, Mátyás-hegyi-, Abaligeti-, Baradla-, Béke-barlang) - itt is jól bevált, de csak a gyorsan ülepedő szemcsékhez tapadt mikroorganizmusokat lehetett kimutatni. Nehézséget okozott a mintavételi pontokon megfelelő sík és vízszintes talajfelületet találni. Egyszerűsége és olcsósága miatt barlangi mérésekre jól használható.

2. Mint már egyéb fórumon is ismertettük, a berendezés barlangi használata körülményes és igen nehézkes. A zselatinmembrán e "viszonylag száraz" barlangban is hamar elfolyósodott, így - mivel a telepek összefolytak - a lemezek értékelhetetlenek voltak.

3. A BIOTEST RCS-Plus, akárcsak a többi barlangi vizsgálatunk során, itt is beváltotta a hozzáfűzött reményeinket. Könnyen kezelhető volt, a szállítás sem okozott problémát és a táptalajcsíkok jól értékelhetőek voltak. A két féle táptalajon kapott párhuzamos eredményeink között lényeges eltérést nem tapasztaltunk.

Összegezve elmondhatjuk, hogy a barlangi levegő összmikrobaszám-meghatározására az RCS-Plus készülék kiválóan alkalmas és kiegészítve a szedimentációs vizsgálatokkal, megfelelő adatokat szolgáltat az adott balangi levegő higiénés-mikrobiológiai állapotáról.

7.2. A levegőbakteriológiai vizsgálatok eredményei:

A barlang klímája - ahogy ezt az előző fejezetekben ismertettük - az expedíció során igen szélsőséges volt. Az egy hét alatt a belső járatokból folyamatosan magas széndioxid-koncentrációjú levegő áramlott a felszín felé. A levegő nem természetes közege a mikroorganizmusoknak, ide csak esetlegesen - a tenyészhelyről - kerülnek, és szaporodni, vagy tartósan megtelepedni nem tudnak. Méréseink során azt tapasztaltuk, hogy a folyamatos emberi jelenlét ellenére sem emelkedett a levegő baktériumszáma, sőt még a táborhelyen is csökkenését figyelhettük meg. A május 5-én regisztrált magasabb baktériumszámot az időjárásváltozás okozta: a légnyomásemelkedés hatására áramlott - magasabb csíraszámú - levegő a barlangba.

A szedimentációs vizsgálatok eredményei:

Átlag telepképző egységek száma/táptalaj/10 perc

	04. 29.	04. 30.	05. 01.	05. 02.	05. 03.	05. 04.	05. 05.
Kút alja	153	124	103	96	75	42	132
Lovassy-terem	258	204	185	142	122	104	222

RCS-Plus-al végzett mintavételek eredményei

Átlag telepképző egységek száma/20 liter levegő

	04. 29.	04. 30.	05. 01.	05. 02.	05. 03.	05. 04.	05. 05.
Kút alja	86	75	32	26	36	23	79
Lovassy-terem	105	99	72	42	36	30	93

E megfigyelésünket azzzal magyarázzuk, hogy a felszínen is kimutatott mikrobák a barlang egyetlen jelenleg ismert bejáratán, a kútaknán keresztül, ill. a leszállók ruházatával jutnak a barlangi levegőbe. Itt nem képesek jelentősen elszaporodni és tartósan megtelepedni. E feltételezésünket az 1997-re tervezett második expedíciónk alkalmával kívánjuk ellenőrizni. Vizsgálatainkat szeretnénk kiegészíteni ülepítéses módszerrel, valamint RCS-Plus mintavevővel végzett gombavizsgálatokkal is.

A levegőmintákból kitényésztet baktériumok kb. 65 %-a *Micrococcus sp.*, 20 %-a *Bacillus sp.*, 10 -a *Staphylococcus* koaguláz-negatív baktérium volt. E mellett még az alábbi baktérium-fajokat, ill. -nemzettségeket tenyésztettük ki:

Alcaligenes sp.

Alcaligenes faecalis

Flavobacterim sp.

Nocardia sp.

Micrococcus luteus

Micrococcus roseus

Bacillus cereus

Chromobacterium violaceum

Staphylococcus epidermidis

Staphylococcus haemolyticus

Staphyilococcus hominis

Más barlangok vizsgálatakor is általában e fajok dominálnak, tehát lényeges eltérést a Cserszegtomaji-kútbarlang levegőjének mezofil aerob, ill. fakultatív anaerob baktériumflórája és más barlangok levegőjének flórája között nem találtunk.

Kórokozót (a későbbiekben említett hordozás ellenére) a barlangi levegőből kimutatni egyetlen esetben sem tudtunk.

7.3. A résztvevőkön végzett bakteriológiai vizsgálatok

Mikrobiológiai munkánk másik része a kutatótábor résztvevőinek széklet, orr-torokváladék vizsgálata volt. Minden résztvevő mintáit (a felszíni segítőkét is) vizsgáltuk a tábor időtartama előtt, alatt és után. Kiváncsiak voltunk, hogy a speciális klímában egy hetet dolgozó barlangászok normál flórájában a tábor ideje alatt bekövetkezik e általunk detektálható változás.

Eredményeink szerint a székletvizsgálatok során lényeges változást nem lehet kimutatni.

Az orr- és torokváladék vizsgálata a tábor előtt minden résztvevőnél negatív volt, vagyis egyetlen esetben sem tenyészet ki kórokozó (nem izoláltunk egyetlen gyakori légúti kórokozót sem). Ebből arra következtettünk, hogy az expedíció résztvevői semmilyen patogén, ill. fakultatív patogén baktériumot nem hordoznak száj és garatüregükben. A tábor harmadik napján a lenttartozkodók orr- és torokváladékából vett mintákból az alábbi kórokozók, ill. fakultatív kórokozók tenyésztek ki nagy csíraszámban:

Baktérium	Minta	Kitenyésztett törzsek száma
Staphylococcus aureus	orr	5
	torok	1
Moraxella catarrhalis	orr	2
	torok	1
Haemophilus influenzae	orr	2
	torok	1
Streptococcus agalactiae	torok	1

A *S. aureus* esetében felmerült a gyanú, hogy a csak egy-két barlangász hordozta törzsekkel fertőződött mindenki. Ezért a kitenyésztett törzseket az OKI Fágkutató Laboratóriuma biotipizálta. A típus meghatározás alapján elmondhatjuk, hogy mindenki más-más törzset hordozott, feltehetően mindenkinek "saját" *Staphylococcus* törzse szaporodott el. A barlang levegőjéből nem izoláltunk ilyen mikrobákat. Ezért úgy gondoljuk, eredményeink magyarázata a következő lehet. Az expedícióban résztvevő barlangászok valószínüleg szinte valamennyien hordoztak száj- és garatüregükben *Staphylococcus aureus* törzseket, azonban olyan kis csíraszámban, hogy az expedíció előtt nem tudtuk kimutatni azokat. Az egy hetes lenttartózkodás során - elsősorban a magas széndioxid koncentráció okozta fiziológiás változás hatására - a kórokozók olyan mértékben szaporodtak el, hogy már tüneteket okoztak. Az orrváladékok értékelése egyszerűbb volt: a tábor előtt két esetben találtunk apatogén neiseriakat ("pharingococcusokat"), a többi esetben a minták sterilek voltak. A lenttartózkodás során nagy csíraszámban kórokozót, vagy koaguláz-negatív *Staphylococcus*-t mutattunk ki legtöbbjük orrváladékából.

Úgy gondoljuk, hogy hasonló expedíció, vagy munka esetén a "rejtett" hordozást is szükséges volna kimutatni, mivel ez hasonló klimatikus körülmények között dolgozó személyek esetében problémát okozhat. Vizsgálataink eredményeit a következő kutatótábor alkalmával szeretnénk kontrollálni.

8. ÉLETTANI VIZSGÁLATOK

Az expedíció egyik célja a barlangi klíma, és a fokozott fizikai megterhelés élettani paraméterekre gyakorolt hatásának vizsgálata volt.

Az 1960-as években az Országos Sportegészségügyi Intézet közreműködésével a Szemlő-hegyi-barlangban, 1982-ben Dr. Ignácz Zsuzsanna irányításával a Pál-völgyi-barlangban (Bekey Imre Gábor Barlangkutató Csoport), az 1980-as évek végén pedig Dr. Törőcsik István vezetésével a Baradla-barlangban végeztek orvosi vizsgálatokat a több napos lenttartózkodás alatt bekövetkező fiziológiai változások regisztrálására. A cserszegtomaji expedíció tervezése során - tekintettel az itt tapasztalható szélsőséges klimatikus viszonyokra - kézenfekvő volt, hogy célszerű hasonló kutatást végezni.

8.1. A vizsgálat körülményei, módszerei

A vizsgálat a kutatótáborban résztvevők közül tizenöt főre terjedt ki. A barlangi csoportot tíz fő alkotta, átlagéletkoruk 29,8 év. A felszínen vizsgált öt fő átlagéletkora 35,8 év volt.

Reggel, közvetlen felkelés után hőmérsékletet, pulzust és vérnyomást mértünk. Ugyanekkor vérmintát is vettünk laboratóriumi vizsgálatok céljára, amelyet a Hévízi Állami Gyógyfürdő Kórházban végeztek el. Ez a tábort megelőző, ill. azt követő (lakóhely szerint illetékes szakrendelőben végzett) vizsgálatokkal együtt a következőkre terjedt ki: Vvs, fvs és süllyedés a tábor előtt és után; vércukor, LDH, CK(totál) és szérum ion ellenőrzés (Na^+, K^+, Ca^{++}, Mg^{++}) a tábor idején naponta történt.

A folyadék forgalom ellenőrzését folyamatosan, a tüdőfunkciós értékek közül a PEF (peak exspiratory flow - kilégzési csúcsáramlás) regisztrálását hatóránként végeztük, ez utóbbit kiterjesztettük a tábort megelőző, ill. azt követő néhány napra is.

8. 2. Eredmény és értékelés

Az élő szervezet - a változó környezeti hatások mellett - a működéséhez szükséges optimális belső feltételek megteremtésére törekszik. Ezt szolgálják a

különböző érzékelő és szabályozó mechanizmusok, segítségükkel extrém körülményekhez is tud alkalmazkodni.

A hideg és meleg levegő belégzése a szervezet hőháztartását, a száraz levegő pedig a folyadékháztartást befolyásolja.

A testhőmérséklet a délutáni órákban a legmagasabb, hajnalban a legalacsonyabb, fiziológiásan a napi ingadozás 1 °C-on belül marad. Szokásos ruházat mellett a minimális hőtermeléssel jellemezhető úgynevezett semleges külső hőmérséklet 20 °C körüli. A hőtermelés kémiai szabályozása mellett, alacsony környezeti hőmérséklethez az akaratlagos izomaktivitás fokozásával tudunk alkalmazkodni. A hőleadásban a testfelszínt borító bőrnek, a bőr vérkeringésének van jelentős szerepe. A levegővel érintkezve a hőcsere a fizikai törvényeknek megfelelően történik, amelyek közül a párolgást kell kiemelni. Párolgással a légutakból és a bőrfelületről (verejtékezéssel) nyugalomban is 800-1000 ml vizet veszít szervezetünk. A szervezet vízháztartásának biztosítására megfelelő folyadékpótlásról, az ionegyensúly megtartásához pedig elektrolit pótlásról kell gondoskodni. Verejtékezéssel Na^+ és K^+ iont veszíthetünk. A komfortérzésünknek megfelelő páratartalom 40-60 el. % között van.

Testhőmérsékletet ébredés után mértünk, az értékek 1 °C-on belül ingadoztak. A legalacsonyabb átlaghőmérséklet a felszíni csoportnál volt tapasztalható, mert az alvóhelyük hőmérséklete alacsonyabb volt (10 °C körüli), mint a barlang táborhelyén. (*8.1. ábra*)

A **pulzusszám** ingadozása is minimális volt, mindkét csoportnál 70,4-77/min közötti. 84/min átlag szívütemszámot a barlangi csoportnál észleltünk az első lent töltött éjszaka után, ez a későbbiekben 71,1-76/min alakult. (*8.1. ábra*)

A **vérnyomás** mért értékeiben sem volt lényeges ingadozás, fiziológiás értékeket észleltünk. A barlangi csoportnál azonban mind systoles, mind a dyastoles értékek magasabbak voltak a tartózkodási környezettel összhangban. (*8.2. ábra*)

A **folyadékforgalom** szintén egyensúlyban volt mindkét csoportnál. A barlangban tartózkodóknál a második nap mértünk jelentősebb ürítési deficitet. Ekkor még valamennyien megkísérelték a tervezett feltárási és mérési feladatok elvégzését (amelyet később a klimatikai viszonyok változása megakadályozott), így a párolgással történő folyadékvesztés nagyobb lehetet. (*8.3. ábra*)

A **tüdőfunkciós** értékek közül a mért PEF értékek átlagát diagramon ábrázoltuk a diurnalis ingadozás a barlangi csoportnál ábrázolódik szabályosan, azonban nem az ébredéskor, hanem a lefekvéskor mért értékek bizonyultak alacsonyabbnak mindkét csoportban. A barlangi csoportnál a mért értékek nagyobb rendszsben mozogtak és a lenttartózkodás ideje alatt javultak, sőt a tábor utáni napokban is ez a kedvező hatás érvényesült. (*8.4-8.5. ábra*)

A **laboratóriumi vizsgálatok** közül a tábor előtt és után számlált *fehérvérsejt -, vörösvértest értékek* és a *vérsüllyedés* nem változott, sőt a felszíni csoportnál az fvs. és a süllyedés javult. (*8.6. ábra*)

Az extrém körülmények között, a fokozott fizikai terhelésnek megfelelően az izommunkával együttjáró glycolysist reprezentáló lactat-dehydrogenase (LDH) enzim szintet és a munka közvetlen energiaforrásának tekinthető, az ATP-ADH átalakulásban szerepet játszó keratin kináz (CK) enzim szérum szintjét határoztuk meg, a vércukorszint ellenőrzése mellett, a tábor előtt, alatt és után. A fokozott izommunkát igénylő tevékenységnél a munkához szükséges energiát elsősorban a szénhidrátok lebontása szolgáltatja a zsírégetéssel szemben. A hypoxia is a tejsav szintet emeli.

Az *LDH és a vércukor értékek* a fentieknek megfelelően változtak és a fokozott igénybevételt hűen tükrözték. A táborozás alatt mért értékek változása a két csoport eltérő fizikai aktivitását is jelzi. Az LDH szint emelkedett, a vércukor szint csökkent. A legalacsonyabb vércukor értékek a kutatótábor negyedik napján, a legmagasabb LDH értékeket a tábor ötödik napján észleltük.

A *CK értékek* lényegében azonosak voltak; a barlangi tábor befejezését megelőzően mértünk mérsékelten alacsonyabb értéket, amit a nagyteljesítményű vésőgéppel végzett munka többlet energiaigényével magyarázhatunk. (*8.7. ábra*)

Az ionok közül diagrammon ábrázoltuk Na^{+} *és* K^{+} (*8.8. ábra*), valamint a Ca^{++} *és a* Mg^{++} (*8.9. ábra*) *szérumszint* változását. Igen alacsony ionszintet találtunk a tábor megkezdése előtt (leutazás előtti) a barlangban tartózkodóknál, akiknek zöme ipari alpinistaként dolgozik és rendszertelenül táplálkozik a magánéletben. Mindkét csoportnál csökkent a K^{+} ion érték a tábor ideje alatt, de a mindennapi életbe visszatérve normalizálódott.

A földalatti világ megismerése a barlangászokat legalább olyan sportteljesítményre sarkalja, mint a versenysportolókat egy-egy világverseny. A barlangi feltárómunka viszont legjobban a kézifejtéssel végzett bányafejtéshez hasonlítható. Mindkét esetben közepesen nehéz, vagy nehéz fizikai munkának megfelelő a terhelés.

A barlangi táborhelyen tartózkodók szinte mindegyike hetenként egy-két napot barlangban tölt, ezért akklimatizációra nincs szükség, ez biztosítja a szükséges tréninget is.

A többnapos barlangi tartózkodás alatt mért élettani paraméterek és laboratóriumi értékek fiziológiás határok között voltak. Egy barlangásznál észleltünk szabálytalan szívmüködést a lenttartózkodás első három napján, ez a későbbiekben megszűnt.

A tervezett feltáró és klímaméréssel kapcsolatos munkálatokkal a szokottnál is kedvezőtlenebb körülmények akadályozták. A barlang belső zónáit nem is lehetett

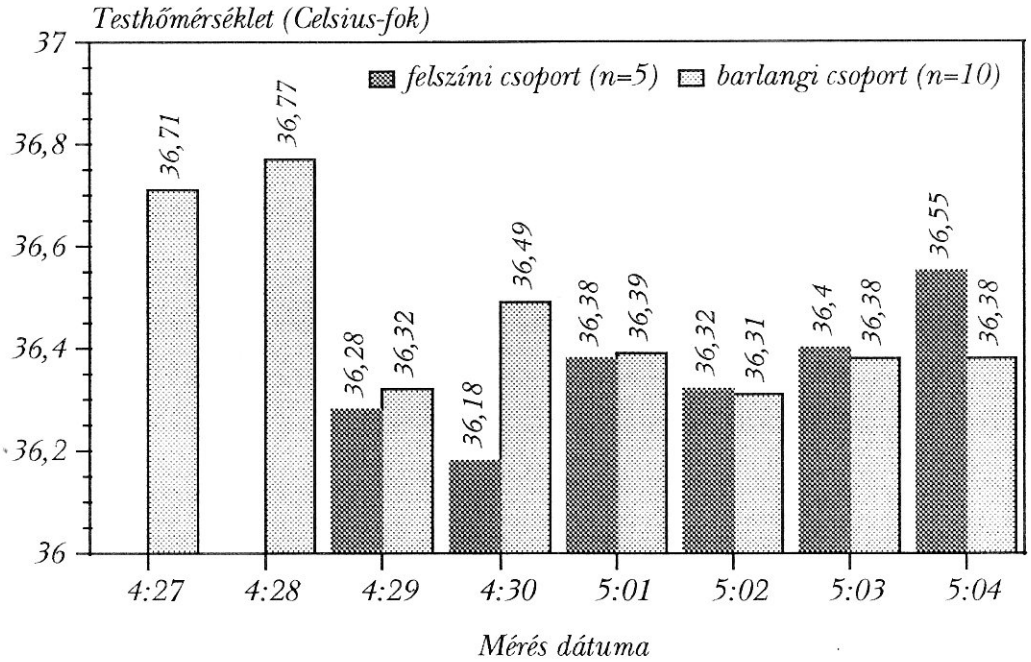
megközelíteni, mert fejfájás, nehéz légzés és a tájékozódási képesség zavara akadályozta a továbbhaladást; ez 5 tf %-nál magasabb széndioxid-tartalmú levegőt feltételez. (Sajnálatos, hogy a széndioxid mérési módszerünk használhatatlannak bizonyult.) Az emelkedő széndioxid-tartalom miatt a lenttartózkodás ideje is egy nappal megrövidült.

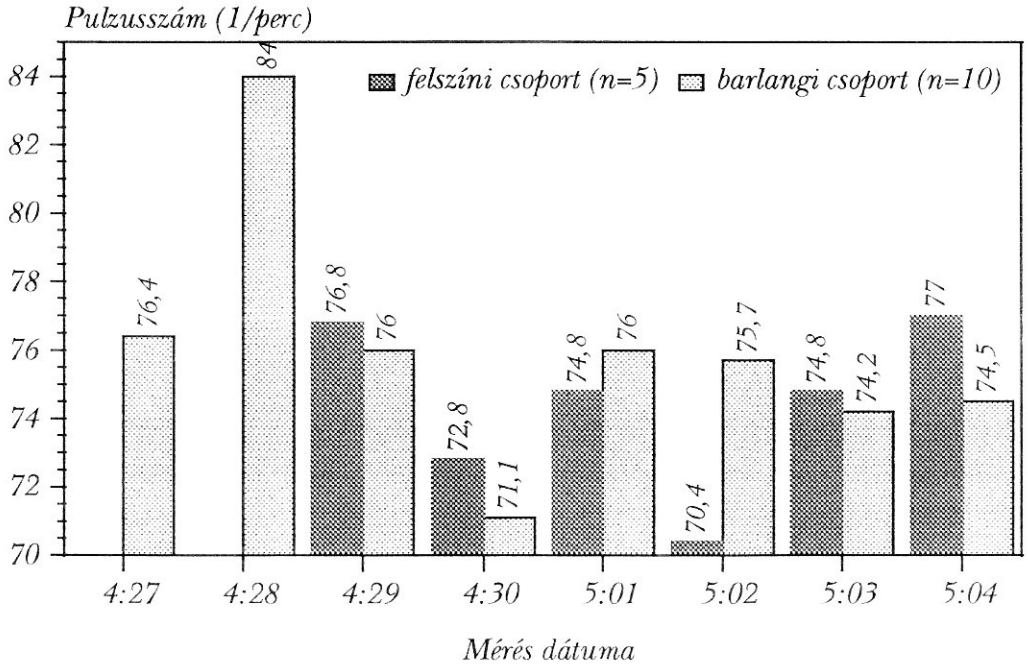
Nagyon fontos lett volna a sav-bázis egyensúly regulációjának figyelemmel kisérése, a vérgáz-analízis mellett a nyál és a vizelet vegyhatásának vizsgálata. Sajnos technikai akadályok miatt ezeket nem tudtuk megvalósítani. Ennek ellenére megbizonyosodtunk arról, hogy az élettani paraméterek figyelemmel kisérése segít a vészhelyzetek elkerülésében és segít a következő táborok előkészítő munkájában is.

A barlangok levegőjének magas páratartalma, a feltáró munka, vagy barlangjárás során keletkező nehezen ülepedő por miatt a földfelszínen használt mérőműszerek tesztelését is elvégezzük, mert közülük nem mindegyik felel meg a kívánt körülményeknek.

E vizsgálat célja nem csak az ismeretlen környezet felderítése, a tudományos kíváncsiság kielégítése, hanem a lehetséges balesetek elkerülése, az egészségkárosodás megakadályozása, megelőzése. Hazánkban öt barlangban biztosítunk klímaterápiás lehetőséget légzőszervi betegek számára és az itt szerzett tapasztalatokat a gyógyászatban is hasznosítani tudjuk.

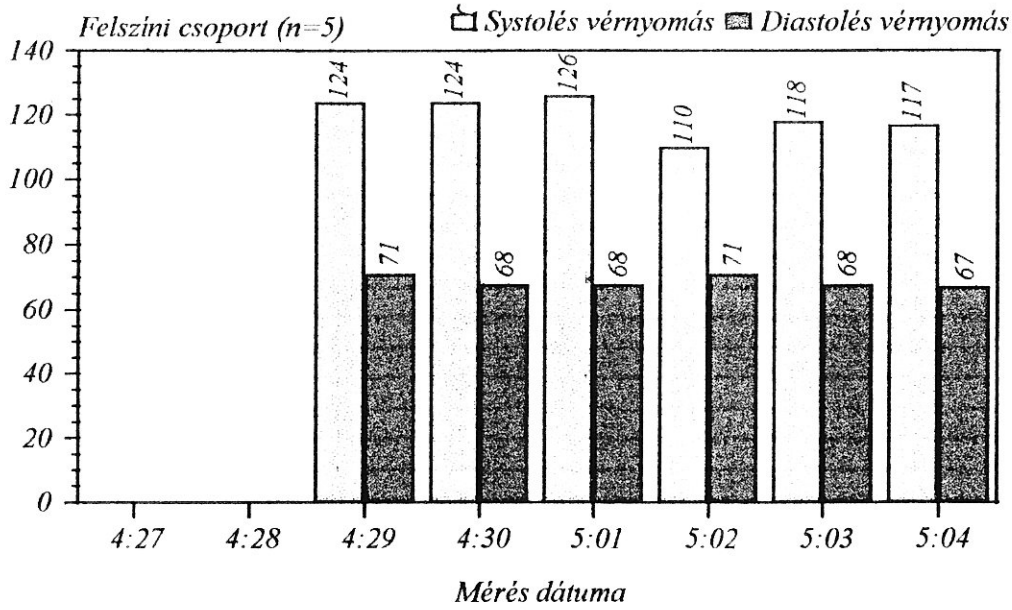
Testhőmérséklet és pulzusszám változása tábor előtt, alatt és után

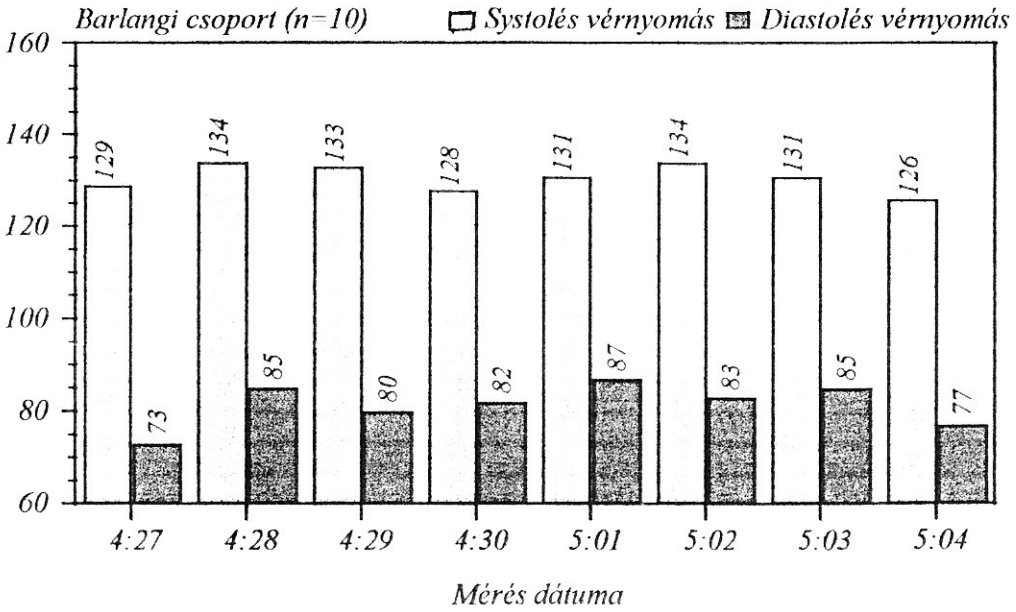




8.1. ábra

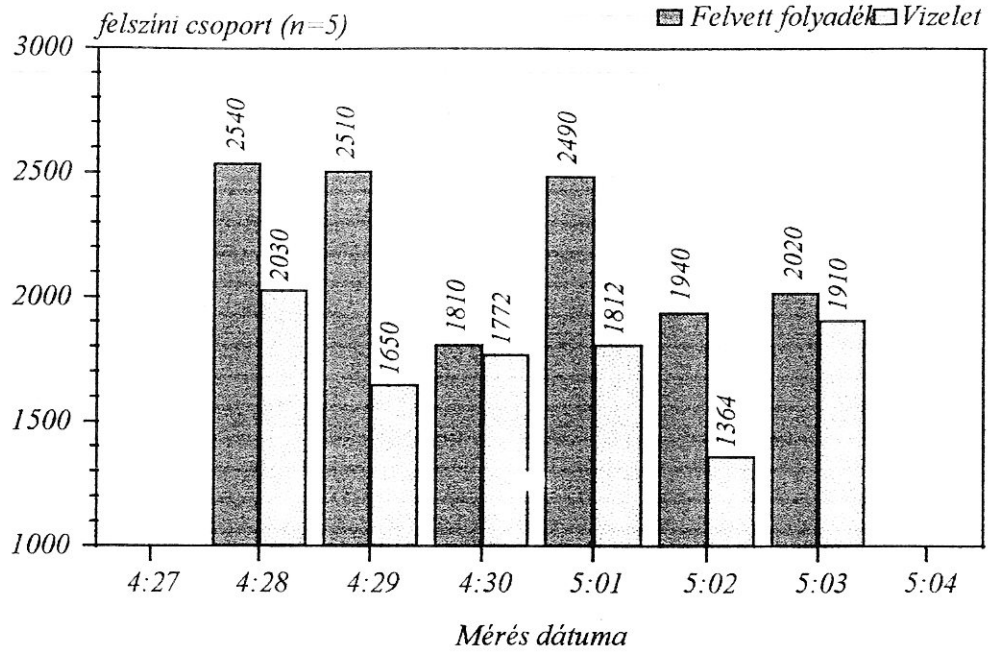
A vérnyomás (Hgmm) vátozása tábor elôtt, alatt és után

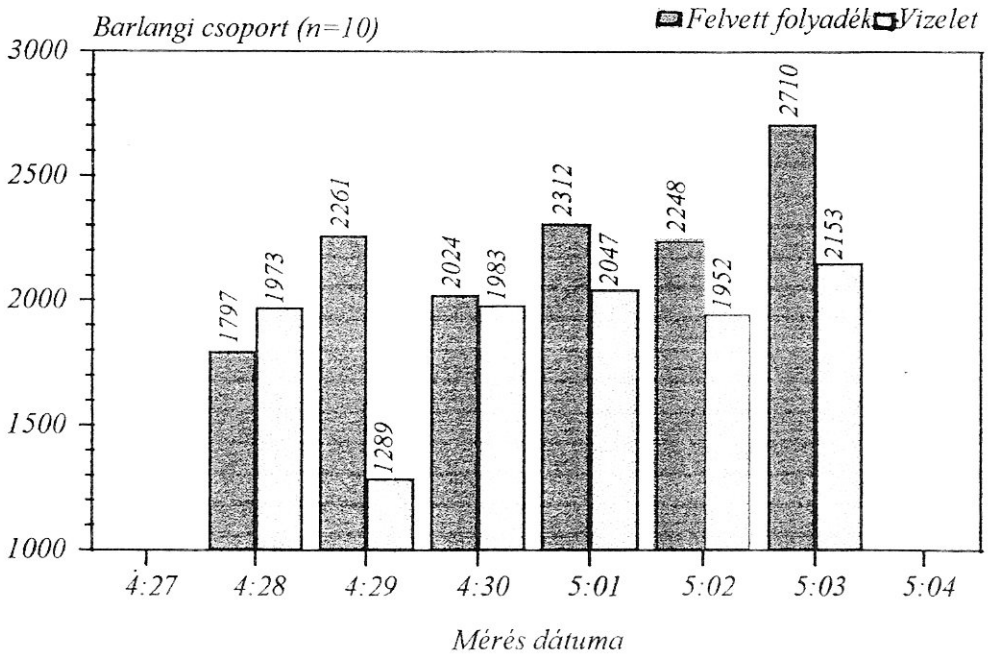




8..2. ábra

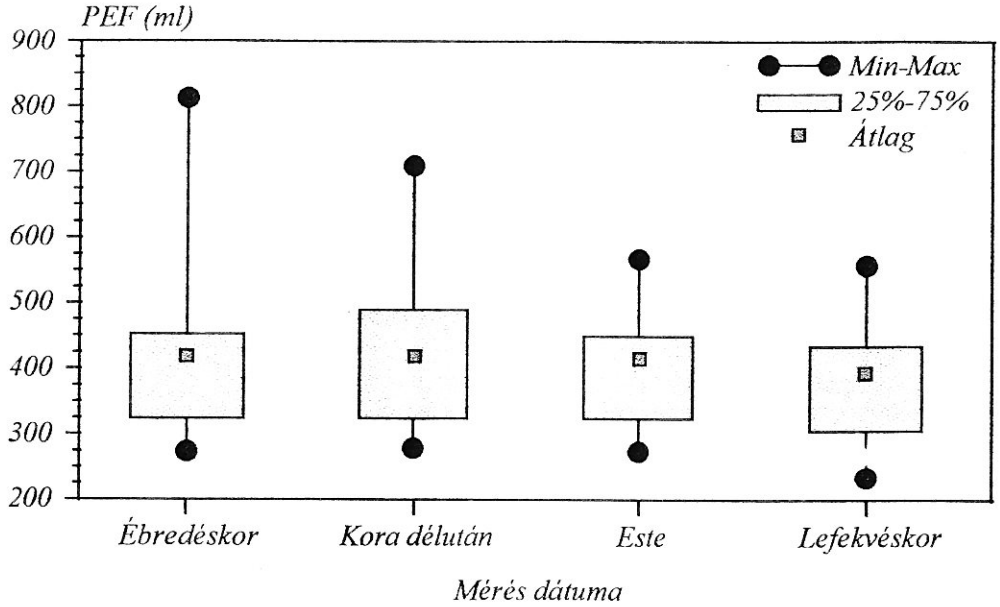
A folyadékforgalom (ml) vátozása tábor elôtt, alatt és után



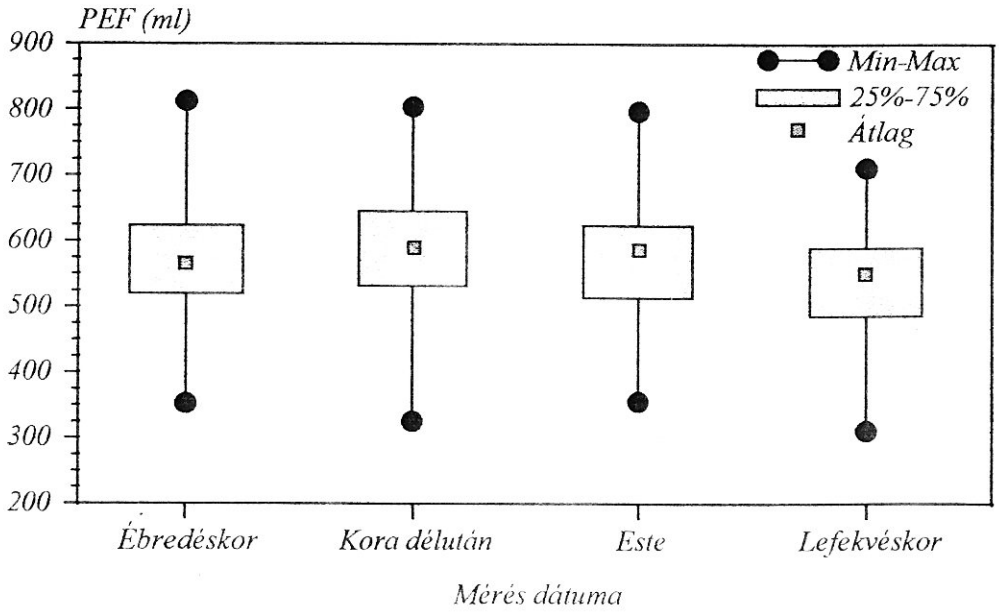


8.3. ábra

A mért PEF értékek napi periódikus változása
a minimális, maximális és a középérték figyelembevételével
- felszíni csoport (n=5) -

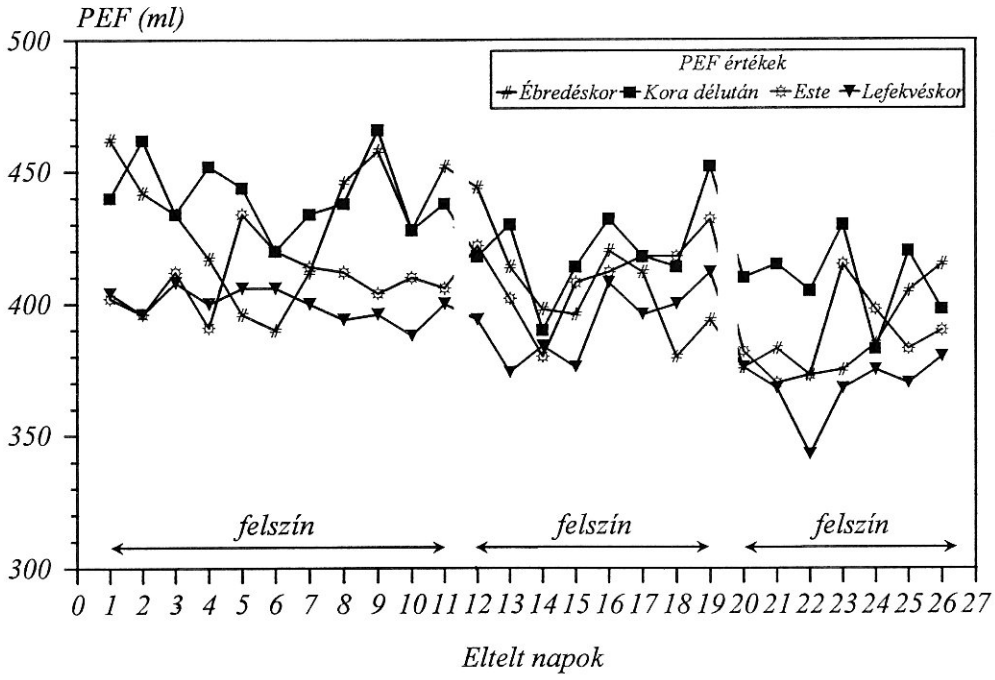


A mért PEF értékek napi periódikus változása
a minimális, maximális és a középérték figyelembevételével
- barlangi csoport (n=10) -

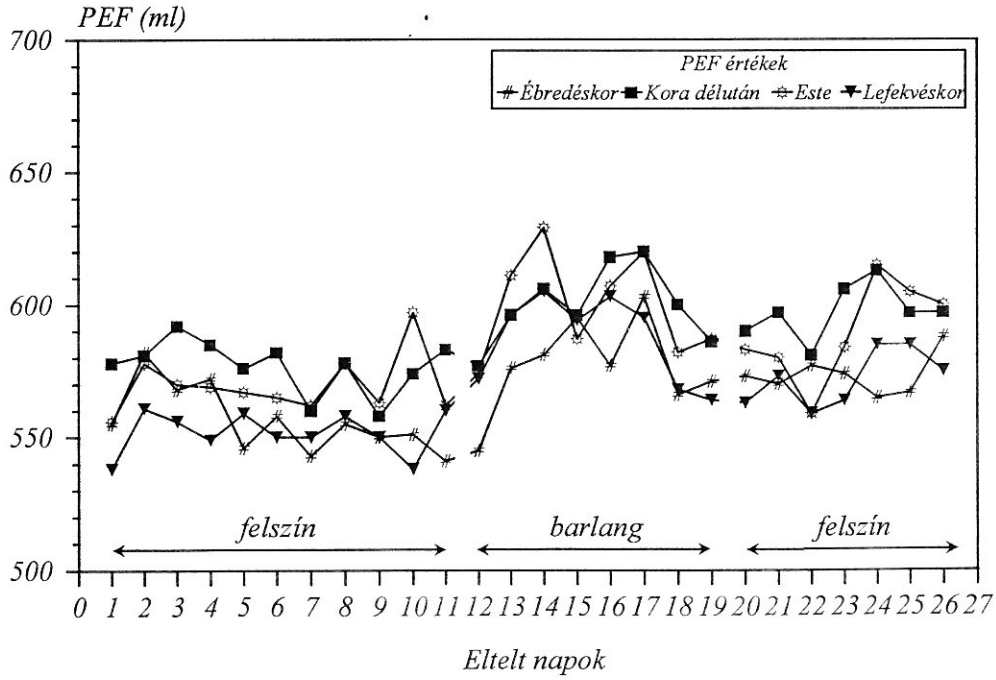


8.4. ábra

A mért PEF értékek napi periódikus változása a tábor elôtt, alatt és után
- felszíni csoport (n=5) -



A mért PEF értékek napi periódikus változása a tábor elôtt, alatt és után
- barlangi csoport (n=10) -



8.5. ábra

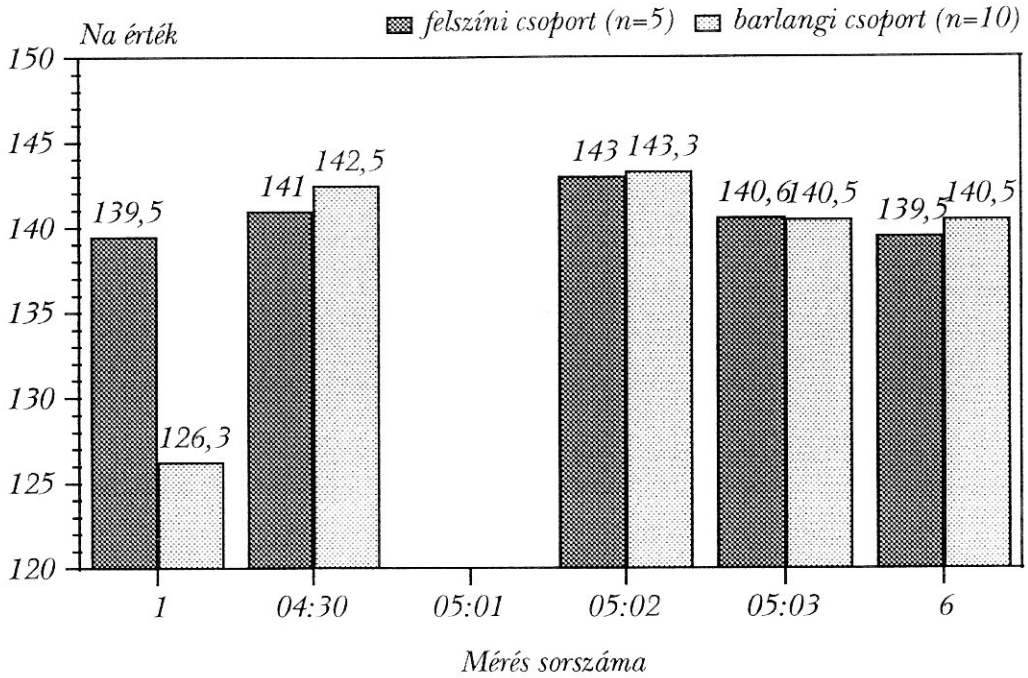
8.6. ábra

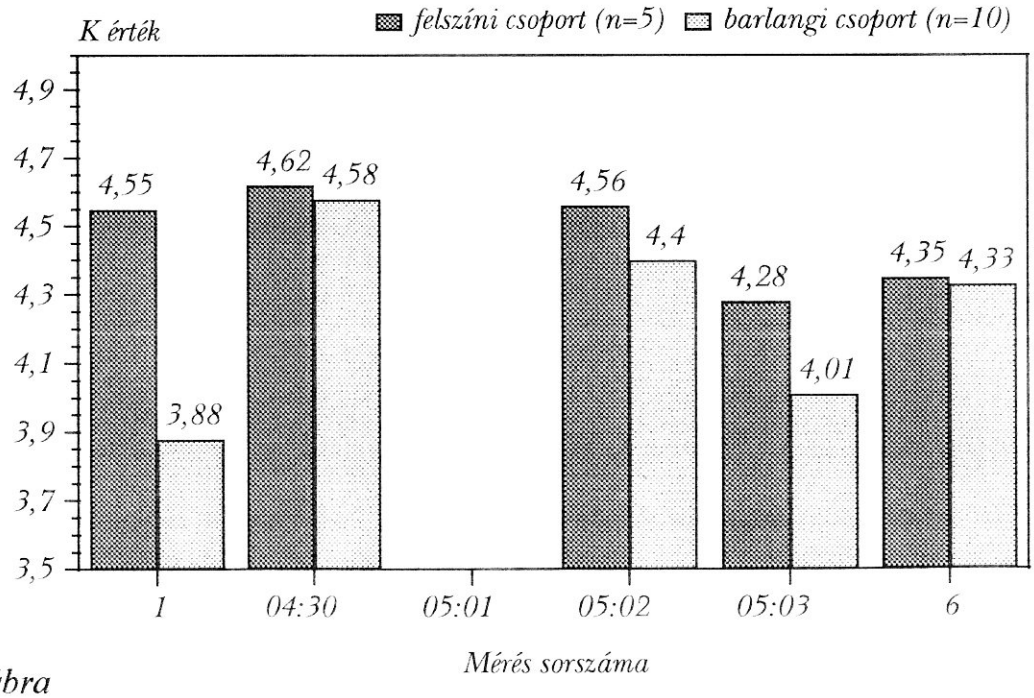
A fehérvérsejt-szám, a vörösvértest-szám és a süllyedés mért értékeinek alakulása (a tábor előtt és után).

	Fehérvérsejt-szám (10^9/L)			Vörösvértest-szám (10^{12}/L)			Süllyedés (mm/h)		
	Tábor előtt	Tábor után	Változás	Tábor előtt	Tábor után	Változás	Tábor előtt	Tábor után	Változás
Felszíni csoport	8,86±1,18	7,54±1,49	-1,32±0,52*	4,56±0,42	4,51±0,19	-0,05±0,35	14,8±10,6	8,4±4,8	-6,4±8,1
Csoportok közötti szignifikancia-szint	$p < 0,0074$	NS	NS	NS	NS	NS	$p < 0,0059$	NS	NS
Barlangi csoport	6,04±1,00	6,54±1,81	0,5±1,14	4,85±0,88	4,70±0,79	-0,16±0,23	4,8±2,2	5,0±1,2	0,2±2,7

* = szignifikáns változás

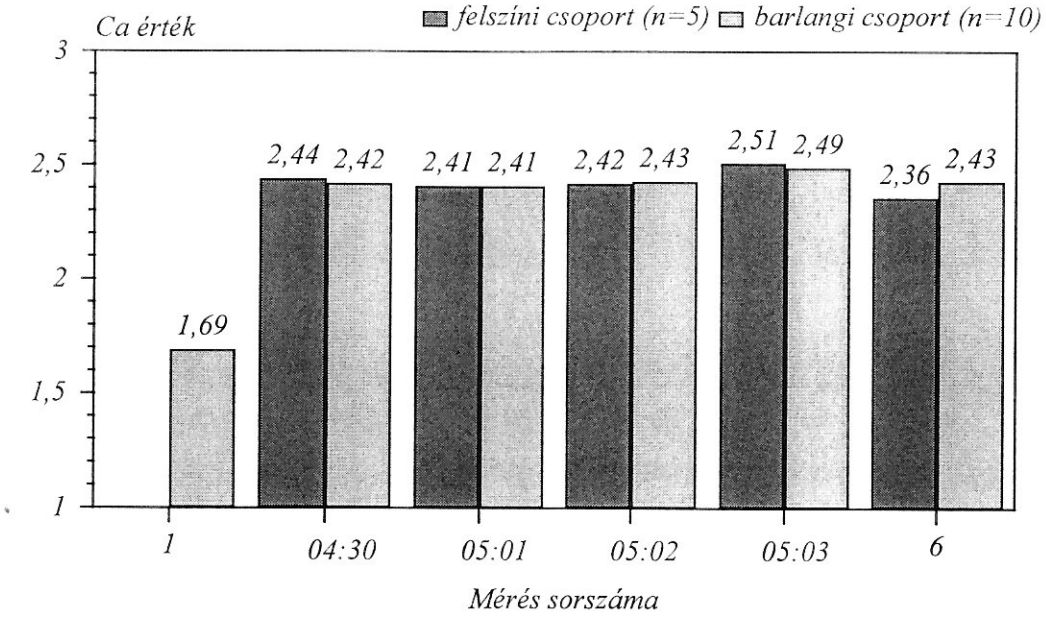
Serum Na^+ és K^+ értékek tábor előtt, alatt és után

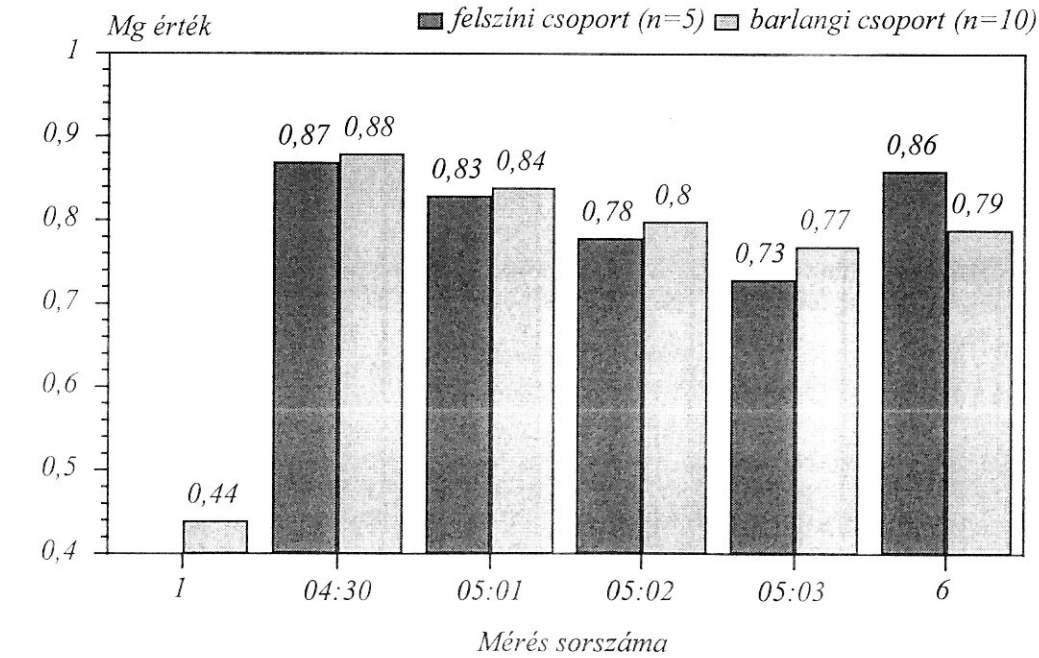




8.7. ábra

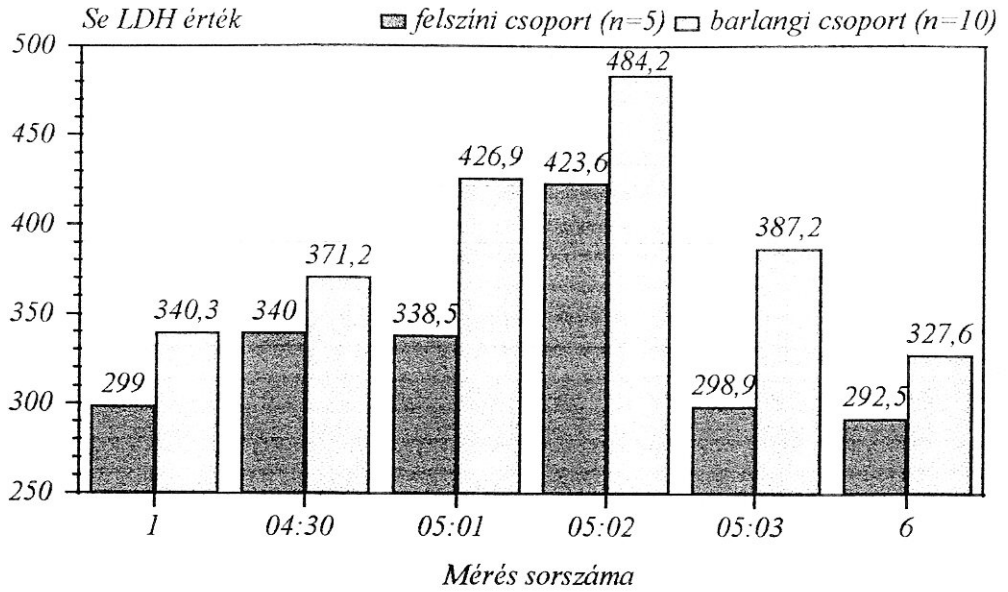
Serum Ca^{++} és Mg^{++} értékek tábor elôtt, alatt és után

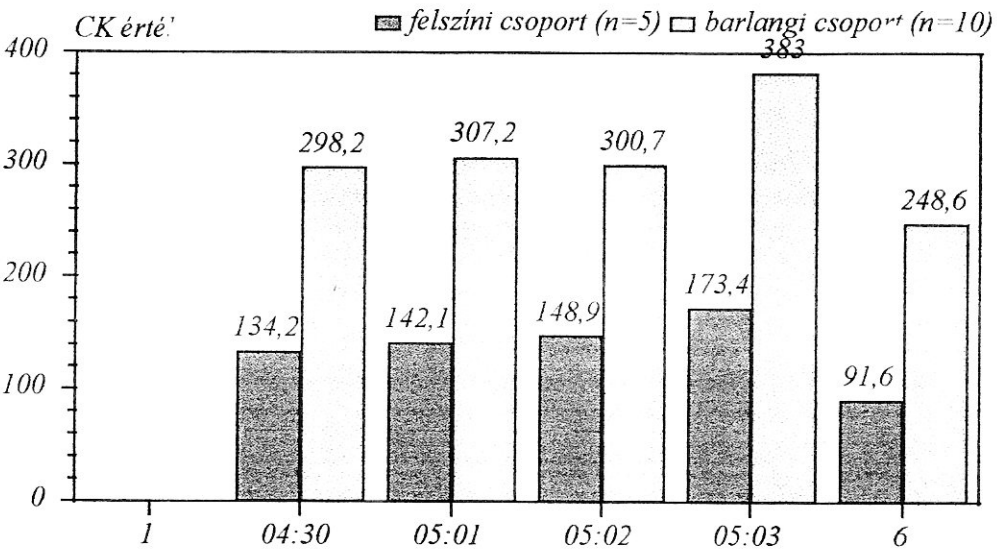


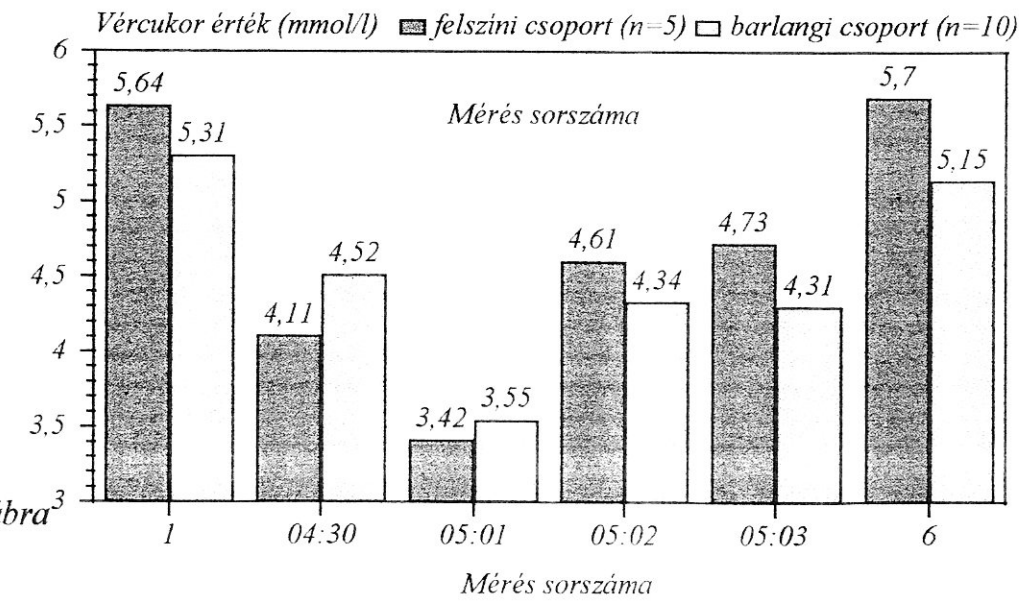


8.8. ábra

Serum LDH, serum CK (total) és vércukor értékek tábor elôtt, alatt és után







8.9. ábra

9. AZ ANYAGCSERÉVEL, ALKALMAZKODÁSSAL ÉS FIZIKAI MEGTERHELÉSEKKEL KAPCSOLATOS TÜNETEK GYŰJTEMÉNYE (INTERJÚK)

Általánosságban elmondhatjuk, hogy a barlangban táborozó csoport mindegyik tagja (a kisebb eltéréseket feltehetően az életkor, dohányzás, aktuális fizikai igénybevétel, stb. okozta) hasonlóképpen reagált az extrém barlangi megterhelésekre, például a tábor és a bejárat környéki, kb. 1 %-os széndioxid koncentráció általános jó kedélyt, időnként euforiába átcsapó hangulatot okozott. A magas széndioxid-koncentráció (4 % körüli) esetén észlelt tünetek is egyénenként (a már említett tényezőtől némileg befolyásolva) megegyeztek. Érdekes az a tény, hogy a tábor második-harmadik napjára a résztvevők zöme fizikailag tökéletesen alkalmazkodott a megváltozott körülményekhez, viszont néhányuknak később, a felszínre való visszatérésük után jóval több időre (7-10 napra) volt szükségük a megszokott, "normál üzemmódhoz" való visszaszokáshoz.

Meg kell említeni egy dolgot, ami pszichológiailag érdekes. A táborra gyakorlatilag 18 régi ismerős (egyetlen résztvevő volt csak, akit a helyszínen ismertek meg) együtt, egy csapatként készült fel, mégis szinte az akció első percétől a "barlangi tizek" tudatukon kívül egy zárt, összetartó csoportot alkottak. Ezt igazolják a felszíni brigád időnként lelátogató tagjai, akik kirekesztettnek, vendégnek érezték magukat a barlangiak körében.

Néhány szó a táplálkozásról, anyagcseréről: A felszíni csapat mind az élelem mennyisége, mind minősége tekintetében maximálisan kitett magáért, ezért a barlangban semmiféle kifogás, hiányérzet vagy a menü megváltoztatásának igénye fel sem merül. Nem tudtak rangsort sem felállítani az elfogyasztott ételek között. (Talán a második napi rizses lecsó reszelt sajttal egy árnyalattal jobban ízlett a társaságnak, mint a grízes tészta.) A fokozott megterhelés hatására a brigád a megszokottnál nagyobb adagokat fogyasztott el. Rendszeres volt a repeta. Észrevehető volt, (kivéve az édesszájúakat), hogy a csapat zöme több édességet kívánt és fogyasztott el, mint általában. Jó példa erre Fritz Zsolt esete, amikor a grízes tésztára hatalmas adag lekvárt lapátolt. Erre eddig sosem volt képes, mert sósan szereti. Étkezések közti szünetekben az éppen pihenőben lévők gyakran ettek süteményeket, lekváros kenyeret, mézet, stb. Ez is az édes ételek iránti fokozott igényt bizonyítja. Az alacsony hőmérséklet (13-14 °C) hatására nagyon sok meleg ital (kávé, tea, leves) fogyott. Összefoglalásként elmondhatjuk, hogy hosszabb föld alatti táborozásnál feltétlenül szükséges sok meleg folyadék, naponta egy alkalommal meleg, tartalmas étel és sok édesség. A rendszeres, kiadós és jó minőségű ételekből álló étkezés hatására és az erős fizikai igénybevétel ellenére a csapat jelentős része komoly súlytöbblettel (egyeseknél 5-6 kg) érkezett a felszínre.

A székelés rendszerességével kapcsolatban két változatot figyeltünk meg. A társaság nagyobbik része naponta, a korábbi normális ütem szerint tudott üríteni,

míg néhányan (feltehetően a környezetváltozás, valamint a művelet helyi adottságok okozta macerás volta miatt) csak a harmadik, negyedik napon könnyebbültek meg először.

A következőkben a tábor barlangi résztvevői elmondása alapján személyenként, részletesen leírjuk, hogy milyen változásokat tapasztaltak szervezetük működésében az expedíció alatt és után.

Kovács József (alias "Kútalja" José)

43 éves, dohányzik, porálarcot nem viselt.

Az ő esete némileg eltér a többiekétől, mivel a periodikus mérések kedvéért az első naptól átállt a többiekével ellentétes életciklusra, (ő volt az éjszakai ügyelet) valamint a tábor ideje alatt el sem hagyta a barlang bejárati zónáját, komoly fizikai igénybevétel sem érte.

Az első napon benáthásodott, a teljes lenttartózkodás alatt erősen köhögött. Felszínre érkezése utáni napon megszűnt a köhögése, náthája viszont még további egy hétig tartott (lassan csillapodva). Az első felszínen töltött éjszakán nagyon megfájdult a feje és ez három napon keresztül folyamatosan ismétlődött, majd elmúlt. Utána még 4-5 napig úgy érezte magát, mintha spicces volna, vagy mintha lappangana benne valami betegség. Még több, mint egy hét múlva sem tudott a megszokott felszíni életmódra visszaállni.

Zsanda Géza

28 éves, nem dohányzik, súly a leszálláskor 65 kg, kiszálláskor 65 kg, a barlangban porálarcot viselt.

A társaság egyik legjobb fizikai adottságokkal rendelkező tagja. Átlagon felüli módon bírja a fizikai igénybevételt (ipari alpinista, búvár is). A barlangban semmi különös tünetet nem észlelt magán, leszámítva a magasabb (4 %-os) széndioxid-koncentrációjú területeken, ahol a légzésszáma erősen megszaporodott.

A felszínre érkezés másnapján megfájdult és bedagadt a torka, olyannyira, hogy úgy érezte: a nyelve szinte teljesen kitölti a szájüregét. A torka még egy héttel később is dagadt volt (valószínűleg gyulladt), bár már kisebb mértékben.

Balogh Csaba

28 éves, csak elvétve dohányzik, súlya leszálláskor 62 kg, kiszálláskor 68 kg, a barlangban porálarcot viselt.

Szintén kiváló fizikai adottságokkal rendelkezik. Az első lent töltött napon erős fejfájást érzett, ez másnapra elmúlt. Ezután csak a magasabb széndioxid tartalmú levegőjű területeken végzett munka alatt észlelt szaporább légzést, illetve enyhe légszomjat, a Húsvét-ág térképezése során (itt is erősen megemelkedett a széndioxid tartalom) két ízben vált zavarossá a beszéde.

A tábor után nem érzett semmiféle problémát a felszíni életmódhoz való visszaállásban.

Csizy Álmos

18 éves, nem dohányzik, a barlangban porálarcot viselt.

Kiválóan bírta a szervezete az erős terhelést, pedig gyakran dolgozott magas széndioxid tartalmú zónákban. Ezeken a területeken csak a szokásos magasabb légzésszámot és időnként rövid ideig tartó, enyhe fejfájást tapasztalt.

A feljövetel utáni akklimatizálódást észre sem vette. (Hiába, 18 év, az 18 év!)

Gonda Péter (Gonzó)

23 éves, lelkes antinikotinista, súlya leszálláskor 60 kg, kiszálláskor 63 kg, a barlangban porálarcot hordott.

Többször járt, dolgozott széndioxidban dúsabb levegőjű területeken, ahol általában csak szapora légzést tapasztalt. Egy esetben, amikor ugrásszerűen emelkedett a széndioxid koncentráció (néhány méteren belül 1-1,5 %-ról 4-4,5 %-ra) olyannyira megindult a nyáltermelése, hogy pillanatok alatt teljesen eláztatta a porálarcát. Ezzel együtt olyan erős légszomjat érzett, hogy önkéntelenül letépte a porálarcát. (A nyáladzás a csoport többi tagjánál soha sem fordult elő.)

A tábor utáni akklimatizálódást gyorsan és tünetmentesen élte, vészelte át.

Megjegyzés: a kút alján felgyűlt cigarettafüst sokkal jobban irritálta, mint a széndioxid.

Balázs Béla (B.B., Micimackó)

28 éves, nem dohányzik, leszálláskor 70 kg, kiszálláskor 75 kg, porálarcot viselt.

A tábor közepe táján térképező műszak keretében a Karácsony-ág közepén erős lihegést produkált, mozdulatait módszeresen lelassította. Egy szűkületen való átkúszás után felállt, ekkor erős szédülést érzett, kéz- és lábujjai elzsibbadtak, megijedt (de nem pánikolt be). Átadta egyik társának a magával cipelt felszerelést, szólt a többieknek, hogy forduljanak vissza és lassan induljanak kifelé. Az itt leírtak kb. egy perc alatt játszódtak le. A széndioxid hirtelen változását úgy érezte, mintha egy láthatatlan falba ütközött volna. Kifelé menet a Nyák-teremben rövid pihenőt

tartottak. Itt kezdett erősen fájni a feje. Később a külső zónában (Elosztó környéke) felfrissült és megnyugodott. Több ilyen problémája a tábor ideje alatt nem volt. Az utolsó barlangban töltött napon megfájdult a torka, de ez hamarosan elmúlt.

A felszínre érkezése után semmi panasza nem volt.

Fehér Katalin (Malacka)

36 éves, dohányzik, porálarcot nem viselt.

Két ízben került a hirtelen megugró széndioxid koncentráció következtében pánikközeli szituációba. Ezek tünet együttesét egy korábbi hasonló élményével tudta azonosítani: Néhány éve az Amfiteátrum-barlangban vett részt fotóstúrán. A hirtelen feldúsuló széndioxid hatására olyan állapotba kerül, hogy csak társa (Zsanda Géza) segítségével jutott a felszínre, aki többször nyújtott neki segítséget az erőkifejtést igénylő szakaszokon. Szerencsére, itt (Cserszegen) mindkét esetben a saját lábán tudott kijönni a táborba (Lovassy-terem). Mindegyik esetet megelőzően komoly fizikai megterhelésnek volt kitéve.

A 3 %-ot meghaladó széndioxid-koncentrációjú szakaszokon általános fizikai gyengeséget, erős légszomjat érzett, valamint a tünetek okozta feszültséget. Pihenés során a tünetek csökkentek, de a munka újrakezdésekor fokozottan jelentkeztek. Figyelemösszpontosítási nehézségei voltak. Bár a lenttartózkodók közül ő ismerte legjobban a barlangot, többször az eltévedés határán volt, tévedései pedig tovább fokozták idegességét.

A felszínre érkezés másnapján úgy érezte, hogy valami folyamatosan ingerli a torkát. Az ezt követő éjszakán két órán keresztül folyamatosan köhögött. Ez még öt nap múlva is tartott, bár lényegesen enyhébb formában. Több, mint egy hétig igen ingerlékeny volt, nem mindig találta a helyét, s csak ezután kezdett visszaszokni a normál hétköznapokhoz.

Gyurin György

23 éves, nem dohányzik, porálarcot nem viselt.

A tábor kezdetekor gyorsan, tünetmentesen alkalmazkodott az extrém megterhelésekhez. A magas széndioxid koncentrációt is jól viselte, leszámítva az erős lihegést, de ez mindenkivel így történt ezeken a helyeken. Egyetlen esetben, a Húsvét-ág térképezése közben fordult elő vele az, hogy figyelmét nem tudta összpontosítani, így három egymást követő esetben tévesen olvasta le a kompaszt. (180°-kal, pont fordítva) Egyéb tünetet sehol sem érzett.

A felszínre érkezés után gyorsan és problémamentesen alkalmazkodott a kinti élet menetrendjéhez.

Nemes Balázs (Grál lovag, Balage)

26 éves, dohányzik, porálarcot nem viselt.

A magas széndioxid tartalmú levegő egy esetben okozott neki nehézséget. Az első munkanapon Fehér Kati társaságában végzett méréseket a Közép-terem zónájában. (Erről az akcióról Kati már részletesen beszámolt.) A mikor hirtelen beléptek a kb. 4 % széndioxid tartalmú területre lihegni kezdett, enyhe fejfájást érzett, mozgása lelassult, izmai elgyengültek és olyan erős vizelés ingert érzett, hogy alig bírta visszatartani. Később, amikor kiért a kúthoz, lemérte a vizeletét - megdöbbenve tapasztalta, hogy a mérőpohárban mindössze 0,8 dl folyadék van.

Egyéb panasza, tünete nem volt, később a felszíni élethez hamar, probléma nélkül hozzászokott.

Fritz Zsolt (Füles)

38 éves, dohányzik, súly leszálláskor 84 kg, kiszálláskor 82 kg, porálarcot nem viselt.

Megfázva szállt le a barlangba, az első két napon fájt a torka, náthás volt. Testhőmérséklete 37-37,2 °C volt. A harmadik napon mindez elmúlt, csak időnként (főleg esténként) köhögött egy keveset.

A magas széndioxid koncentráció (kb. 4 %)az első munkanapon a Tarka-terem környéki bontásnál viselte meg. Erőteljes lihegés, fokozódó légszomj voltak a tünetei, amelyeket pihenéssel és tudatosan lelassított légzéssel kompenzálni tudott.

A következő napon Balázs társaságában indult mérni a Nyák-terem mögötti területre. A terembe érve még semmi különöset nem észlelt a lihegésen kívül. Itt elvégezték a mérést, ezután továbbindultak. Bemászott a terem végén a talpszintnél kb. 1,5 méterrel mélyebben lévő szűkületbe, ahol úgy érezte, mintha a víz alá dugta volna a fejét, annyira megváltozott a levegő összetétele.A mérés befejeztével kifelé jövet lassan haladtak, hogy elkerüljék a kifulladást. Térkép alapján tájékozódtak, mivel egyikük sem ismert ezt a területet. Furcsa mód még akkor is nyugodtak maradtak, amikor észrevették (többször), hogy rossz irányban haladnak. Egyes pontokon méréssel egybekötött pihenőt tartottak. Ebédidőre visszatértek a táborba. Az egész tortúra sem fárasztotta el őket, így vállalkoztak egy délutáni mérőműszakra is.

Zsolt érvágya a tábor ideje alatt csak a főétkezésekkor jött meg, ilyenkor viszont még repetázott is. Reggeli és vacsora helyett leggyakrabban csak meleg teát ivott, időnként egy-egy lekváros zsemlét fogyasztott el.

Széklete az első 3 napon nem volt, utána viszont minden reggel produkált valamit, akárcsak a felszínen.

Az akció végén, a feljövetel éjszakáján újra megfájdult a torka, köhögött és ez még több, mint egy hét után sem múlott el. A felszíni életritmushoz kb. 3 nap alatt tudott alkalmazkodni. Ez alatt az idő alatt gyakran volt ingerlékeny, nem találta a helyet, figyelme szétszórt volt.

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

E munka összeállítói köszönetüket fejezik ki a tábor résztvevőinek, a segítséget nyújtó szakembereknek, intézményeknek, helyi kisvállalkozóknak, hiszen nélkülük nem jöhetett volna létre ez az expedíció. Külön köszönet illeti meg a Karszt és Barlang Alapítványt, valamint a Barlangtani Intézetet az anyagi támogatásért.

A tábor résztvevői:

Balázs Béla	Micimackó Csoport
Balogh Csaba	Micimackó Csoport
Bognár Csaba	Anteusz Csoport
Cserna Gécsáné	Pagony Csoport
Cserna Zsombor	Pagony Csoport
Csizy Álmos	Labirint Csoport
Fehér Katalin	Pagony Csoport
Fritz Zsolt	Pagony Csoport
Gonda Péter	Bekey Imre Gábor Csoport
Gyurin György	Acheron Szo.
Janata Károly	Pagony Csoport
Kovács József	Vass Imre Csoport
Dr Laczkovits Gabriella	Szemlőhegyi Barlangterápia
Lómen Orsolya	Pagony Csoport
Nemes Balázs	Pagony Csoport
Rénes László	Labirint Csoport
Takács Attila	Labirint Csoport
Takács Ferdinánd	Labirint Csoport
Zilahy László	Vass Imre Csoport
Zsanda Géza	Acheron Szo.

A cserszegtomaji kútbarlangban végzett élettani és klimatológiai expedíciót támogatták:

Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat, Fővárosi Intézet

Bioteszt Hungaria Kft.

Cserszegtomaji Polgármesteri Hivatal

Dr. Csernavölgyi László - Budapest

Dél-Dunántúli Áramszolgáltató Rt.

Erdészeti Tudományos Intézet

Hakl József - Debreceni Atommagkutató Intézet

„Johan Béla" Országos Közegészségügyi Intézet

Karszt és Barlang Alapítvány

Kecskeméti Konzervgyár

Kertai Sándor - Hévízi Kórház Laboratórium

Keszthelyi Kórház

Kiss Attila - Budapest

Kiss Jenő - Budapest

Dr. Kiss Ferenc - Rezi

KTM Barlangtani Intézet

Kurdi Károly - Cserszegtomaj

Magyar Karszt- és Barlangtkutató Társulat

Mary Pékség - Keszthely

Novaalpin Kft.

Országos Korányi TBC és Pulmonológiai Intézet

Pajtika Kft. - Cserszegtomaj

Pécsi Tejipari Vállalat

Schuller Etiklar Kft. - Pécs, Kővágószőllős

Smith Klaine Beecham - Jorge Manuel - Budapest

Sörüzem Kft. - Laza Mihály

Széles László - Cserszegtomaj

Szent János Kórház Szemlő-hegyi Barlangterápia

Szenthe István - Budapest

Dr. Szomolányi István - Budapest

Tóth László - Keszthely

Várhegyi András - Pécsi Urán Kft.

11. IRODALOMJEGYZÉK

1. Acheron Barlangkutató Szakosztály évi jelentései 1982-1990., Középdunántúli Természetvédelmi Igazgatóság. Veszprém.

2. Bálint Péter: Orvosi élettan. Medicina. Bp. 1981.

3. Boissou, P. - Guezennec, C. Y. - Defer, G. - Pesquies, P.: Oxygen Consumption, Lactat Accumulation and Sympathietic Response during Prolonged Exercise under Hypoxia. Int. J. Sports Med. 8. 1987. p. 266-269.

4. Cazzola, G., Sabini, A.: Controllo microbiologico dell' aria confiata in arienti. Industrie alimentari; 1976. 6. (129), p.69-76.

5. Cşerszegtomaji-kútbarlang M=1:200. Magyarország Barlangtérképei. Magyar Karszt és Barlangkutató Társulat. 1981.

6. Davies, R. R. et al.: Air sampling for fungi, pollens and bacteria. Methods in Microbiology; 1971. 4. Acad. Press. New York.

7. Deák Zsuzsanna, dr: Baktériumok és vírusok levegőből történő kimutatására, a túlélésre és terjedésre vonatkozó újabb kutatások. Egészségtudomány; 1972. 1. p. 25-29. Bp.

8. Erdélyi Mihály: A cserszegtomaji piritkutatás. Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1953. I. rész.

9. Fisher György - Fodré Zsófia - Nehéz Mária: Törekvések normatívák kidolgozására a levegő bakteriológiai szennyezettségének megítéléséhez egészségügyi intézményekben. Egészségtudomány; 1973. 4. p. 250-258. Bp.

10. Fortney, M. Suzanne - Vroman, B. Neil: Excercise, Performance and Temperature Controll: Temperature Regulation during Exercise and Implications for sports Performance and Training. Sport Medicine 2. 1985. p.8-20.

11. Géczy G. - Csige I. - Somogyi G.: Air circulation in caves traced by natural radon, Proc. 10th International Congress of Speleology, 13-20. Aug. 1989. Bp.

12. Hakl József: A Cserszegtomaji-kútbarlangban 1996. április 27-május 5. között lezajlott radonmérések rövid értékelése. 1996. Kézirat.

13. Hakl J. - Hunyadi I. - Várhegyi A.: The study of subsurface radon transport dynamics based on monitoring in caves, Journal of Environmental Geochemistry and Health (in press), 1994.

14. Hakl J. - Várhegyi A. - Géczy G. - Csige I. - Hunyadi I.: Radon transport in fractured porous media - experimental study in caves, Proc. 6th Int. Symp. on the Natural Radiation Environment, Montreal, Canada, 1995.

15. Hardi Ágnes - Kárpát József - Kolláth János - Peidl András: Túrakalauz. Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat XXXIV. Vándorgyűlés. 1990.

16. Indoor air quality biological contaminants. WHO Regional Publications European; Series No. 31. 1988.

17. Jakucs László: Jelentés a cserszegtomaji kiszállásról. Magyar Állami Földtani Intézet Gazdaságföldtani Adattár. SU:74/a. 1952.

18. Kárpát József: A Cserszegtomaji-kútbarlang. Karszt és Barlang. Budapest. 1982. I.

19. Lederberg, Joshua (edit.): Encyclopedia of Microbiology. Acad. Press; Inc. 1992. 1. p 60-65.

20. Némedi László: A levegőmikrobiológiai vizsgálatok elméleti és gyakorlati kérdései. KGI.; Bp. 1990. p. 5-16.

21. Dr. Pávai-V.Ferenc: A cserszegtomaji pirit-markazit kutatással kapcsolatos 1952. november havi jelentésem. Magyar Állami Földtani Intézet Gazdaságföldtani Adattár. SU:74/a. 1952.

22. Raygon, S. C. - Maclay, K. P.: Bacterial air pollution from an activated sludge tank. Water, Air, Soil Pollution; 1975. 5.

23. Rogers, M. A. - Stull, G. A. - Apple, F. S.: Creatin kinase isoenzyme activities in men and women following a marathon race. Med. and Science in Sprts and Exercise. 17. 1985. p. 679-682.

24. Shephard, Roy J.: Adaptation to Exercise in the Cold. Sport Medicine 2. 1985. p. 59-71.

25. Scwanne, J. A. - Johnson, S. R. - Vandenakker, C. B. - Armstrong, R. B.: Delayed-onset muscular soreness and plasma CPK and LDH activities downhill running. Med. and Science in Sports and Exercise. 15. 1983. p. 51-56.

26. Várhegyi A., Hakl J.: A silicon sensor based radon monitoring device and its use in environmental geophysics, Geophysical Transactions, Vol. 39. No. 45. pp. 289-302., 1994.