

Éves jelentés a Latorvár barlangkutató csoport Latorpusztai Szeles-barlangban végzett kutatási tevékenységéről 2018

Készítette: Kocsis János
Kocsis Gergely
Stieber József

Jóváhagyta: Stieber József barlangi kutatásvezető

Lezárva: 2019. február 14.-én

A Szeles bg. kutatási története

Az 1930-as években nyitották meg azt a kis kőbányát, amely Kecet tetőtől ÉNy-ra fekszik.

Az 1971-ben, a területet kutató barlangászok (Benedek Gábor „Bubu”, Kertész Tamás „Tomi bácsi”, Kenéz Jutka „Csutak”, Mikola Gábor „Gábika”,) figyeltek fel a felhagyatott kőfejtő oldalában levő arasznyi lyukra, amelyből nagyon erős, hideg huzatot észleltek.

Az Erdélyben levő Szelek barlangja elnevezése alapján adták a Szeles barlangot.

A kezdeti megbontások során sikerült a jelenlegi nagy, furatolt kötömb mögé bejutniuk, de a későbbiekben a kutatással felhagytak.

A későbbiekben a Lóczy Lajos Barlangkutató Csoport 1976-77 körül is próbálkozott a barlang bontásával. A bejárati akna kidúcolásával egyéb feltáró munkát nem végeztek.



1. sz. fotó: a Szeles-barlang bejárata 1977-ben (Fotó: Fónyad Béla)

A legelső térképet Tóth Csaba készítette 1978-ban. 2008-ban a Latorvár Barlangkutató Csoport (Dianovszky Tibor, Kocsis János kutatásvezetők) irányításával kb. 1,5 m szintet sikerült lesüllyeszteni a bejárati akna alatt.

A szint süllyesztés során korábbi bontások szerszámai is előkerültek.

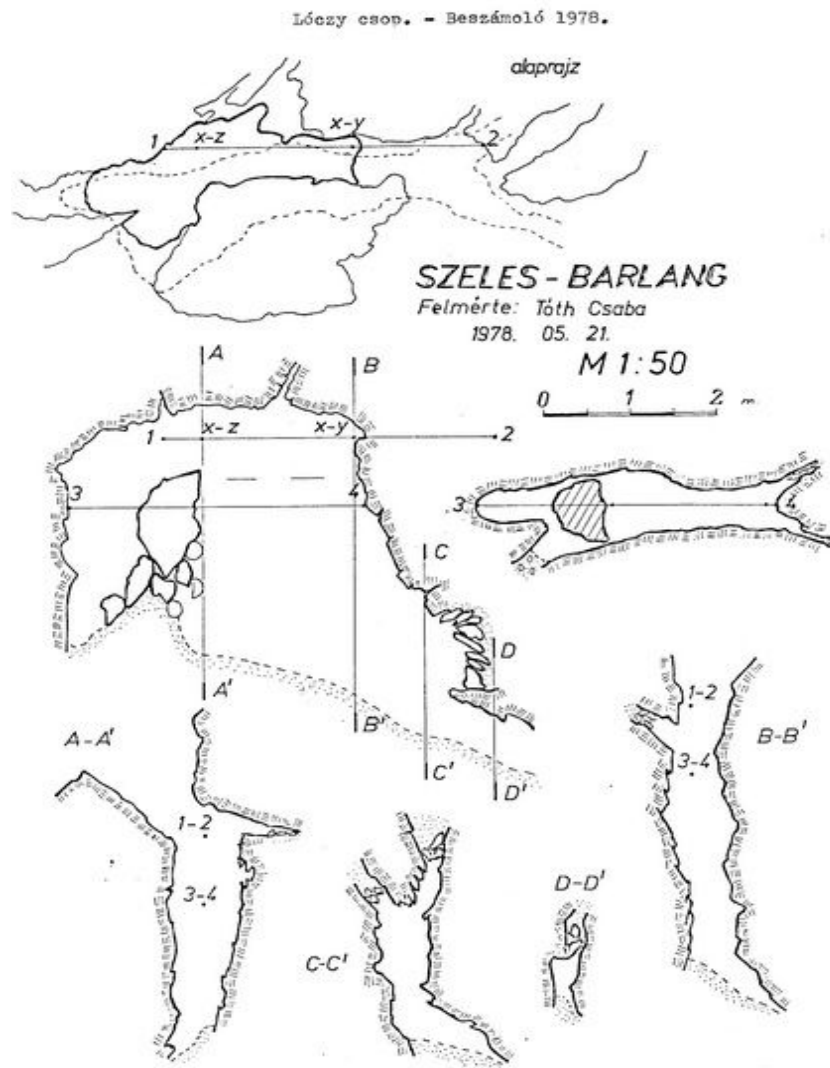
2010 májusában 15-20 cm magas álló jégcsapokat találtunk, míg augusztusban -5 C fok kiáramló hőmérsékletet mértünk.

2012 júliusában, amikor országos hőség riadó volt, a bejárati aknában megfagyott lavór méretű jégtömböt találtunk, míg a külső környezeti hőmérséklet +32 C fok volt.

A jégtömb kialakulása feltehetően a befolyt eső víz és a kiáramló hideg levegő okozta.

Az akkori mérések szerint a kiáramló lég hőmérséklet -2 C fok és 55 m³/ó volt.

A további szintsüllyesztések során sikerült mérésekkel behatárolni a légáram tényleges helyét (Stieber József, Dr. Kováts László Dezső).



1. sz. ábra: a Szeles-barlang első térképe 1978-ból (Tóth Csaba)

Az a hasadék ahol az erős légáramlat jelentkezik, a járat szelvénye miatt sajnos nem járható és szálkőben található.

A huzatos hasadéktól jobbra találtunk összetöredezett szakaszt, ami bontható és feltehetően eljutunk a huzatos szakasz másik végéhez.



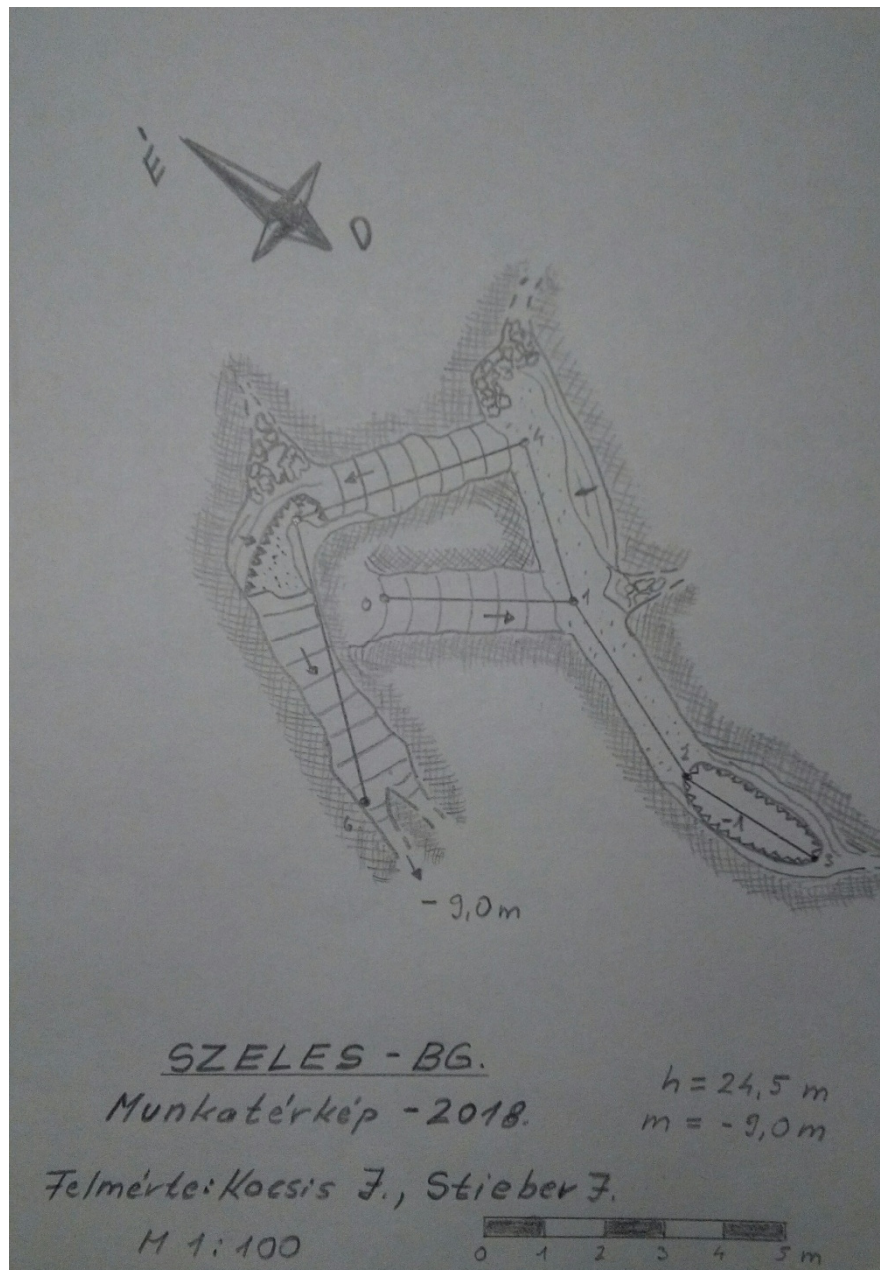
2. sz. fotó: a Szeles-barlang bejárta 2004-ben (forrás: Barlangtani Intézet adatbázis)

Beszámoló a feltáró tevékenységről

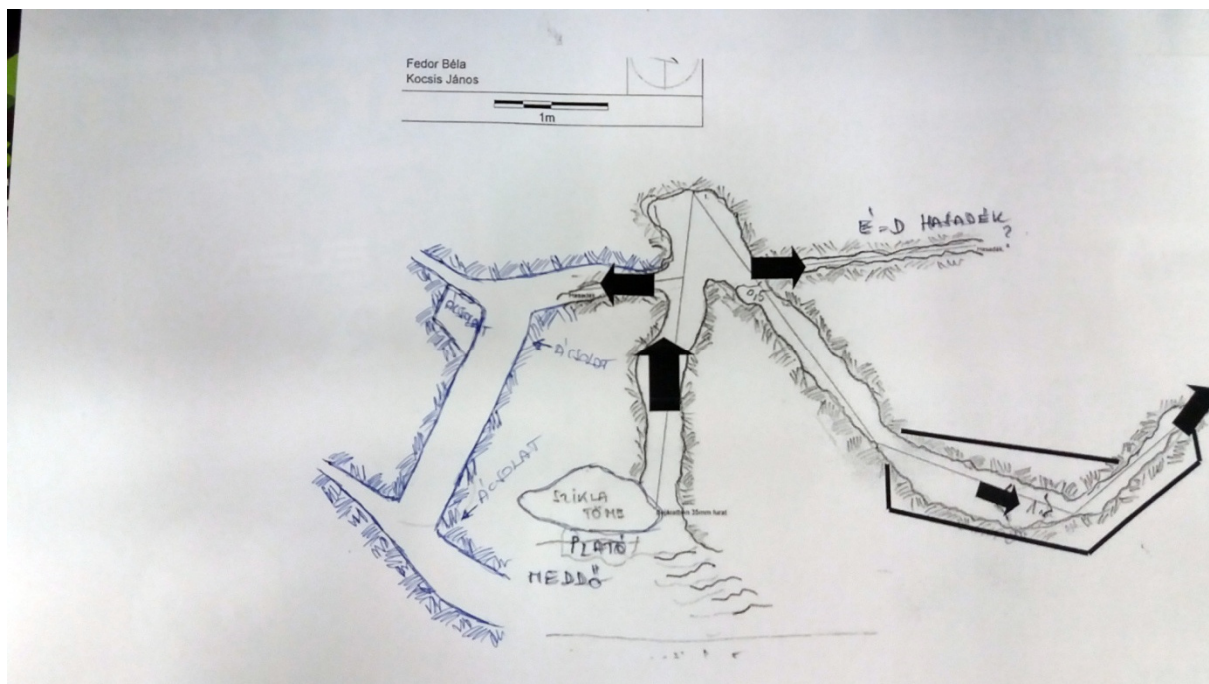
2018. évben a Latorvár Barlangkutató Csoport Kocsis János kutatásvezető-helyettes állandó felügyelete alatt és Stieber József kutatásvezető ellenőrzésével, a barlang feltáró kutatását 2018 decemberéig, negyedéves rendszerességgel végeztük el.

A kutatási napokon 7-8 fővel, napi 8-10 órát dolgoztunk a barlangban, a munkaórák száma 2018-ban 73 óra volt. Ez idő alatt kb. 5,5 m³ kőtörmelékot távolítottunk el, kőtömbök és törmelék formájában. A bontási munkákat kéziszerszámokkal és gépesítve (akkumulátoros gépek használatával) végeztük, a törmelékot hevederfüllel ellátott műanyag „badellákban” szállítottuk ki a barlang előtti kőfejtőbe. A barlang bejáratban elhelyeztünk egy „Vigyázz omlás veszély!” feliratú táblát is. A barlangban 4 ponton vörösfenyőből készült ideiglenes ácsolatot építettünk be, a kutatás biztonsága érdekében.

A feltáró munkákról készült új munkatérképen korábban bejelölt -9 m-es végponthoz képest egyenes vonalban 3 métert haladtunk előre, a járat hosszát így 10 méterre növelve. A bejárathoz képesti mélységünk jelenleg – 10,5 m. A végponton erős huzat érződik és a hasadék iránya a műút felé tart. Továbbra is a bányaudvar alatt vagyunk, hatalmas kőtömbök közötti összefagyott üledékben és törmelékben haladunk előre.



3. sz. ábra: a barlang felméréséről készült legutolsó munkatérkép (vízszintes szelvény), a több részletben kibontott, 70° os lejtés-szögű akna és a jelenlegi huzatos végpont feltüntetésével
(rajzolta: Stieber József és Kocsis János)



4. sz. ábra: a barlang felméréséről készült korábbi munkatérkép (vízszintes szelvény), melyen jól látszik a több részletben kibontott, 70°os lejtésű kisakna és annak ellaposodó, feltöltött folytatása, mely a műút irányába fordul.
(rajzolta: Kocsis János kutatásvezető-helyettes)



5. sz. fotó: A barlang 2016-ban, több részletben feltárt kisaknájában történő biztonságos mozgás érdekében gyorsan telepíthető, összezsukható csúszdás-létrát használtunk, melyet műszak végén könnyedén tudtunk kiszállítani a barlangból
(fotó: Kocsis Gergely)



6. sz. fotó: A jelenlegi végponton folyó kutatások biztonsága érdekében vörösfenyőből készült ideiglenes ácsolatot építettünk be (fotó: Molnár Balázs)



7. sz. fotó: A reményt adó, több részletben feltárt, nagyméretű kövekkel eltömődött 8m hosszúságú és 6,5 m mélységű lejtős akna, melynek bal alsó végében huzat irányában haladunk a műút irányában. A fényképen az akna bejáratába épített, vörösfenyő ácsolat és a mozgatható csúszdás-létra látható (fotó: kocsis János)



8. sz. fotó: a végpont jelenleg erősen huzatos hasadékban végződik, mely a műút felé tart, kb 30~os szögben lejtve. Már kb. 2 méterrel távolodtunk el a bejárat vonalától és 10,5 méterrel vagyunk mélyebben a bejárat szintjétől és kb. 4 méterrel mélyebben a műút szintjénél. (fotó: Stieber József)



9. sz. fotó: a kitermelt törmelék jellemzően átfagyott, porózus szerkezetű mészkő (fotó: Kocsis Gergely)



10. sz. fotó: Könnyen telepíthető 3 lábú kézicsörlő-állvány az anyagmozgatás megkönnyítésére, a barlang bejáratában. (Fotó: Kocsis Gergely)



11. sz. fotó: Anyagmozgatás az ideiglenesen beépített, vörösfenyőből készült csúszdán.
(Fotó: Stieber József)



12. sz. fotó: A bontási törmelék eltávolítása egy műszakban általában 8 embert igényel, akik az ideiglenesen beépített vörösfenyő csúszdákon keresztül mozgatják az anyagot a felszínig. (Fotó: Sztratiev Balázs)



13. sz. fotó: jégcseppkő márciusban a barlangban (fotó: Kocsis Gergely)



14. fotó: lefagyott falrészlet májusban a barlangban (fotó: Kocsis Gergely)



15. fotó: jégpamacsok májusban a barlangban (fotó: Kocsis Gergely)



16. fotó: középen egy jég-sztalaktit, májusban a barlangban (fotó: Kocsis Gergely)



17. fotó: munkában a felszíni ügyelet, februárban (fotó: Kocsis Gergely)



18. fotó: ideiglenes klímamérő munkahely a barlangban: gamma dóziméter, aeroszol-
átmérő és eloszlás mérő, szén-dioxid mérő és precíziós hőmérő
(fotó: Stieber József)



19. ábra: a „forduló” a legkeményebb munkahely: itt kell átemelni a végpontról érkező badellákat a 70°-os lejtésű „nagyakna” csúszdájára. Persze mindezt kényelmetlen testhelyzetben, kicsi helyen... (fotó: Stieber József)



20. ábra: a végpont felé tartó kb. 30°-os lejtésű, mára már 10 méter hosszúságú, 1 méter magas járat, benne vörösfenyőből készült csúszdával, a badellák könnyebb mozgatására (fotó. Sztratiev Balázs)



21. sz. fotó: a felszín és a bontási végpont között ideiglenes telefonösszeköttetést létesítünk, minden egyes bontási alkalommal, a biztonság érdekében. (fotó: Kocsis Gergely)

Beszámoló a klimatológiai mérés eredményeiről

Az elmúlt években sikerült megfelelően dokumentálni a barlangi léghőmérséklet változásait a felszíni hőmérséklet függvényében. Sajnálatos módon az elmúlt évek igen alapos kutatási jelentéseit ismeretlen(ek) arra használták fel, hogy a lezáratlan barlangból és a felszínről a hőmérséklet regisztrálóinkat begyűjtsék. éppen ezért a hőmérséklet regisztrálást megszüntettük. Alkalmi mérések történtek az alábbiak szerint:

- aeroszol átmérő és eloszlás
- ionizáció
- szén-dioxid
- radon

ezek egyike sem lett elvégezve minden évszakban, így az eredményeket csak az évszakos változások megfigyelését követően kívánom bemutatni.

Összefoglaló (újramérve):

A korábbi eredményeket felülbírálván, új poligonvonalakat vettünk fel, rögzített pontokkal.

A 2018-ban feltárt új részek hossza: 3 m

A barlang teljes hossza: 27,5 m

A barlang vertikális kiterjedése: - 10,5 m

Budapest, 2019-02-14



Stieber József

Barlangklíma kutató, szakértő

Barlangi kutatásvezető

**Összefoglaló kutatási jelentés a
Szemplő-hegyi barlangban 2005 és
2018 között végzett
barlangklimatológiai mérésekről**

*„Kiss Jenő, a Szemplő-hegyi barlang legendás kutatója
emlékére”*

SZIKKTI SE. BARLANGKUTATÓ CSOPORTJA

*Méréseket vezette és a dokumentációt összeállította: Stieber József
vizsgálómérnök, barlangi kutatásvezető, barlangklíma-kutató*

Lezárva: 2018. december 31.-én

Tartalomjegyzék

Előszó.....	3. oldal
Hőmérséklet loggerrel végzett hosszú távú megfigyelések.....	4. oldal
Részecskeszám- és átmérő meghatározások.....	19. oldal
Szemplő-hegyi-bg., mint nyomásvezérelt barlangtípus bemutatása.....	23. oldal
Barlangi aeroszol több féle módszerrel történő vizsgálata.....	37. oldal
Összefoglaló jelentés az aeroszol vizsgálati eredményekből.....	47. oldal
A Szemplő-hegyi-bg. aeroszol monitoring programjának eredményei.....	50. oldal
Időszakos klímavizsgálatok eredményeinek feldolgozása.....	74. oldal
Radon mérések eredményeinek bemutatása.....	79. oldal
Aeroszorból történő oldás –vagy kiválás-formák bemutatása.....	84. oldal

Köszönetnyilvánítás

Ez a tanulmány nem jöhetett volna létre Horváth Á. Katalin áldozatos munkája nélkül, aki rengeteget segített az aeroszol és szén-dioxid adatok összerendezésében és grafikonos megjelenítésében és a fotodokumentálásban.

Köszönet Kraus Sándornak, aki a mérőhelyek kiválasztásában és az adatgyűjtő eszközök kihelyezésében nagy segítségemre volt.

Köszönet Kertai Józsefnek, aki a hőmérséklet loggerek kihelyezésében és az adatok kiolvasásában, grafikonos értékelésében nyújtott nagy segítséget.

Köszönöm a Családomnak, különösen Feleségemnek, hogy több mint két évtizeden át türelmes volt velem, amikor hetente akár többször is adatot gyűjtöttem és méréseket végeztem a Szemplő-hegyi-barlangban.

Előszó

1987-ben részt vettem az Agyagos-folyosóban elvégzett terheléses klimatológiai vizsgálaton, mely a későbbi Gyógybarlang-engedély megszerzésének első vizsgálatai közé tartozott. Ugyanebben az évben készült el a barlang fogadóépülete és kiépítése és megindult az idegenforgalom. Mint első túravezetők egyik, hétvégeként dolgoztam a barlangban, egészen 1989-ig, amikor megkaptam behívómat a MH kötelékébe... 1991-ben szereltem le és első utam a Szemlő-hegyi-barlangba vezetett, ekkor ismerkedtem meg Kiss Jenővel.

Akkoriban már rendszeresen végeztem klíma-vizsgálatokat különböző barlangokban (csatlakoztam az éppen újjá alakult Barlangterápiás szakbizottsághoz) és a Szemlő-hegyi-barlang is kihasználatlan lehetőségeket kínált. Mind gyakrabban jártam fel a barlangba, ahol születendő gyermekeim is előbb kezdtek barlangászni, mint jární. 1993-tól Kiss Jenővel konkrét kutatási programokat terveztünk, a barlangot egyre inkább, mint egy nagy Budai rendszer részét és nem, mint önálló egységet tekintettük. Kijelöltük a potenciális bontási helyeket és támogattuk a barlang bejáratainak légszilippel történő lezárását. A denevérek ugyan kiköltöztek a barlangból, de megérkezett a ma mélykarsztból feláramló 14°C-os levegő. A barlang felmelegedett, klímája átalakult, stabilizálódott. A Gyógybarlang betegek gyorsabban gyógyultak, a falakon idővel megjelentek huzat-borsókövek és más ásványkiválások.

Lehetőségem nyílt folyamatos üzemű klímamonitoring kiépítésére és üzemeltetésére, valamint hosszú-távú aeroszol-összetételi vizsgálatokra, új eszközök kipróbálására, új módszerek kifejlesztésére. A Szemlő-hegyi barlang előlépett a második legjobban kutatott barlanggá és remélem, hogy jelen tanulmányomban ezt megfelelően be is mutathatom.

Hálával tartozom az elmúlt 25 évért, melyben Kiss Jenőt és a Szemlő-hegyi-barlangot alaposan megismerhettem, a barlangi klímajelenségeket kutathattam, megérthettem. Kiss Jenő halálával egy korszak ért véget, mely visszahozhatatlan. Egy „új korszak hajnalán” emlékezek most vissza a múltra és mutatom be mind azon méréseinket, vizsgálatainkat, melyekre a SZIKKTI Csoporttól erkölcsi támogatást kaptam, bizalmat, hogy képességeimnek és lehetőségeimnek birtokában a Szemlő-hegyi-barlang érdekes klímáját a leg-jobban megismerhessem és a jövő kutatói számára bemutathassam.

Stieber József

Összefoglaló kutatási jelentés a Szemlő-hegyi-barlangban 2005 és 2018 között végzett barlangklimatológiai mérésekről

Méréseket vezette és a dokumentációt összeállította: *Stieber József* vizsgálómérnök,
barlangi kutatásvezető, barlangklíma-kutató

Lezárva: 2018. december 31.-én

Alkalmazott mérőeszközök: TESTO 610 relatív páratartalom és hőmérő, TESTO 905-T1 beszűrő hőmérő, TESTO 810 infrahőmérő, TESTO hőmérséklet regisztráló, TESTO 405-V1 hődrótos anemométer, TESTO 535 (NDIR) CO₂ mérő, GTD1100 altiméter-barométer, AIR CO₂ntrol-3000 tip. CO₂ adatgyűjtő (a műszerek akkreditált laboratóriumban kalibráltak).

Alkalmazott módszer: MSZ ISO 8756:1995 szabvány szerint.

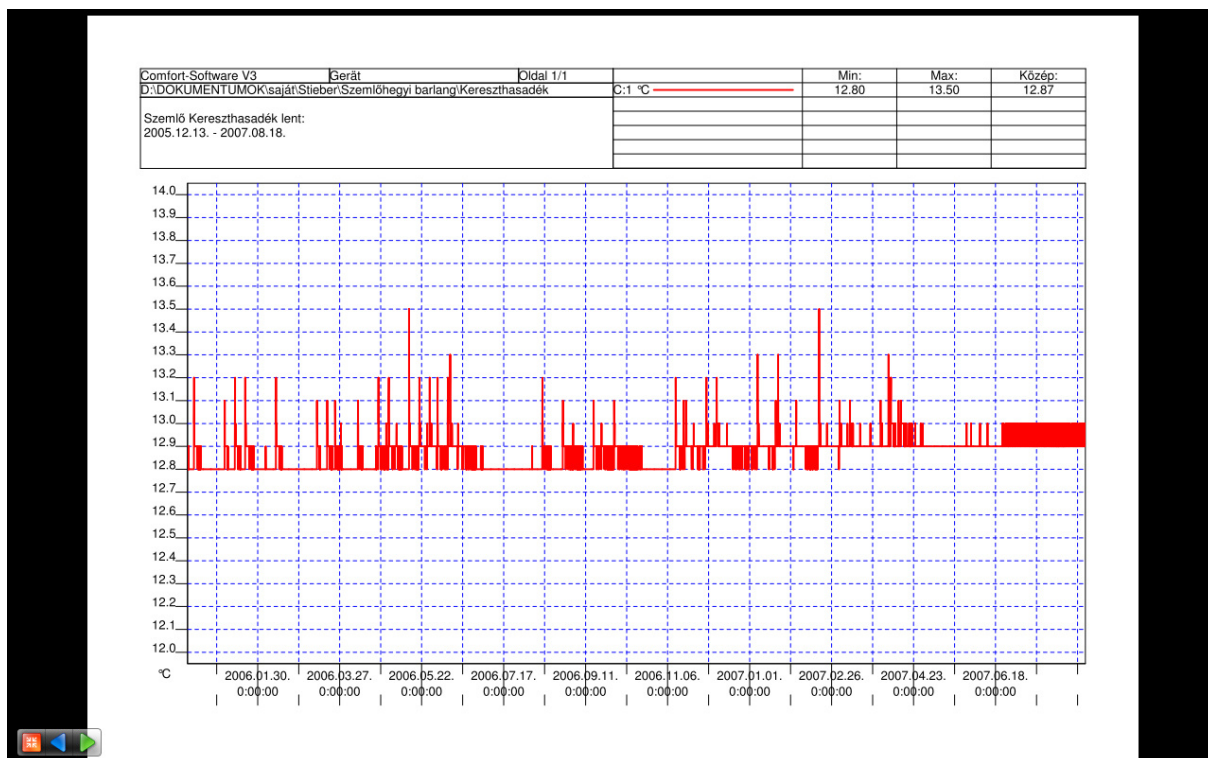
1. Hőmérséklet loggerrel végzett hosszú-távú megfigyelések

A mérésekben (loggerek kihelyezésében) részt vettek: Kiss Jenő, Kraus Sándor

Az adatok kiolvasásában és feldolgozásában részt vett: Kertai József

Az adatokat értékelte: Stieber József

1.1 A Halál-keresztfolyosóban 2005. 12. 13. és 2007. 08. 18. között elhelyezett hőmérséklet logger által gyűjtött adatsor bemutatása (1. ábra)



1. ábra: Halál-keresztfolyosó hőmérséklete 2005-2007 között

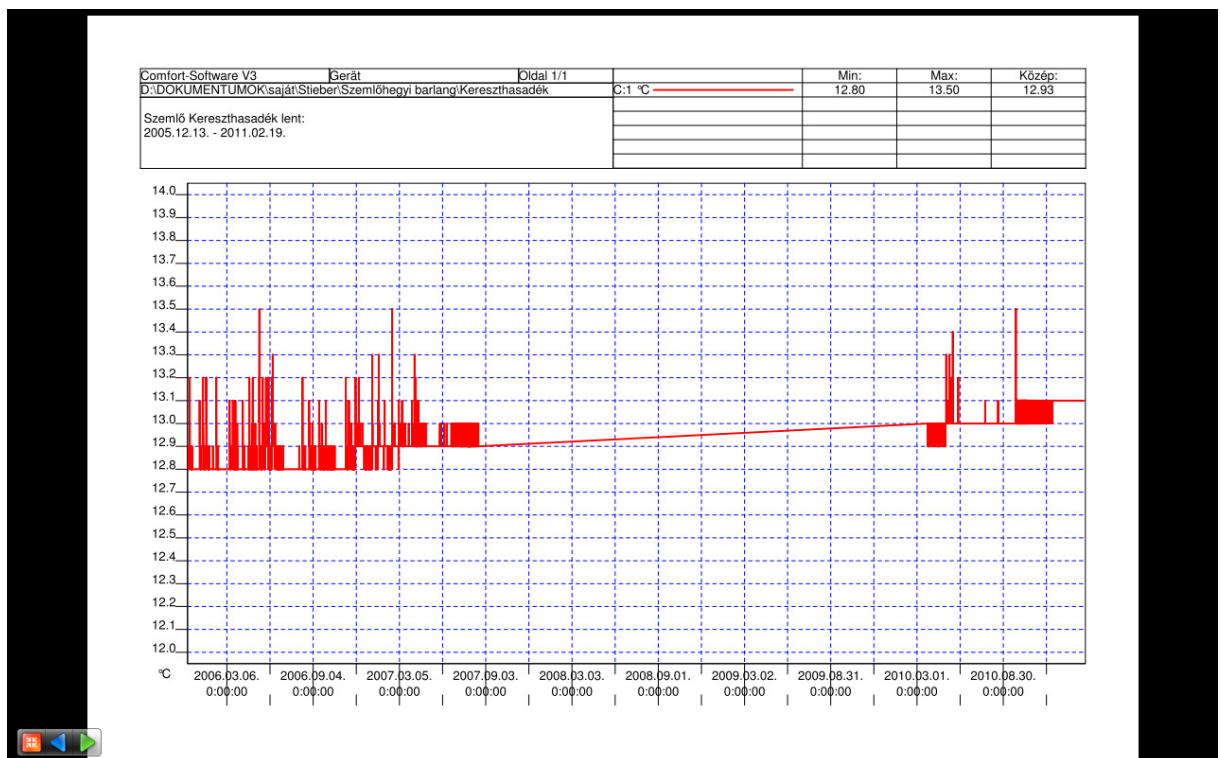
Átlag-hőmérséklet: 12,87°C

Hőmérsékleti minimum: 12,80°C

Hőmérsékleti maximum: 13,50°C

Megállapítás: az Óriás-folyosó végébe épített 10 m-es létra tetejéről nyíló járatszaksaszt keresztező folyosó alsó szintje kb. 20 m mélységig járható, majd elszűkül, de láthatóan levegős kapcsolatot tart fenn az alsó járatokkal. Ezekből folyamatos és évszaktól független meleg-levegő feláramlás tapasztalható, mely a 2006. év végi járatszélesítő bontások után még intenzívebbé vált és átlaghőmérséklete 0,1°C-al megemelkedett.

- 1.1.1 A hőmérsékletméréseket ezen a ponton 3 évig szüneteltettük, majd 1 évig folytattuk. A köztes időtartamot a 2. ábrán egyenessel összekötöttük, hogy láthatóvá váljon a különbség a két időszak között. Jól látható, hogy 3 év alatt a Keresztfolyosó átlaghőmérséklete újabb 0,1°C-al emelkedett, így már elérte a 13°C-ot.



2. ábra: Halál-keresztfolyosó hőmérséklete 2006 és 2010 között

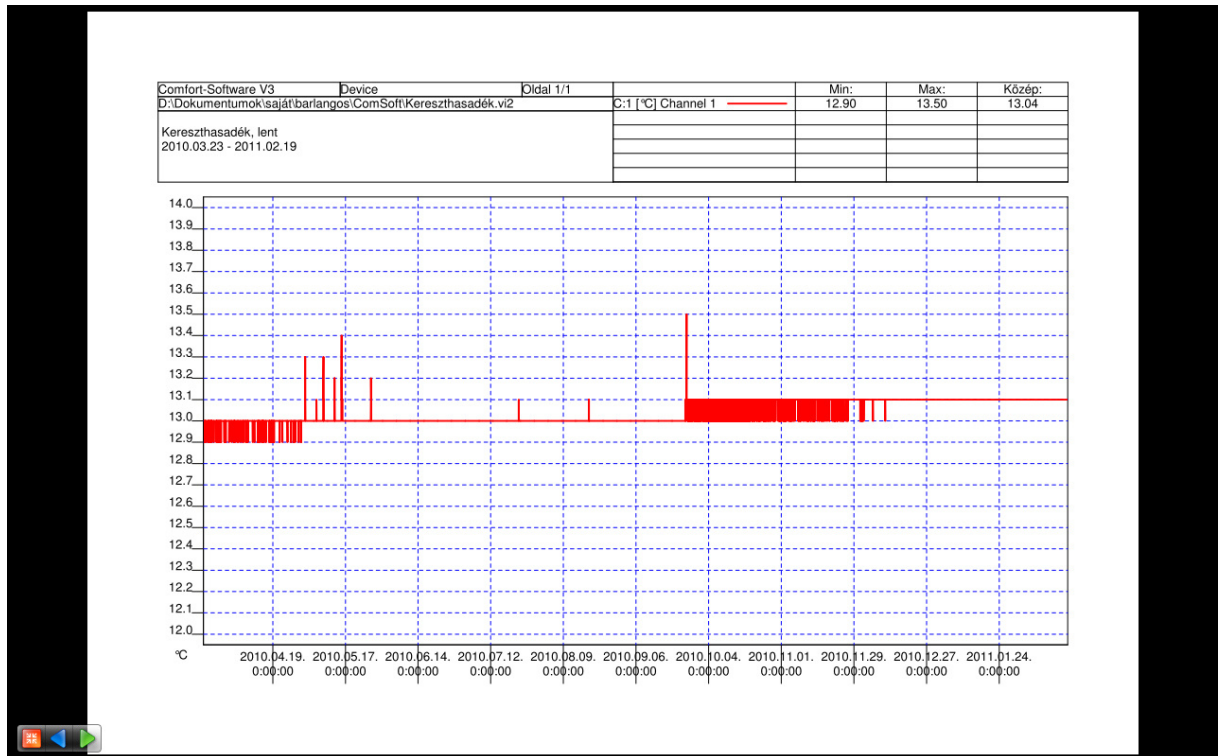
Az időszak szemléltetésére a 2010. 03. 23. és 2011. 02. 12. közötti szakaszt külön bemutatjuk a 3. ábrán. Jól látható ezen a lépcsőzetes emelkedés, mely nincs évszakhoz kötve, vagyis egész évben folyamatos a feláramlás, mely a járatrész lassú, de határozott felmelegedését eredményezi.

Átlag-hőmérséklet: 12,93°C

Hőmérsékleti minimum: 12,80°C

Hőmérsékleti maximum: 13,50°C

Megjegyezzük, hogy a Halál-keresztfolyosóban 2011. után már nem tapasztaltunk újabb hőmérsékletemelkedést, vagyis a szakasz átlaghőmérséklete stabilizálódott. 2018. 12. 22.-én 10:40-kor itt 13,0°C-ot mértünk. A tapasztalt hőmérséklet-stabilitásnak köszönhetően ezen a szakaszon beszüntettük a loggeres hőmérséklet regisztrációt.



3. ábra: Halál-keresztfolyosó hőmérséklete 2010-2011 között

1.2 A Ferencvárosi-teremben 2011. 04. 18.-tól 2011. 09. 10.-éig végeztünk loggeres hőmérséklet-regisztrációt, az „Anyósnyelv” fölött (kb. 3 m magasságban a járda szintje felett). Az eredményeket a 4. ábrán mutatjuk be.

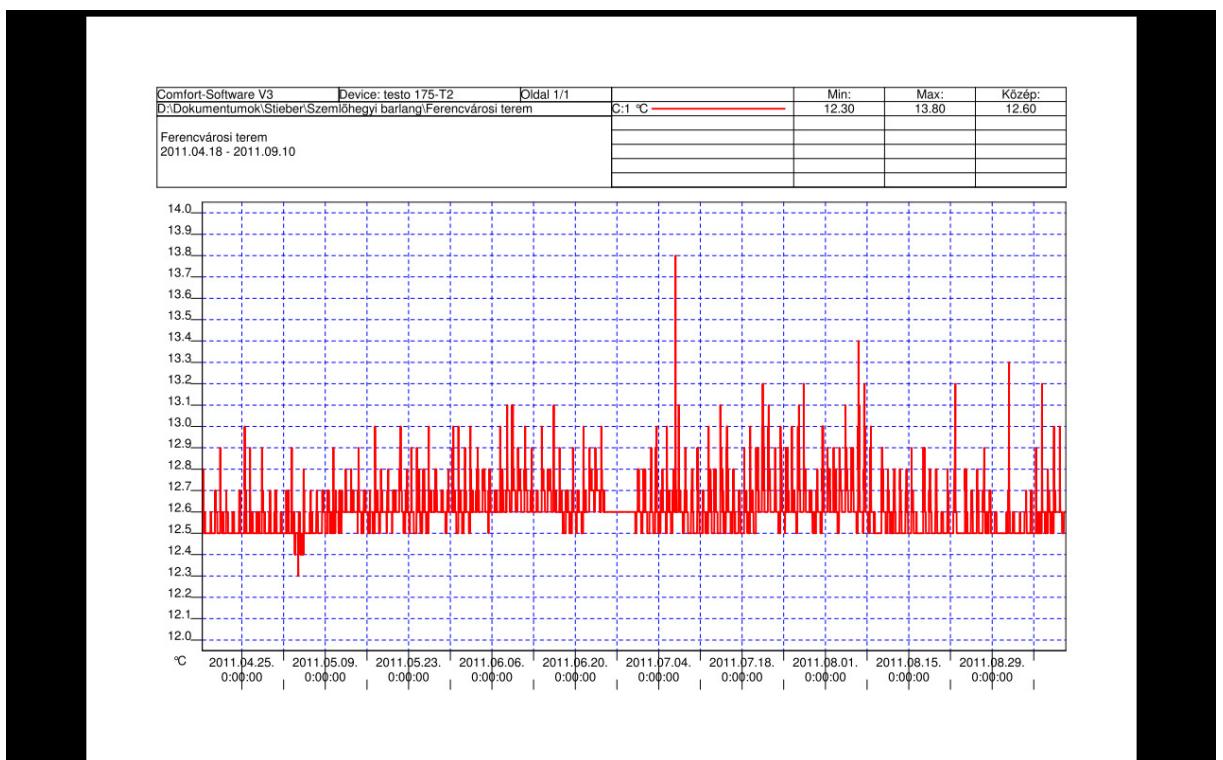
Átlag-hőmérséklet: 12,60°C

Hőmérsékleti minimum: 12,30°C

Hőmérsékleti maximum: 13,80°C

Megállapítás: mivel a vizsgált időszak tavasztól-őszig terjedt, így évszakos változásokat nem sikerült kimutatnunk. A hőmérsékleti ingadozásokat elsősorban az

idegenforgalom befolyásolta, nagyobb létszámú csoport bent tartózkodása, ill. a barlangterápiások légző-tornája egybe esett a hőmérsékleti kiugrásokkal. A bevitt hőtermelés (idegenforgalom, torna) hatását a barlang igen hamar kiegyenlítette, mely köszönhető a nagy légtérnek és a folyamatos légután-pótlásnak, valamint annak a jelenségnek, hogy a barlang falainak emisszivitási tényezője $E = 0,94...0,97$ közötti értéket mutatnak. A hőmérsékleti maximumok értékeinek időtartama egyetlen esetben sem tartottak 1 óránál tovább. Kismértékben tapasztalható a nyári időszakban az alsó bejáraton kifelé áramló huzat melegítő hatása, mely augusztusban a jelentős hőmérséklet-különbség hatására nagyobb mennyiségű meleg levegőt kever a kifelé áramló barlangi levegőbe. Ezt a nyomásvezérlést később más módszerekkel összekapcsolva, részletesen is elemeztük.



4. ábra: Ferencvárosi-terem hőmérséklete 2011. 04.-11.-hó között

1.2.1 A Ferencvárosi-teremben megfigyelhettük az átmeneti időszak változó irányú légáramlásának hatását, amikor 2011. 09. 10. és 10. 26. közé eső időszakot alaposabban megvizsgáltuk (5. ábra). Ebben a valamivel hosszabb, mint 1 hónapos időszakban a felszíni hőmérséklet éjszaka (és egyes alkalmakkor napközben is) már a barlang átlaghőmérséklete (13°C) alá csökkent, így a légmozgás téli irányt vett fel, míg napközben általában a felszíni hőmérséklet a barlangi átlaghőmérséklet felett maradt, ami nyári légkörüzt eredményezett. Amikor mind két hőmérséklet megegyezett, a barlangi huzat leállt, vagy a felszíni légnyomás-változások okoztak másodlagos huzatképző hatást (nyomásvezérlés jelensége).

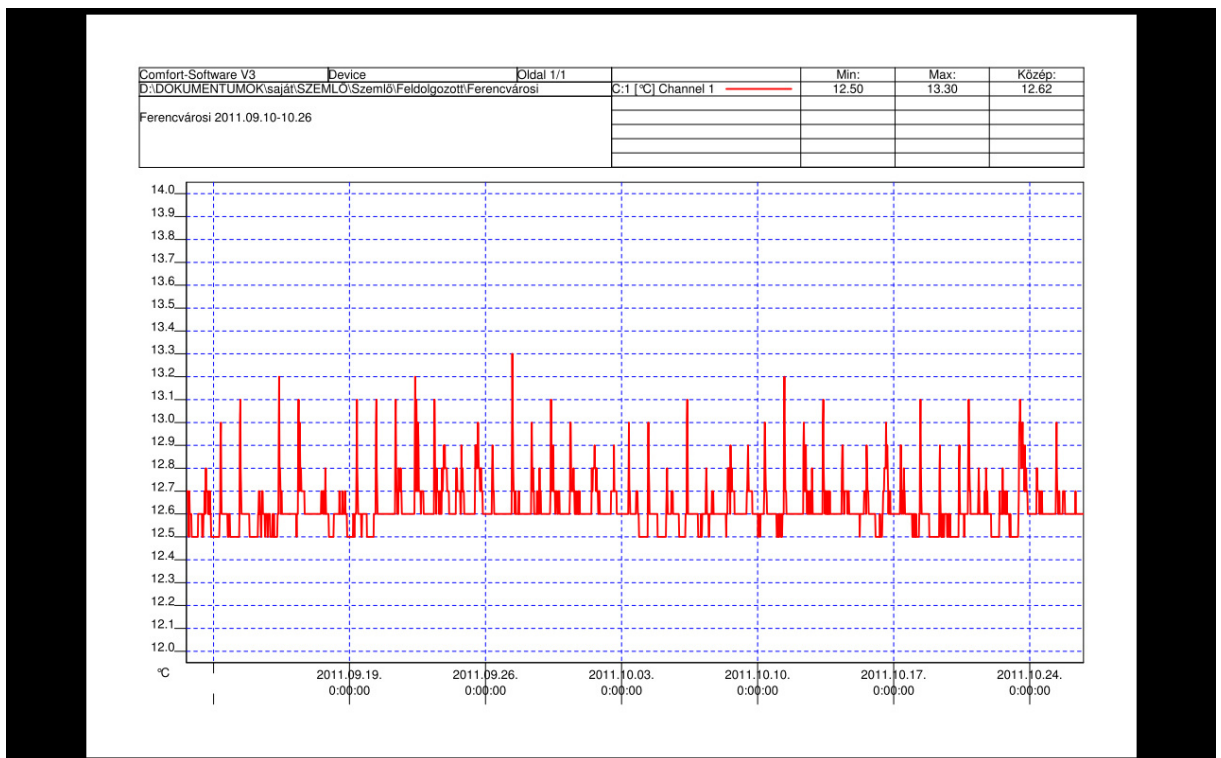
Felszíni $T > 13^{\circ}\text{C}$ Nyári léghőmérséklet (májustól szeptemberig)

Felszíni levegő az Örvény-folyosó bejáratán át belép a barlangba, ott leadja hőjét és az alsó-bejáraton (Lejtakna-Főépület), mint hideg barlangi levegő távozik a szabadba.

Felszíni $T < 13^{\circ}\text{C}$ Téli léghőmérséklet (novembertől-márciusig)

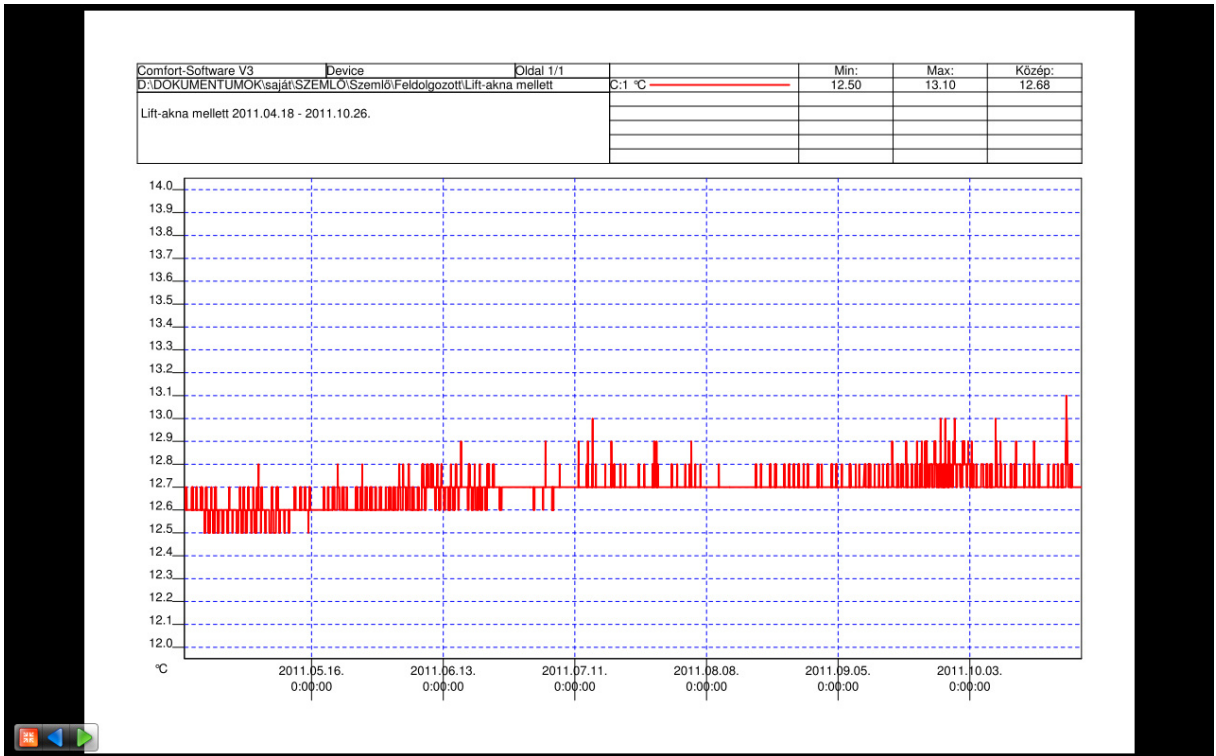
Felszíni levegő az alsó-bejáraton (Lejtakna-Főépület) át belép a barlangba, ott felmelegszik és az Örvény-folyosón keresztül, mint meleg barlangi levegő távozik a szabadba.

Felszíni $T = 13^{\circ}\text{C}$ Nincs léghőmérséklet (április és október)

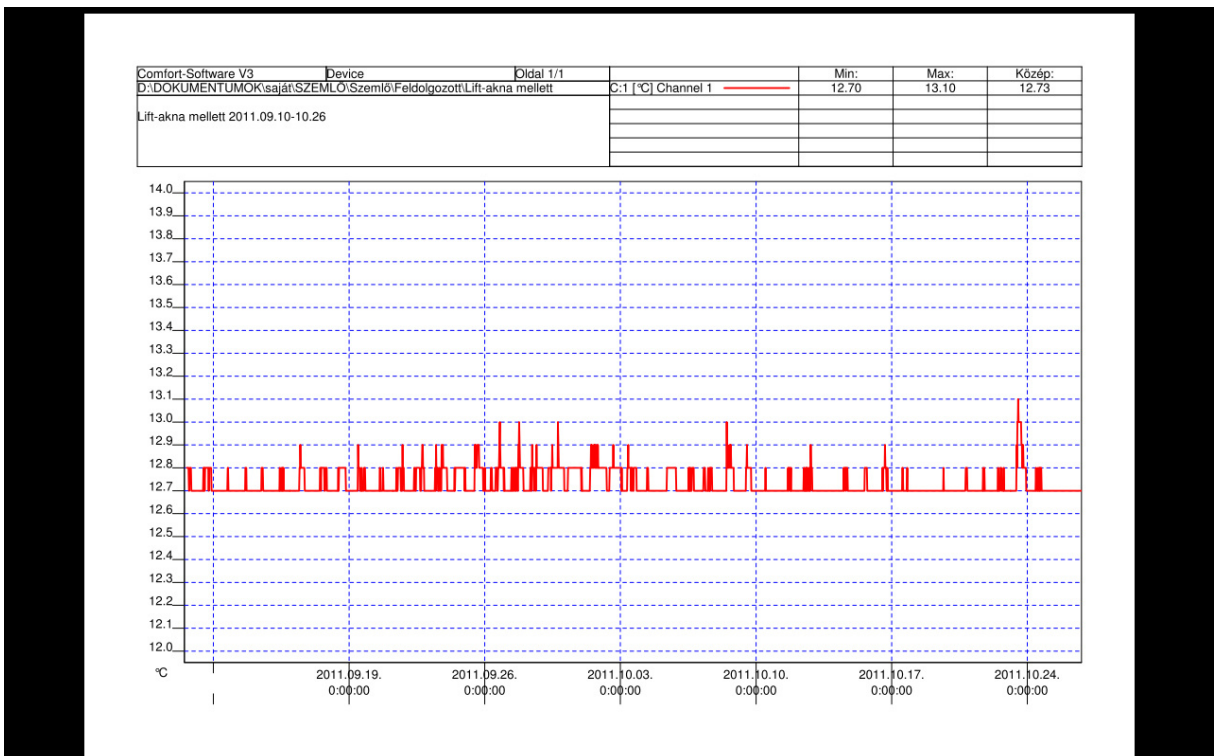


5. ábra: Ferencvárosi-terem hőmérséklete 1 hónapos időszakban

1.3 A barlangterápia központi területének számító Lift-akna összeköti a Fő-járatszintet (Óriás-folyosó) a felső járatszinttel (Agyagos-folyosó), ahova még további emeleti járatok (Egyetemi-szakasz) is becsatlakoznak, valamint jelentős meleg-levegő utánpótlást biztosít olyan aknákból, mint a Bányász-akna vagy a Gyöngyös-folyosó. A Liftaknának ezért kiemelkedő szerepe van a légforgalom és a kiegyenlítés biztosításában. A 2011. 04. 18. és 10. 26. közötti időszak eleje és vége az átmeneti időszakba (április és október, amikor a barlangi levegő átlaghőmérséklete és a felszíni léghőmérséklet megegyezik) esett, míg a köztes időtartamban (májustól-szeptemberig) a nyári léghőmérséklet volt jellemző a barlangban. A teljes időszakot a 6. ábra, míg a 09.10. és 10. 26. közötti valamivel több, mint 1 hónapot a 7. ábra mutatja be.



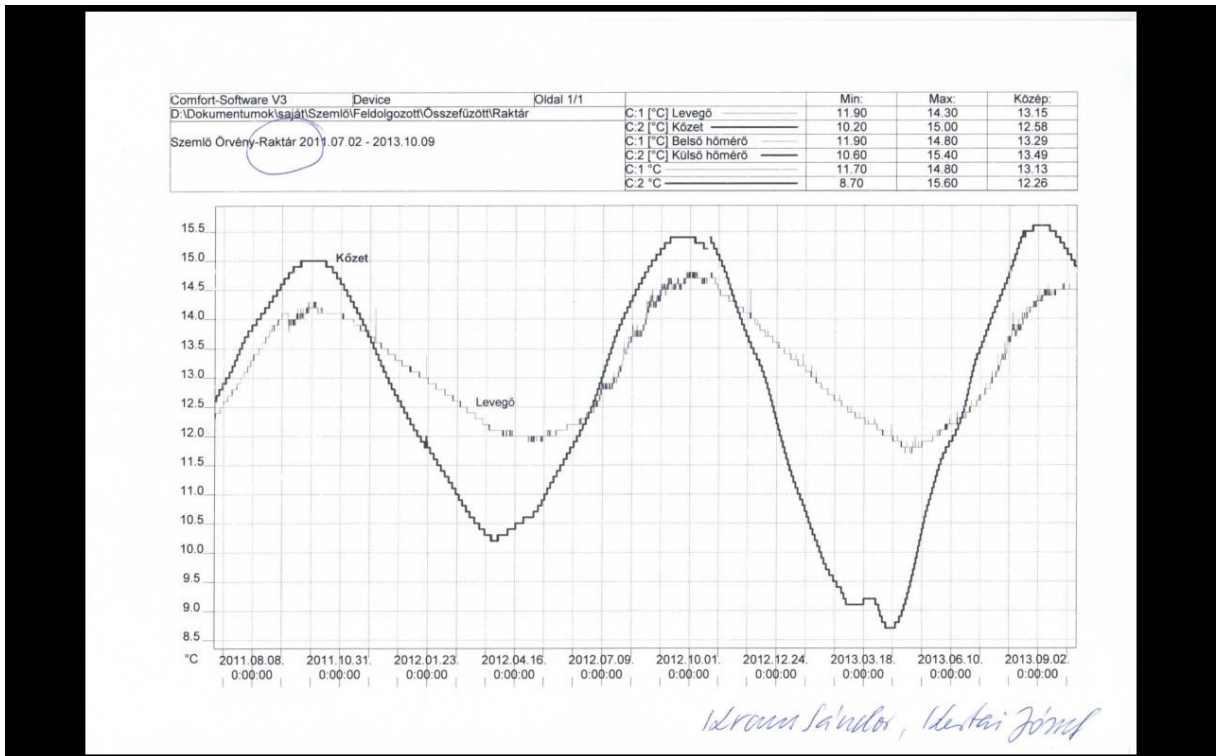
6. ábra: Liftakna-hőmérséklete 2011. 04-11.-hó között



7. ábra: Liftakna hőmérséklete 1 hónapos időszakban

A 7. ábrán látható hőmérsékleti kiugrások összeköthetőek az idegenforgalommal és terápiával, de egyetlen esetben sem haladta meg időtartamuk az 1 órát.

1.4 Hőmérsékleti megfigyelések az Örvény-folyosó felső szakaszából nyíló u.n. „Raktár”-járatban. A megfigyelés és adatgyűjtés célja a felszín közeli járatokra gyakorolt külső meteorológiai hatások nyomon követése volt. Az adatgyűjtéshez egy speciális kétcsatornás TESTO hőmérséklet loggert használtam, melynek egyik csatornája a levegő hőmérsékletét, másik csatornája pedig a kőzet hőmérsékletét mérte, 50 cm mélységben. Az adatgyűjtést 2 éven keresztül végeztem, mely a 8. ábrán látható. A hőmérő loggert Kraus Sándor és Kertai József helyezte ki, az adatok feldolgozásában Kertai József nyújtott segítséget.



8. ábra: a „Raktár” járat levegő és kőzet-hőmérséklete 24 hónapos időszakban

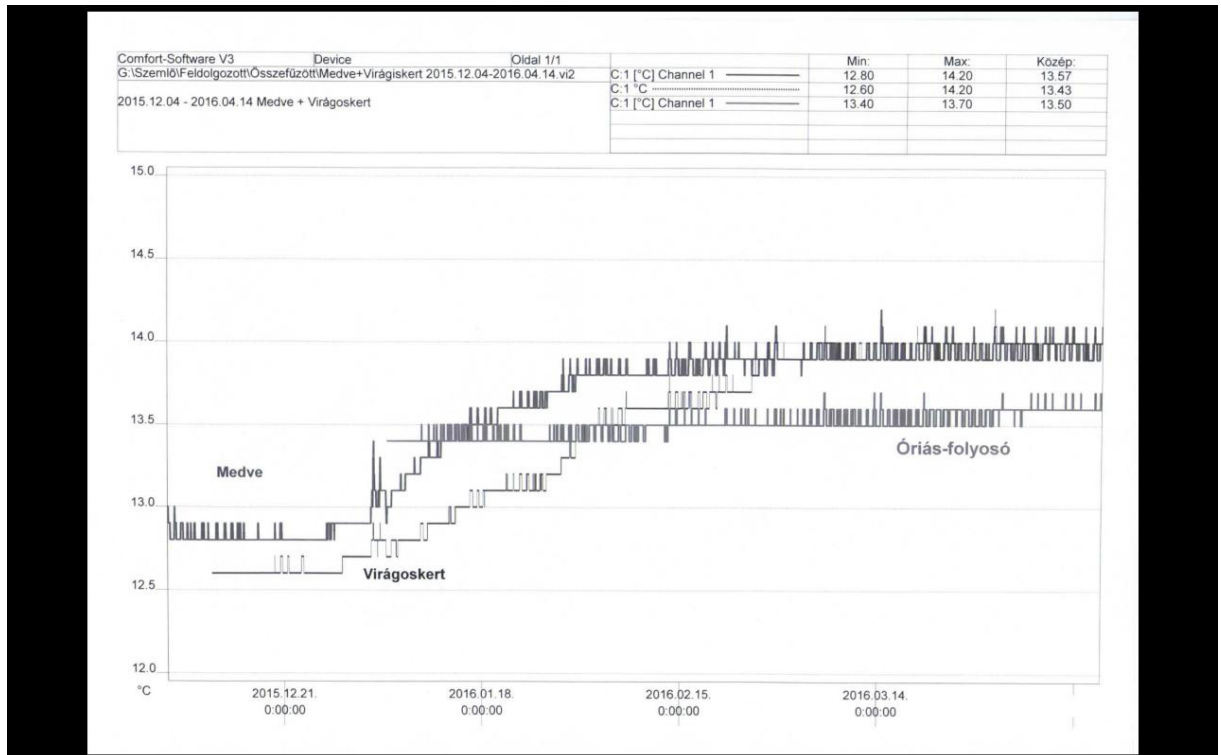
A 8. ábrán látható, hogy a felszín alatt 1-2 méterre húzódó járat fala télen 8,7 °C-ra lehül, de felülete mégsem képes a járat levegőjének jelentősebb aláhűtésére, hiszen az 11,7 °C-ra hűl csak vissza. Nyáron a kőzet akár 15,6 °C-ra is képes felmelegedni, mégsem képes a barlangi légteret 14,3 °C-nál magasabb hőmérsékletre átmelegíteni. Annak ellenére, hogy magának a falnak a felületi hőmérsékletét nem tudtuk regisztrálni, a jelenség hátterében a járatban kialakult konvekciót követhetjük nyomon, melynek nyomát Kraus Sándor kiválásokon keresztül is képes volt kimutatni.

1.5 Téli időszakból a tavaszi átmeneti időszakba történő felmelegedés, vagyis a téli légkörczés hatásait Kiss Jenő ötlete alapján viteleztük ki. 2015. 12. 04. és 2016. 04. 14. között egyszerre 3 ponton tudtunk regisztrálni:

- Ferencvárosi-teremből az Agyagos-folyosó felé indulva a „Medve” nevű sziklánál

- Az Óriás-folyosó Virágoskert részénél a Liftakna mellett
- Óriás-folyosó terápiára kijelölt szakaszán, a Karzat magasságában

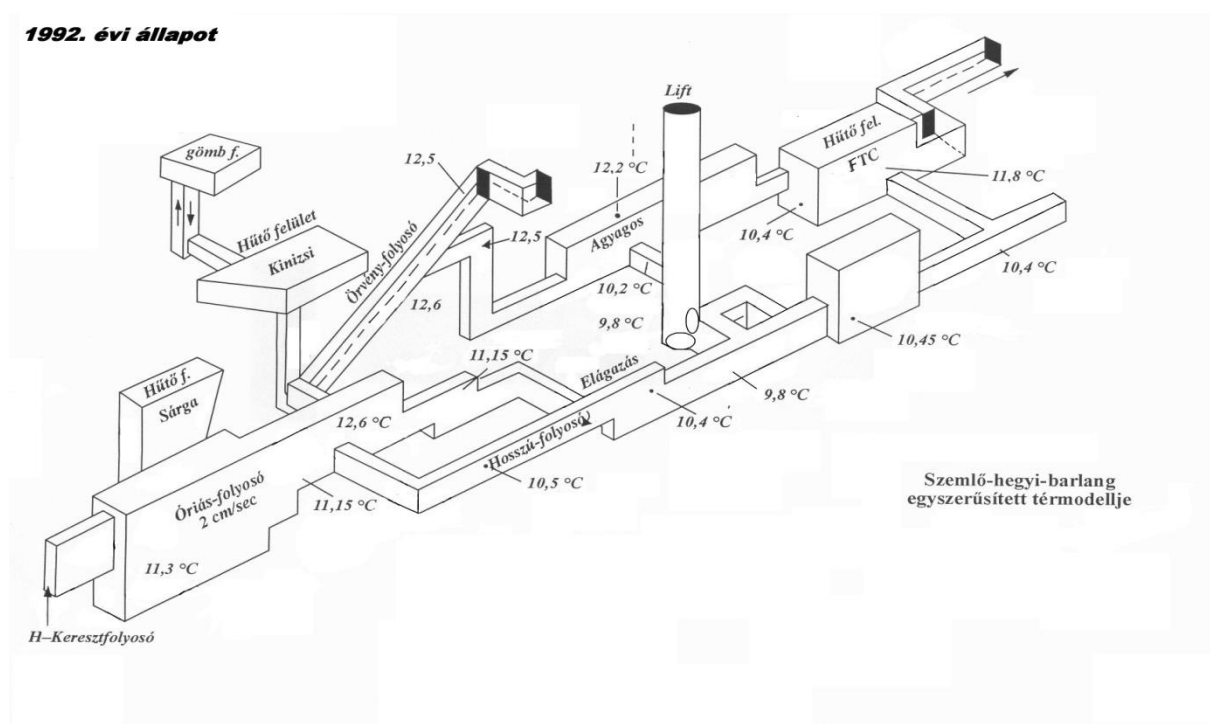
Az adatok kiértékelésében Kertai József segített. Az érdekes adatsort a 9. ábrán láthatjuk.



9. ábra: 3 ponton, egy időben regisztrált téli légkörzéshez tartozó hőmérsékleti adatok.

A 9. ábrán látható, hogy decemberben a Virágoskert 0,2 °C-al alacsonyabb hőmérsékletű, mint a Medve és ezt a hátrányát csak március elejére tudja kiegyenlíteni. Gondolhatnánk, hogy az alsó bejárat legközelebb eső járatrész (a Ferencvárosi-teremben található Medve-szikla) lesz a leghűvösebb a téli légkörzés alatt, de az adatok nem ezt mutatják. Az alsó bejárat a fogadóépület felől olyan mértékben van elszigetelve a felszíntől, hogy onnan csak csekély mennyiségű hideg levegő érkezhessen a barlangba. Nem úgy az Agyagos-folyosó emeleti járatai, melyek helyenként repedéseken keresztül kapcsolatba kerülnek a felszínnel és onnan télen hideg levegőt engednek a barlangba. Ez a levegő lefelé kúszva jelenik meg a Liftaknában és hűti le a környezetében lévő járatrészeket – így a Virágoskertet is. Az Óriás-folyosó kívül esik ebből a légkörzési útvonalból, ezért téli időszakban mindössze 13,4 °C-ig hűl vissza hőmérséklete. 2016 tavasza hamar bekövetkezett, március elejére már a felszíni hőmérséklet megközelítette a barlangi levegő hőmérsékletét: a barlangi légmozgás leállt és a hőmérsékletek kiegyenlítődték. A Medve és a Virágoskert hőmérséklete is 14,2 °C-ra állt be, miközben az Óriás-folyosó Karzatán a hőmérséklet alig változott. Megerősíti ez korábbi állításomat, hogy az Óriás-folyosó terápiás része (Karzat körül) csak csekély mértékben vesz részt a légkörzésben.

1.6 Kiss Jenő munkásságára emlékezve, az alábbiakban bemutatok néhány általa elkészített hőmérsékleti modellt, melyeken szemléletesen tudta bemutatni a barlang klímájában végbement változásokat. A 10. ábrán az 1992-ben Kárpát József által felvett állapotot láthatjuk, amikor a barlang az Örvény-folyosón keresztül még jelentősen átszellőzött és a SZIKKTI Csoport még nem bontotta ki az Agyagos-folyosó aknáit, nem ismerte a Gyöngyös-folyosót és nem bontotta ki a Halál-keresztfolyosó nagy aknáját. A barlang átlaghőmérséklete 2,5 °C-al volt alacsonyabb, mint napjainkban.



10. ábra: éves átlaghőmérsékletek értéke 1992-ben

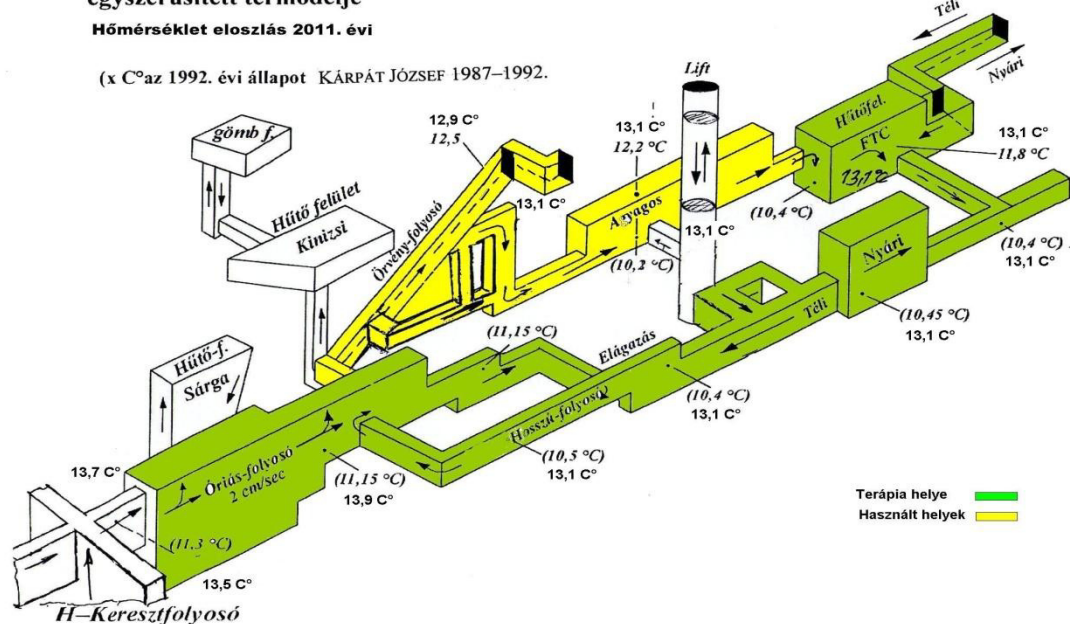
Kiss Jenő 2011-ben, Kárpát József egyszerűsített térmodelljébe beleírta a rendszeres méréseim által rögzített és a SZIKKTI Csoport által hetente leolvasott üveghőmérők adataiból kapott átlagértékeket (11. ábra). Látható, hogy a barlang átlaghőmérséklete a bontásoknak és a lezárásnak köszönhetően átlagosan 2,5 °C-al emelkedett.

Sajnálatos, hogy 20 év észleléseinek füzetbe lejegyzett adatsora (tehát a beépített üveghőmérők heti rendszerességű leolvasása) Kiss Jenő halála után elkavarodott, így annak feldolgozását és digitális kiértékelését sajnos nem tudjuk elvégezni.

A 12. ábrán szintén Kiss Jenőnek köszönhetően bemutatásra kerül a barlangban rendszeresített klímamérési pontok elhelyezkedése és megnevezése. 20 éven keresztül ezen pontokon történtek a hőmérsékleti-, széndioxid- és radon mérések.

Szemlő-hegyi-barlang egyszerűsített térmodelje
Hőmérséklet eloszlás 2011. évi

(x C° az 1992. évi állapot KÁRPÁT JÓZSEF 1987–1992.)

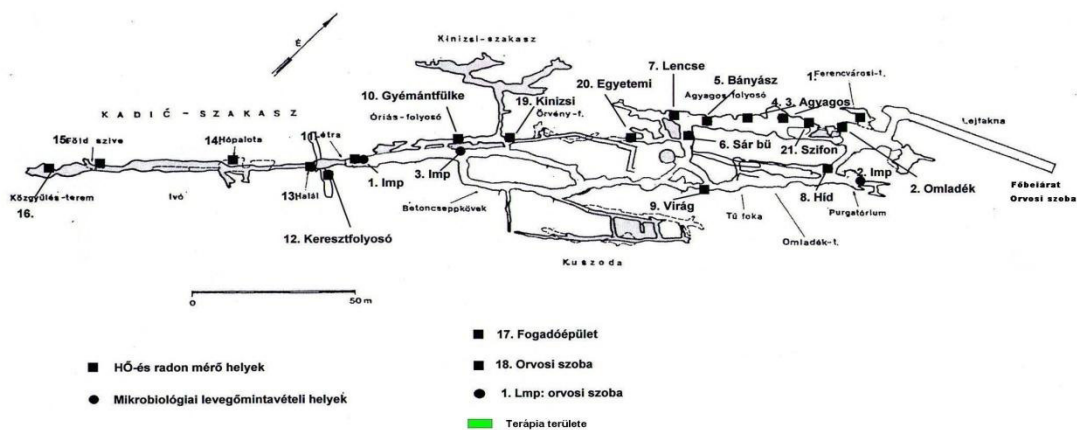


11. ábra: éves átlaghőmérsékletek értéke 2008-2010-között

Szemlő-hegyi barlang
Klíma mérési pontok elhelyezkedése

Alaprajz

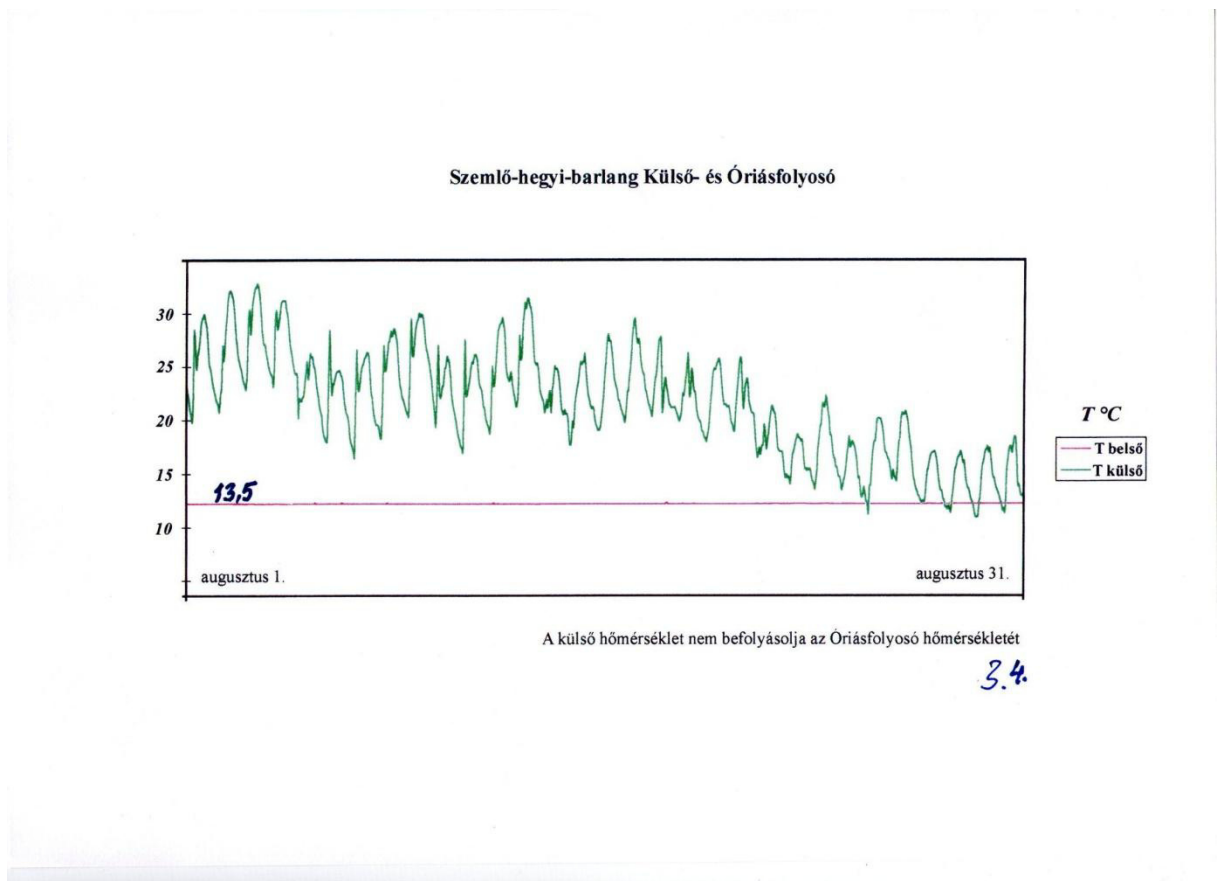
Felmérte: Kinizsi 1962., FTSK 1975-86.
 Szerk: Horváth János



12. ábra: a barlangklíma mérési pontok elhelyezkedése

1.7 A barlangban 1995 és 2010 között, 15 éven át működött egy Stieber József és Szabó László által tervezett és kivitelezett számítógépes klíma monitoring állomás, amely állandó tápellátás mellett több ponton mérte és regisztrálta a száraz- és nedves-hőmérsékletet (relatív páratartalom meghatározása), a szén-dioxidot, a légáramlás-sebességét, a felszíni hőmérsékletet és a felszíni és barlangi légnyomás különbségét. Az adatok percenként kerültek eltárolásra a fűtött szekrénybe elhelyezett laptop merevlemez-meghajtójára. Érdekességként mutatok be néhány adatsort, melyet az állomás legyűjtött és amely adatokat Kiss Jenő ellátta saját kézírásával.

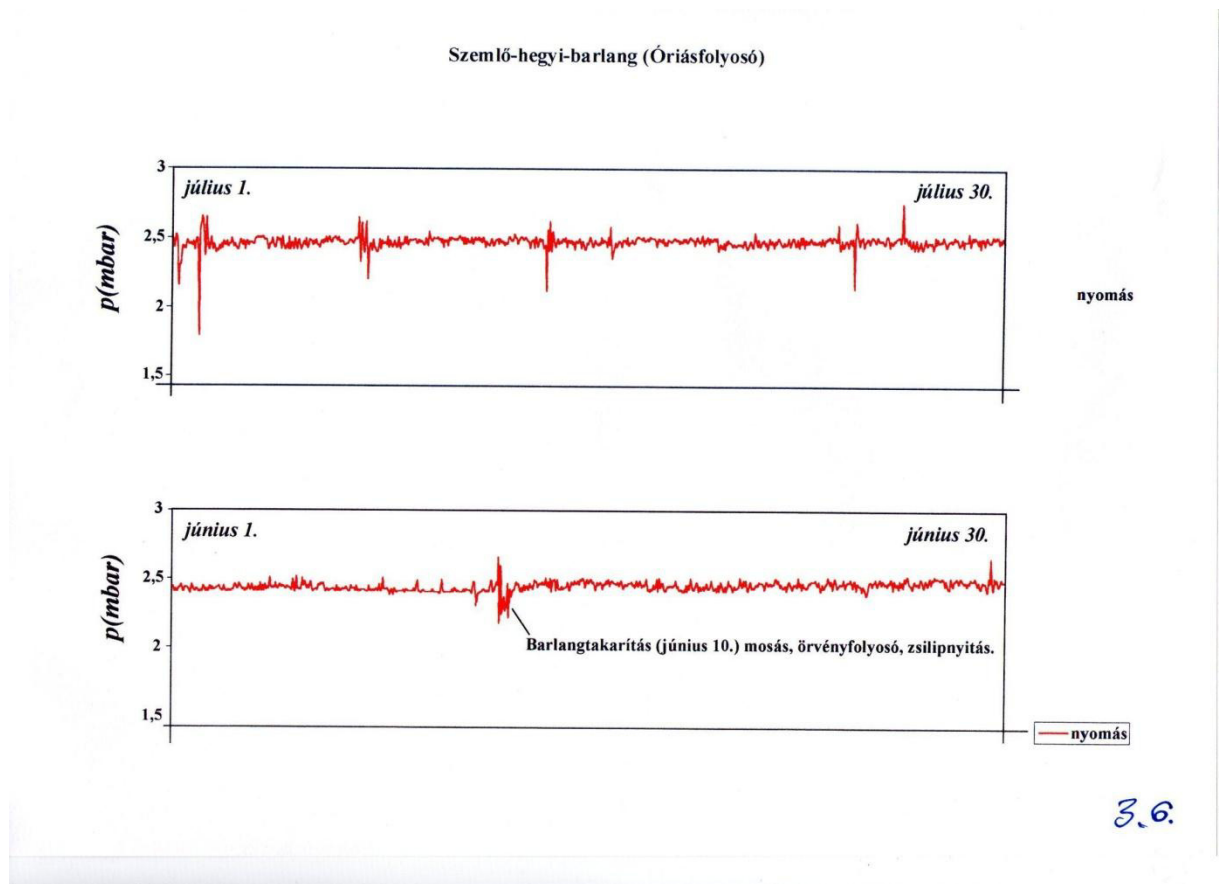
Elsőként a 13. ábrát nézzük, melyen a felszíni és a barlangi levegő hőmérsékletének augusztusi változását hasonlíthatjuk össze. A látványos görbén érzékelhető, hogy a felszín szélsőségei csekély mértékben fejtik csak ki hatásukat a barlang belső szakaszára. Az adatok 2008-ban kerültek legyűjtésre és a Barlang u. 10. sz telek felszíni hőmérséklete lett összehasonlítva az Óriás-folyosó Gyémánt-fülkéjének klímájával.



13. ábra: a felszíni hőmérséklet és a barlangi hőmérséklet változásának összehasonlítása 2008 augusztusában

A felszíni időjárás szélsőségei (légnyomás-változások, szeles idő, hőmérséklet) csekély mértékben ugyan, de hatással vannak a barlangra is, ennek szemléltetésére mutatom be a 14. ábrát, amely egy a felszínre kivezetett merev-falu PVC-csőön keresztül a Gyémántfülkébe elhelyezett klíma monitoring állomás nyomás-szenzorába

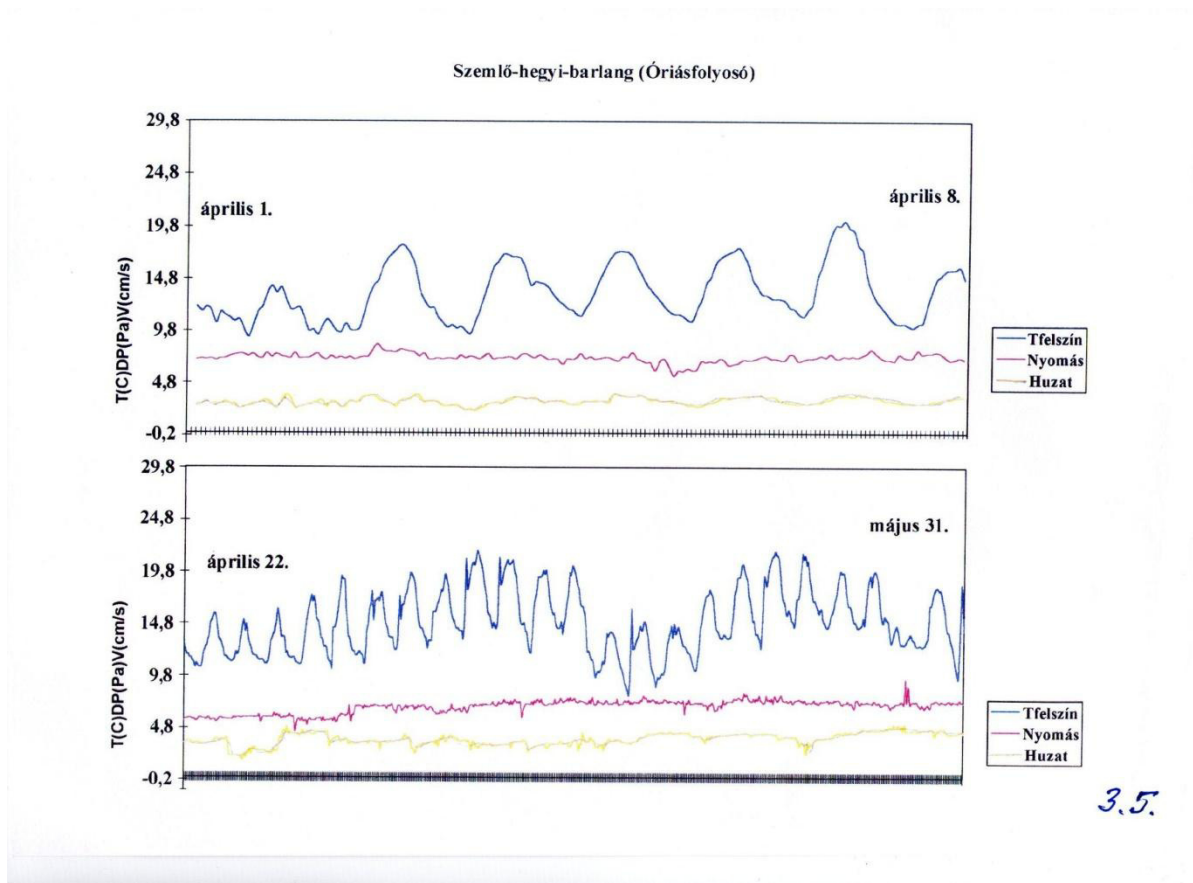
szállította a felszíni légnyomást. Ezzel a módszerrel a különbségi nyomás (felszín / barlang) értéke volt rögzíthető (korábban hasonlóan a Vass Imre-barlangban Gádoros Miklós és Kérdő Péter végeztek el).



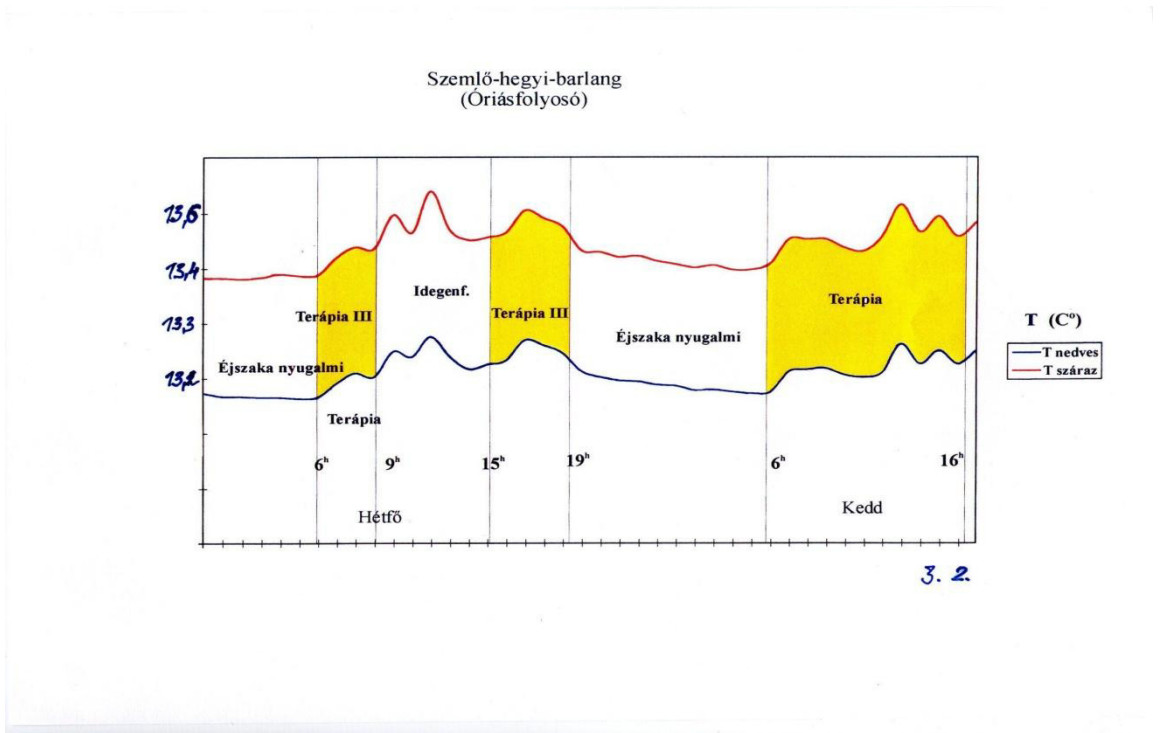
14. ábra: a felszíni és a barlangi légnyomás különbsége 2008. június-július havában

Az ábra felbontásából nehezen kivehető, hogy a legnagyobb szélsőségek értéke sem haladja meg az 50 Pa nyomáskülönbséget. Az átlagos ingások értéke jellemzően 5...10 Pa közé esett és tetten érhető volt egy június 10.-ei barlangtakarítás, amikor az Örvényfolyosó ajtaját kinyitva a légmozgás felerősödött és a légnyomás különbsége +/- 25 Pa között ingadozott.

A légnyomás változását a felszíni hőmérséklet függvényében a 15. ábra mutatja be, melynek további érdekessége, hogy megjelenítettük a légáramlást is, az Örvényfolyosóban elhelyezett hődrótos áramlásmérő szenzor segítségével. A zárt ajtók mellett rögzített légnyomás-változások +/- 10 Pa között maradtak, míg az áramlási sebesség a keresztmetszet felső harmadában (kb. 1 m² felületen) 10...20 mm/s között mozgott. Az eredményeket 2007. április 1-8. között 1 hetes időszakban, majd április 22.- május 31. között több mint 1 hónapos időszakban rögzítettük. Mindkét időszak az átmeneti légkörzést jellemzi, amikor napi szinten változik a légáramlás iránya a barlang és a felszín között.



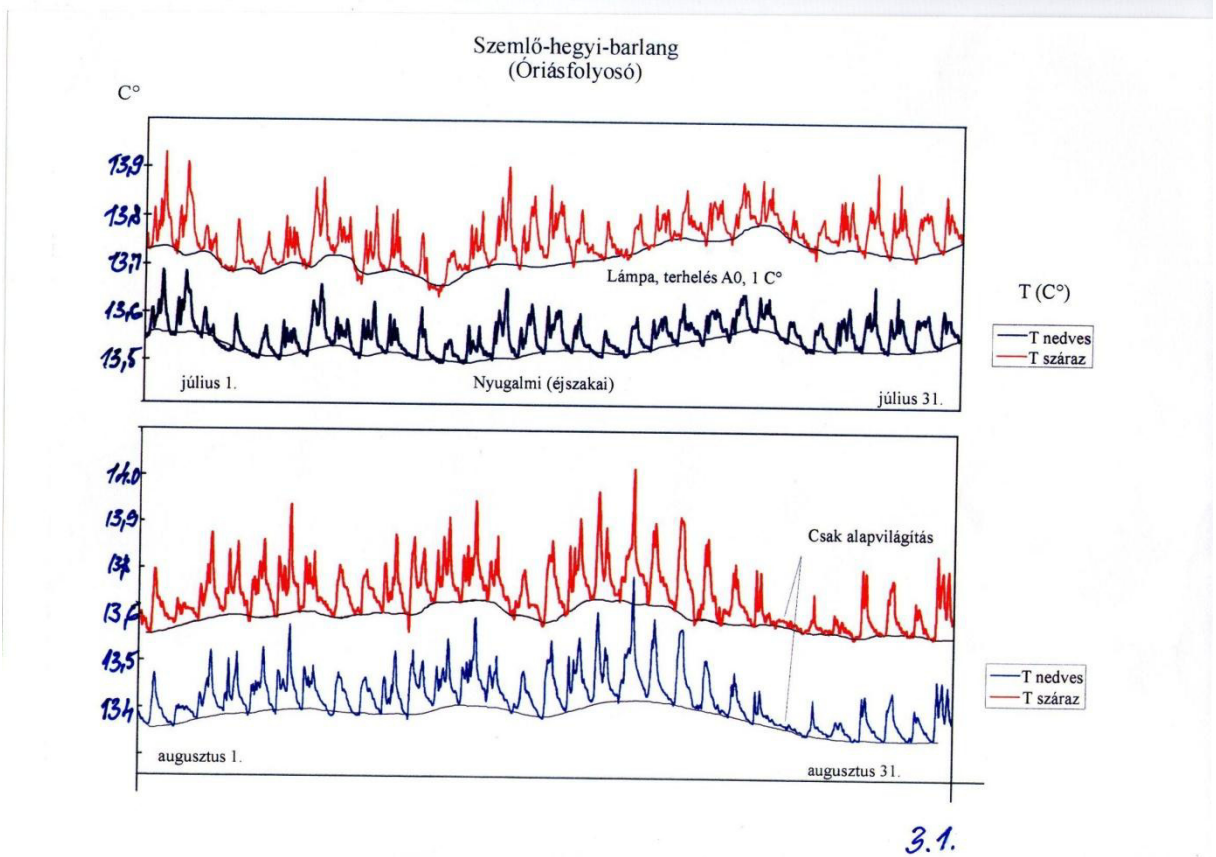
15. ábra: a felszíni léghőmérséklet hatása a barlangi légnyomásra és a huzatra



16. ábra: száraz- és nedves-hőmérsékletek 48 órás regisztrátuma az Óriás-folyosóban

A 16. ábrát Kiss Jenő látta el a Terápia szempontjából meghatározó időpontokkal, így nyomon követhető az Terápia és az idegenforgalom hatása az Óriás-folyosó Karzatának klímájára. Az adatok 2007 júliusában kerültek rögzítésre.

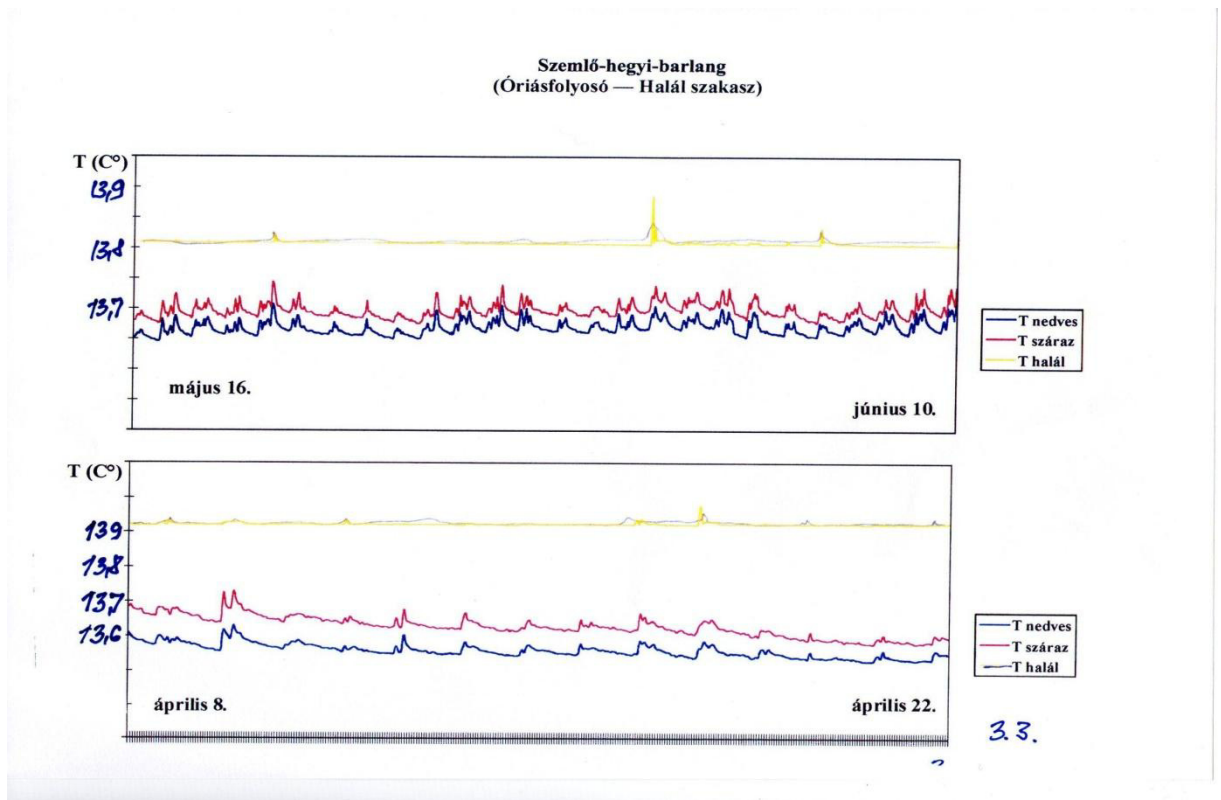
Az Óriás-folyosó Karzatának száraz-és nedves hőmérséklet-értékeit 2007 nyarán, 2 x 1 hónapos időszakot átölelve a 17. ábra mutatja be.



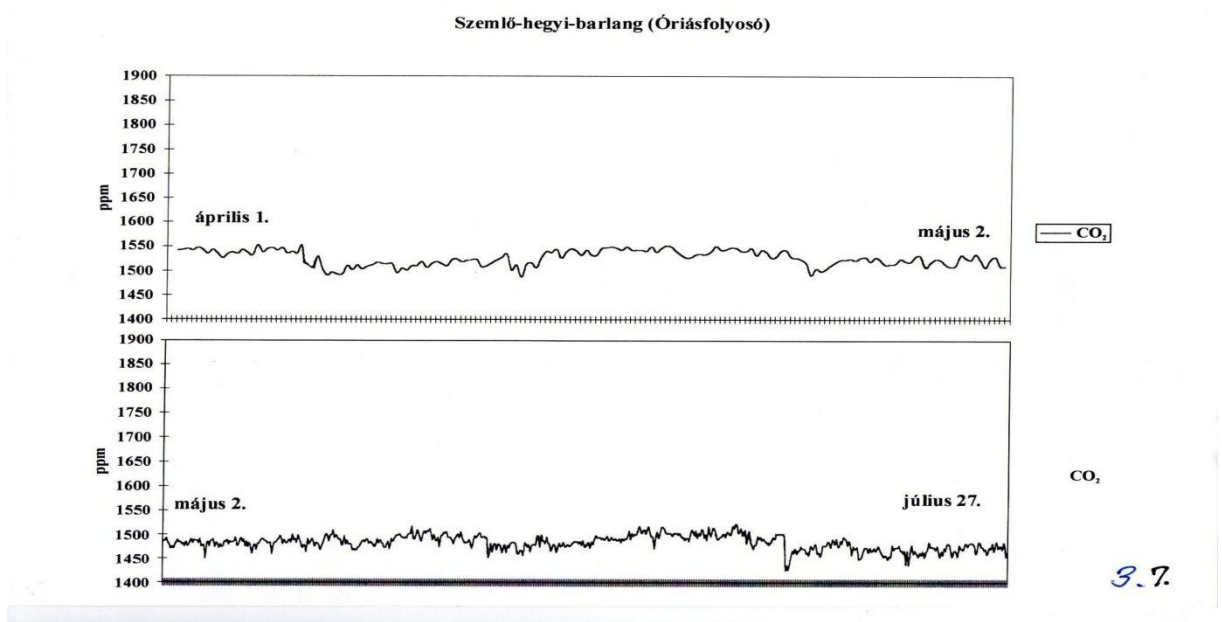
17. ábra: az Óriás-folyosó Karzatának hőmérsékletei 2007 nyarán

2007. augusztus 20.-án sem idegenforgalom, sem terápia nem volt a barlangban, így elmaradt a napi hőingás, melyet láthatóan az antropogén behatás eredményez. Lényeges és leolvasható, hogy a melegfényű reflektorok is 0,1 °C-ot emelnek a barlang léghőmérsékletén, így ha nincs világítás és látogatás, akkor a napi hőingás 0,2 °C-os értéke is elmarad.

A 2000-es évek elejétől a barlangban jelentős kutatási tevékenység indult be, melynek egyik fontos pontja a Halál-keresztfolyosó aknájának és a hozzá tartozó Gipszteremnek a kibontása volt. Megindult az ismeretlen alsó járatokból a feláramlás, ami a barlangszakasz látványos felmelegedéséhez vezetett. A 18. ábra 2007 nyarán bemutatja a halál-keresztfolyosó és az Óriás-folyosó hőmérsékleteinek összehasonlítását, melyről nem csak az olvasható le, hogy a két járatrész között 0,2 °C hő-különbség van, de az is látható, hogy az idegenforgalomtól és Terápiától távolodva a napi hő-ingások is megszűnnek.



18. ábra: a Halál-keresztfolyosó és az Óriás-folyosó hőmérsékleteinek összehasonlítása



19. ábra: a teljesség kedvéért ebben a fejezetben mutatom be az Óriás-folyosóban 2007 április-július közötti időszakban rögzített CO_2 értékeket, mivel ezek is a számítógépes klímamonitoring által lettek megmérve. A hővezetési szenzor által rögzített adatok 1000 ppm-el alatta maradnak a később NDIR-módszerrel megmért pontos értékeknek

2. Részecske-szám és átmérő meghatározások

2.1 Részecskeszám-mérés a Szemplő-hegyi és a Molnár János barlangban (2013.12.19.-20. és 2014. 01. 23.)

A Levegő-munkacsoport jóvoltából, Lenkei Péter segítségével Magyarországon korábban nem alkalmazott vizsgálati módszerrel és eszközzel levegőmintában található részecskeszámot vizsgáltunk 0,02...1 mikrométer tartományban. A részecskeszám értéke 1 cm³ levegőre vonatkoztatott, így tüdők átlagosan 500 cm³ légzéstérfogatára valamennyi érték 500-szorosa jut. Az alkalmazott berendezés típusa: TSI-P-TRAK ULTRAFINE PARTICLE COUNTER, Model 8525.

A vizsgálatot Stieber József vezette, a berendezést Lenkei Péter kezelte.

Segítőink voltak: Horváth Á. Katalin, Stieber Bence és Stieber Balázs.

<u>Mérési pont neve</u>	<u>Részecskeszám</u>	<u>Megjegyzés</u>
Felszínen	10 500-13 000	Pusztaszeri út 35. sz előtt
Ferencvárosi terem	1 870-2 600	behúzó légáramlat a felszínről
Pettyes folyosó a hídnál	986-1 400	keveredésizóna
Pettyes folyosó végében	430-520	ide csatlakozik be az ismeretlen barlang
Pettyes feláramlási kürtő	1 560-1 580	Gyöngyös-folyosóval összeköttetésben
Karácsonyfák (Hosszú-f)	1 350-1 400	befelé áramló
Mária-terem	1 240-1 260	befelé áramló
Liftakna aljában	1 210-1 230	Agyagos és Hosszú folyosó találkozása
Kuszoda alatt Hosszú-kerülőn	890-900	befelé áramló
Óriás-folyosó Karzat	817-835	kifelé áramló
Örvény-f. Zászlós-folyosónál	1 300-1 320	kifelé áramló
Örvény-f. Egyetemi kürtőnél	810-860	Kifelé áramló huzatban
Óriás-f. Létra alatt	640-650	kifelé áramló
Óriás-f. Létra alatti feláramlás	330-420	ide csatlakozik be a Molnár J. bg. Levegője
Halál-kereszt. Akna felett	240-250	kifelé áramló
Halál-aknában	222-247	ide csatlakozik be a Molnár J. bg. Levegője
Hópalotában	190-193	nincs huzat
Hópalota hasadékában	12-16	teljesen leárnyékolt repedésben
Hópalota jobb hátsó sarkában	4-7	teljesen leárnyékolt repedésben
Föld szívében	35-40	nincs huzat

Első vizsgálatunk alkalmával feltűnt, hogy a kiépített szakasz értékei jóval magasabbak, mint a létrán-túl. Szembetűnő, hogy a felszíni levegőben található szennyezőanyag-tartalom egészen az Óriás-folyosóig érezteti hatását, igaz itt a betegek bent tartózkodása is befolyásolhatta az értékeket. Kiemelném azonban, hogy a sokak által felszín-felé törekvőnek

gondolt (és korábbi aeroszol-összetételi vizsgálatainkkal megcáfolt) Pettyes-folyosó végében a kiépített szakasz legalacsonyabb részecskeszám-értékét mértük, ami kizárja a felszíni levegő ide történő behatolásának lehetőségét. A létrán-túl a barlang végpontja felé haladva az értékek fokozatosan csökkentek, annak ellenére, hogy ezen a szakaszon tucatnyi barlangász túrázott ebben az időben. Jól nyomon követhetjük azokat a helyeket, ahol nincs huzat, mely a szennyezőanyagokat vagy magát az aeroszoltól származó részecskéket hordozná (Hópalota hasadékaiban). Mivel a barlang főágában végzett mérés csak részleges képet adott, ezért 2014. január 23.-án azonos felszíni meteorológiai viszonyok mellett (ugyanabban az órában) folytattuk a vizsgálatot az Agyagos-folyosóban, melynek vizsgálati értékeit az alábbi táblázatban foglaljuk össze:

<u>Mérési pont neve</u>	<u>Részecskeszám</u>	<u>Megjegyzés</u>
Liftakna X Agyagos-f.	664-650	Liftaknába belógatva
Sárkürtő felső peremén	530-571	Liftaknától 8 m-re
Bányász-kürtő tetejében	430-470	2 méterre leengedve a Bányász kürtőbe
Bányász-kürtő keresztfolyosó	420-370	ez a járat a Gyerekjárat felé tart
Ferencvárosi-t. Agyagos-felé	440-450	A levegő innen érkezik a terembe
Ferencvárosi-t. Pettyes-felé	740-750	A levegő a felszínivel keveredve erre megy
Agyagos-gyerekjárat bejárata	470-510	A Ferencvárosi-terem felé eső bejárat
Agyagos folyosó közepén	480-560	A kis "Tó" közelében
Gyerekjárat-1. aknájában	500-570	A Ferencvárosi-terem felé eső akna
Gyerekjárat-6. aknájában	450-500	A Liftakna-felé eső utolsó akna
Agyagos folyosó Sárkürtőnél	490-510	Betegek kedvenc tartózkodási helye
Gyerekjárat vége a rácsnál	440-510	Sárkürtővel szemben
Lencse-t. lejárataiban	425-430	Bányász-kürtő 2. lejárataiban
Lencse-t. -2m belógatva	140-250	A terembe vezető 200 mm-es PVC csőben
Agyagos folyosó végében	410-470	Egyetemi-kürtő alatt
Agyagos-f. Szifon-lejáró	370-410	Ide csatlakozik az Egyetemi-kürtő alja
Sárkürtő aljában	420-450	Gyöngyös-folyosó bejáratában
Gyöngyös-folyosó közepén	340-390	A fellépő alatt, a Mária-terem mögött

Az eredményekből szembetűnő, hogy azok sokkal kisebb szórást mutatnak, mint a Fő-ági mérések. Kiugróan alacsony értéket csak a légáramlástól elzárt lencse-teremben mértünk és meglepő, hogy a mérés pillanatában is 5 ember által járt Gyöngyös-folyosóban szintén alacsony értékek születtek (ugyanaz az Agyagos-folyosó Szifon-lejárójára is érvényes). Mielőtt még azon gondolkodnánk, hogy vajon csak a felszínről beáramló vagy a ruhákon behordott szilárd-szennyeződések láthatjuk, nézzük meg a 2013. 12. 20.-án este, a Molnár János-barlangban mért értékeket (a vizsgálatot Dr. Leél-Őssy Szabolcs vezette):

<u>Mérési pont neve</u>	<u>Részecskeszám</u>	<u>Megjegyzés</u>
Szabadban	9 340-10 200	Tk: 0,9°C, enyhe szél, Pa: 1016,4 hPa
Tároló végében	5 180-5 200	A bejáraton befelé húzó légáramlat
Kessler-t. a Tó-felett	4 300-4 500	CO2: 2040 ppm, Tvíz: 27°C

Annak ellenére, hogy a röptető-nyíláson kis mértékben, de befelé áramlott a felszíni levegő, már a táró elején 21,5°C volt a hőmérséklet. A felszínen mért részecskeszám csaknem felét mértük a táró végében, mely érték 10%-ban csökkent csak a Tó felett. A Tó vízhőmérsékletéből adódóan állandóan páras levegő tölti ki a termet, mely igen kedvez az aeroszol képződésének és helyenként kiválásokat is alkot. A Tó vizének pH értéke a vizsgálat alatt 6,44 volt, míg az elektromos vezetőképessége 1120 μScm^{-1} értéknek adódott. A Ca és Mg oldott anyag tartalma meghaladta a 300 mg/l értéket. Ez magyarázza a magas részecskeszám-értéket, mely nem más, mint a Tó-felszínéről kipárolgó aeroszol.

2.2 Az aeroszol szilárd részeinek fizikai méret- vizsgálata speciálisan erre kifejlesztett lézeres berendezéssel

2.2.3 Mérési módszer és mintavétel: az LPM-02 gyártmányú lézeres pormérő berendezés saját mintavevő pumpát tartalmaz, mely folyamatosan öblíti a mintagázzal az 1 cm³-es méretű mérőkamrát, így maga a mintavétel folyamatos. A mérőkamrát pásztázó lézertény útjába kerülő szilárd részecskéket (por) a berendezés megszámlálja és frakcionálja 0,3 - 0,5 – 1 - 2,5 - 5 és 10 mikronos tartományban, majd ezen értékekből kiszámolja az összes por értéket PM 1, PM 2,5 és PM 10 tartományban.

Főbb egységek: Mintavevő pumpa, lézeres mérőkamra, MPX-egység, Hőmérséklet és páratartalom-korrekciós egység, adatfeldolgozó egység, színes LCD-kijelző egység, tápegység, Li-Ion akkumulátor, ütésálló védőburkolat, dátumozó és óra-egység

A berendezést több alkalommal teszteltük vízesések, intenzív csepegések vagy vegyszeres lámpaflóra-irtás folyamata közben, ahol a nedves aeroszol rövid-idejű megnövekedését is azonnal és pontosan sikerült detektálnunk.

2.2.4 Az eredmények értékeléséhez szükséges az alábbi mért értékek magyarázata:
>0,3 mikron = 0,3 mikrométernél nagyobb részecskék darabszáma 1 cm³-ben
>0,5 mikron = 0,5 mikrométernél nagyobb részecskék darabszáma 1 cm³-ben
>1 mikron = 1 mikrométernél nagyobb részecskék darabszáma 1 cm³-ben
>2,5 mikron = 2,5 mikrométernél nagyobb részecskék darabszáma 1 cm³-ben
>5 mikron = 5 mikrométernél nagyobb részecskék darabszáma 1 cm³-ben
>10 mikron = 10 mikrométernél nagyobb részecskék darabszáma 1 cm³-ben
PM 1,0 = 1 mikrométernél kisebb részecskék koncentrációja mikrogram/m³-ben
PM 2,5 = 2,5 mikrométernél kisebb részecskék koncentrációja mikrogram/m³-ben
PM 10 = 10 mikrométernél kisebb részecskék koncentrációja mikrogram/m³-ben

Tehát a >0,3 mikron tartományba az összes részecske száma (beleértve az 1 mikron alatti ultrafinom részecskéket is) megmutatkozik, míg pl. a >10 mikron tartományba már csak a 10 mikronnál nagyobb (szállópor, permetlé vagy pollenek) részecskék

tartoznak. Ezzel szemben a PM 1 azt a mikrogram/m³-ben kifejezett koncentrációt mutatja, amely az 1 mikronnál kisebb átmérőjű (ultrafinom) részecskékre vonatkozik.



20. ábra: az LPM-02 berendezés barlangi mérés közben

Helyszín	>0,3 mikron	>0,5 mikron	>1 mikron	2,5 mikron	>5 mikron	>10 mikron	PM 1,0	PM 2,5	PM 10
Agyagos-folyosó	786	245	55	2	0	0	3	8	8
	1302	393	84	7	2	0	7	12	13
	1302	390	101	14	6	2	7	12	17
Óriás-folyosó karzat	711	218	42	11	4	4	4	6	9
	612	185	43	4	2	2	3	6	7
Halál-kereszt- folyosó	639	186	37	10	8	4	2	4	9
Hópalotában	726	228	118	75	20	4	3	17	29
	648	197	90	31	22	9	2	8	23
	765	228	97	28	17	9	3	9	22
Csengő-teremben	936	276	111	36	16	9	4	12	24
Kadić-teremben	453	134	42	20	9	4	2	5	11
Ferencvárosi- terem	1106	287	54	6	0	0	4	8	9
	1020	305	88	20	8	2	5	9	16
	1251	356	74	16	6	0	6	11	14

21. ábra: 2018. december 22.-én történt mintavétel eredményeinek összefoglaló táblázata

3 A Szemlő-hegyi barlang, mint nyomásvezérelt barlangtípus működésének vizsgálata

3.1 Előzmények

1994 óta folytatok rendszeres barlangklimatológiai méréseket, megfigyeléseket a Szemlő-hegyi barlangban. 2010 óta „nagy-térfogatáramú” aeroszol mintavevővel végrehajtott PM10 frakció szilárdanyag-tartalmának mintavételét rendszeresítettem havi szinten, a barlang több pontján. Ennek keretében a mintavétel helyén az alap-klíma paramétereit is regisztráltam, köztük a szén-dioxidot. Ahogy gyűltek az adatsorok, érdekes összefüggéseket véltem felfedezni, melyek alapvetően változtatták meg a Szemlő-hegyi barlangról kialakított korábbi klimatológiai modellt.

3.2 Alkalmazott műszerek jegyzéke

1 db Testo 535 tip. infravörös-abszorpciós CO₂ mérő, diffúziós mérőcellával a kontroll mérések elvégzésére

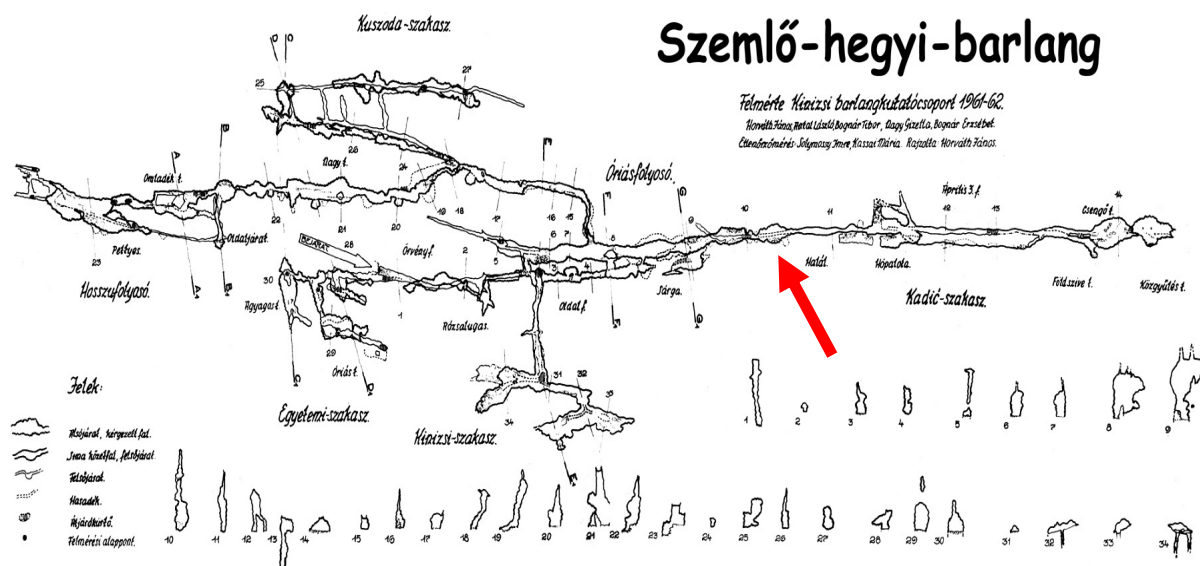
1 db AIR CO₂NTROL 3000 CO₂-mérőműszer a CO₂ és a hőmérséklet 24 órás adatgyűjtésére

1 db GTD 1100 Altimeter/Barometer, az abszolút-nyomás mérésére

1 db Testo 605-H1 digitális léghőmérő és páratartalom mérő a kontroll mérések elvégzésére

Az OMSZ adatbázisa a felszíni hőmérséklet és a légnyomás változásáról.

3.3 A mintavételre kijelölt pont bemutatása (22. ábra)



- A kijelölt mintavételi pontom a „Halál-keresztfolyosónál” volt, mivel korábbi vizsgálataim (és más kutatók egybehangzó véleménye alapján) itt jelentős aeroszol-feláramlást mutattak a ma még ismeretlen, mélyen fekvő járatokból.
- Rendszeres hőmérséklet és CO₂ mérésekkel azt is kimutattam, hogy nyáron intenzívebb a feláramlás, mint télen.
- A feláramlás intenzitása az aeroszol mennyiségében és összetételében is megmutatkozott.

3.4 A Molnár János- és a Szemlő-hegyi barlang levegős kapcsolata

Az ELTE Általános és Alkalmazott Földrajz Tanszékének kutatási programja keretében, Dr. Leél-Őssy Szabolcs felkérésére aeroszol-összetétel mérést végeztünk, melynek 24 órás nagy-térfogatú (30 Nm³/h) mintavételét automata eszköz (OH-611) telepítésével hajtottuk végre, amit a Kessler-terem tavanak bűvár depóján helyeztünk el.

A mintavételben Hartl János, Hartlné Izmini Zsuzsanna (03.29.), Stieber József és Stieberné Katlan Andrea (03.30.) vettek részt. A vizsgálat célja a Molnár János barlang primer légterének összehasonlítása a vele repedéshálózaton keresztül összeköttetésben lévő Szemlő-hegyi barlang „Halál-keresztfolyosójában” mért szekunder légtér értékeivel.

A vizsgálati eredményeket a 23. ábrán mutatjuk be.

A Molnár János-barlang mintavétele a Szemlő-hegyi-barlang két mintavételi időszaka közé esett. Február végén még a napi átlaghőmérséklet a barlangi alatt, míg április elején már fölötte volt, így a légáramlás iránya is megváltozott.

Láthatóan a Molnár János barlang aeroszol adatai az áprilisi Szemlő-hegyi-barlang eredményekhez hasonlítanak, amikor a keresztvasadékból megindult a feláramlás és az addig a Szemlő-hegyi-barlang légterének komponenseit a mélyből érkező levegő komponensei váltották fel.

A feláramlással a földkéreg alkotóelemeiből származó kalcium és magnézium koncentrációja lecsökkent a Molnár János- barlang szintjére, míg a vas koncentrációja a kétszeresére emelkedett. Az antropogén szennyezőkből ezzel szemben az ólom, a cink és a króm koncentrációja is a Molnár János barlang értékei alá csökkent, egyedül a réz emelkedett közel duplájára.

Vizsgált komponens	Molnár János bg. 03.29-30. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Szemplő-hegyi bg. 02.28-29. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Szemplő-hegyi bg. 04.04-05. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
kadmium	<0,002	<0,002	<0,002
kobalt	<0,002	<0,002	<0,002
króm	<0,003	0,014	<0,003
réz	1,007	0,896	1,847
vas	1,050	0,519	0,994
magnézium	0,677	4,74	0,335
mangán	<0,0003	0,004	<0,0003
molibdén	<0,003	<0,003	<0,001
nikkel	0,003	0,003	<0,003
ólom	0,009	0,008	0,004
ón	0,001	0,016	<0,001
cink	4,321	4,937	3,377
kalcium	6,987	12,272	6,682

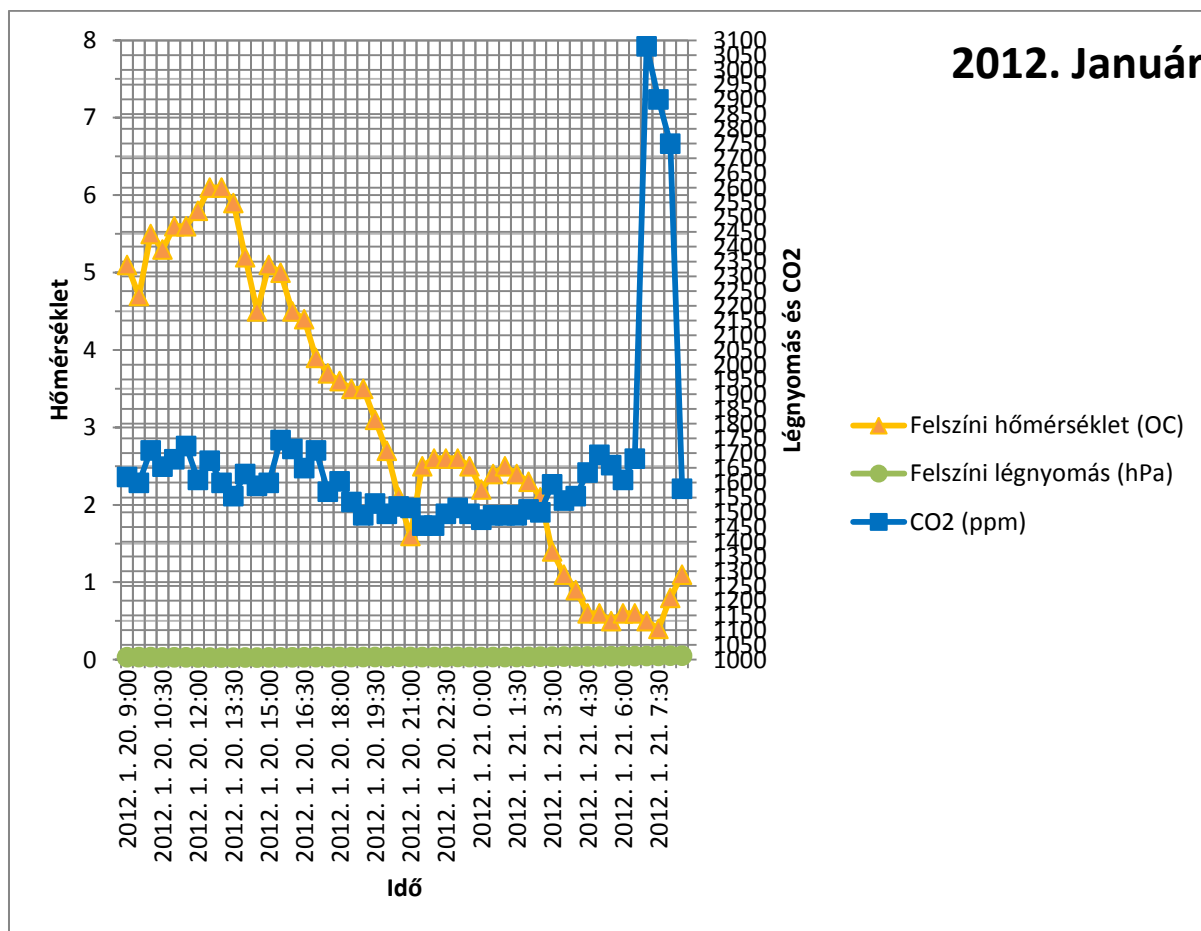
23. ábra: A Molnár János barlang és a Szemplő-hegyi-barlang közel egy időben történt aeroszol mintavételeink fém-tömegei a mintákban

3.5 A Szemplő-hegyi-barlang szén-dioxid feláramlásai a felszíni légnyomás és a felszíni hőmérséklet függvényében (havonta elvégzett 24 órás regisztrálás eredményeiből)

3.5.1 CO₂ csúcsok reggelente, január-február hónapban

- A 24-25-26-27. ábrán látható CO₂ csúcsok reggel 7 és 8 óra között keletkeztek, amikor a légúti terápiára érkező betegek egymás után nyitogatták a „Lejtős-akna” felső és alsó ajtaját.
- Téli légközrést tapasztalunk: a hígító-levegő a felszínről a lezárt barlang repedésein keresztül próbál bejutni, így a barlangi CO₂ az éves minimum értékére csökken.

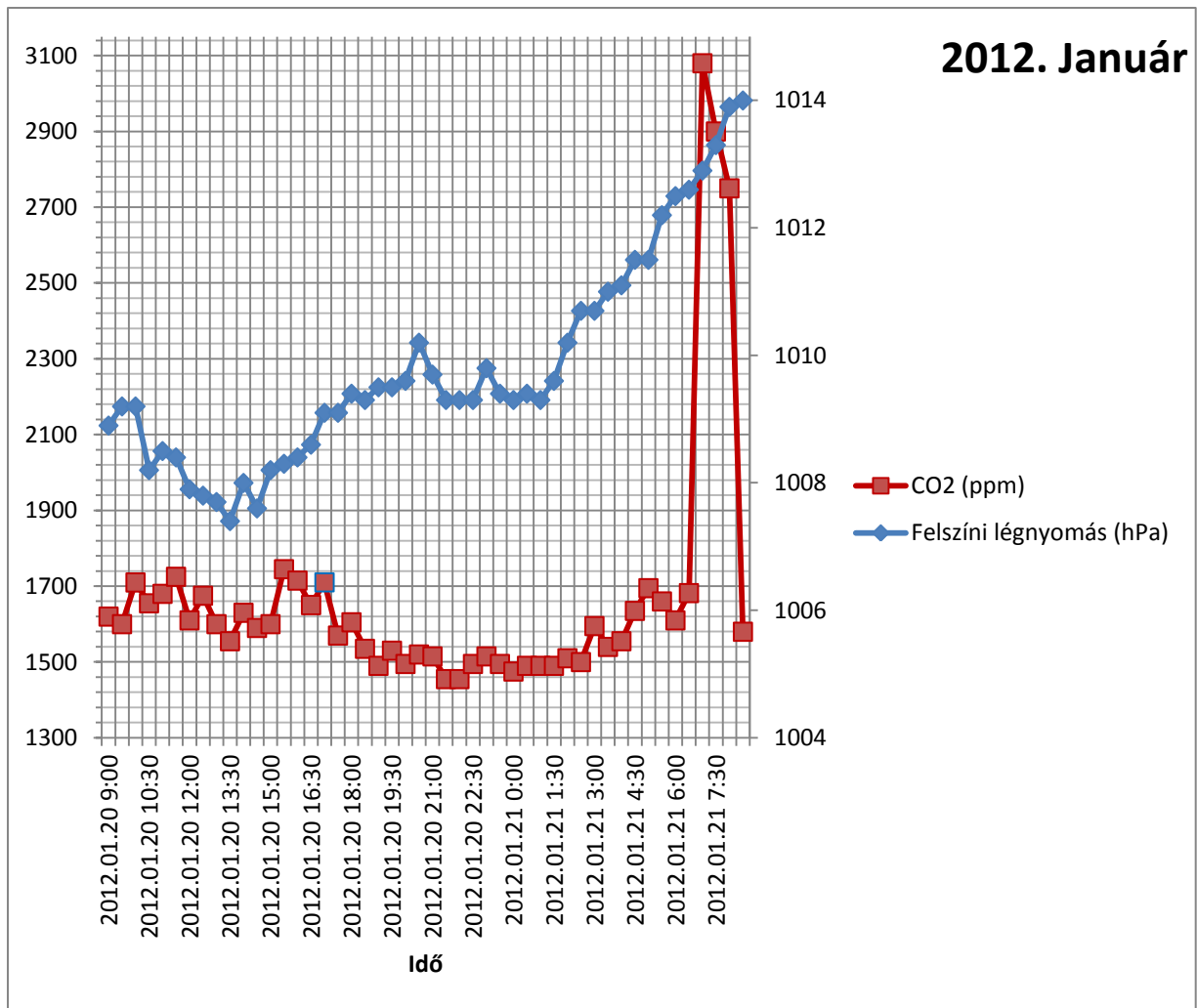
- A januári felszíni, sűrű-hideg levegő nyomásnövekedést okoz a barlangban, mely az „Agyagos-folyosó” aknáiba betődülve a mélyebben fekvő járatrészekből szén-dioxidot pumpál a magasabban fekvő kürtökbe.



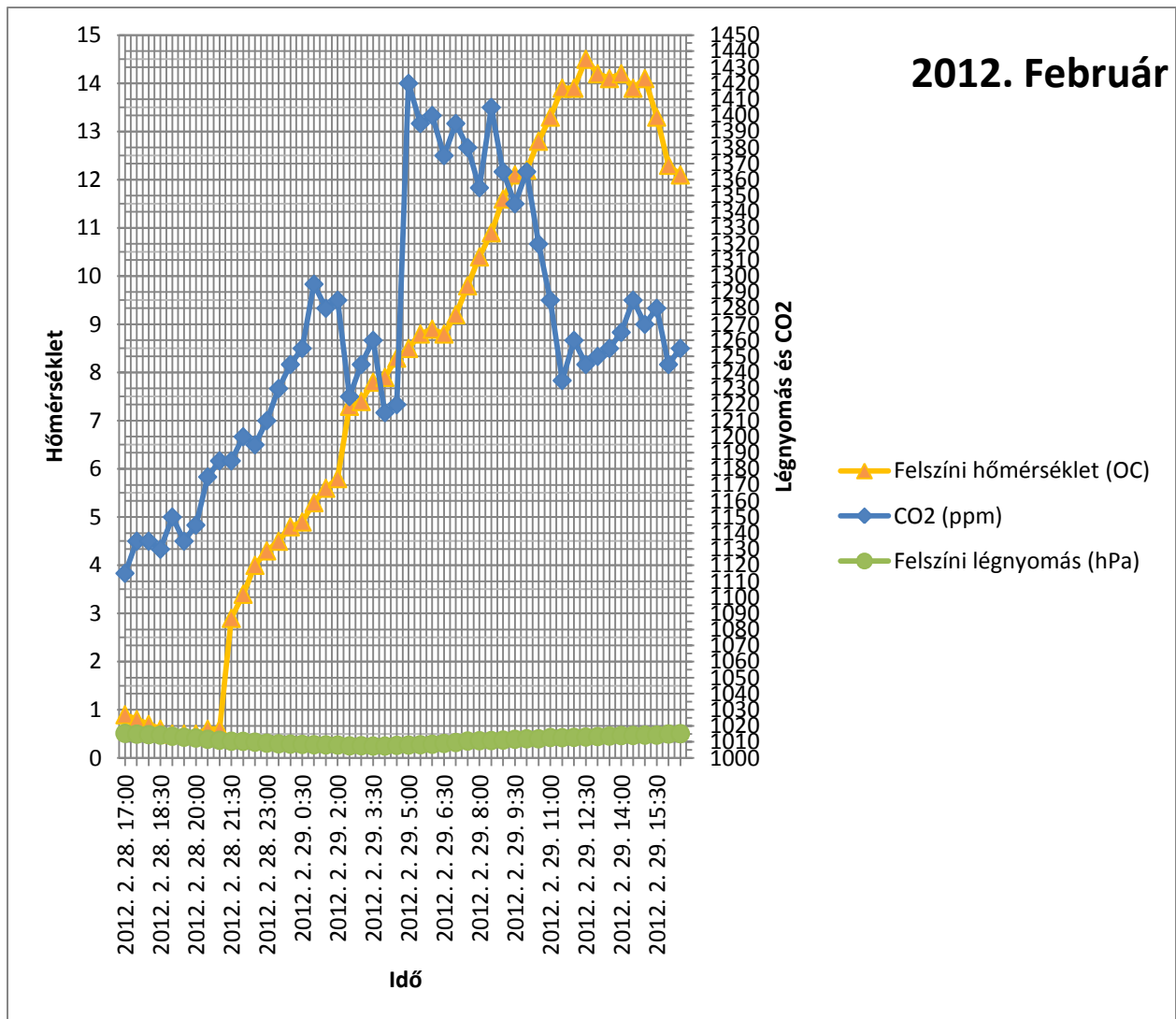
24. ábra: januári CO₂ napi görbe a felszíni hőmérséklet függvényében

Felmerül a kérdés, hogy miért nem követte a légnyomást a CO₂ a délelőtti folyamán?

- A 24. és 25. ábrán látható, hogy az éjszaka folyamán még erős korreláció mutatkozott a légnyomás és a CO₂ között, de ez a délelőtti folyamán teljesen felborult. Nem volt szeles, esős idő, ami a kőzetpedéseken keresztül a felszíni levegő beáramlását befolyásolta volna.
- A légnyomás csökkenésével kevesebb felszíni levegő jut a barlangba, tehát a CO₂ megemelkedik.
- Ha megnézzük a 24. ábrát azt látjuk, hogy a második nap délelőttjén a felszíni hőmérséklet a barlangi hőmérséklet átlagértékére emelkedett, mely még nem elegendő a légközés irányváltásához, mert a légnyomás erőteljes növekedése enyhe felszíni levegő beáramlást okoz.



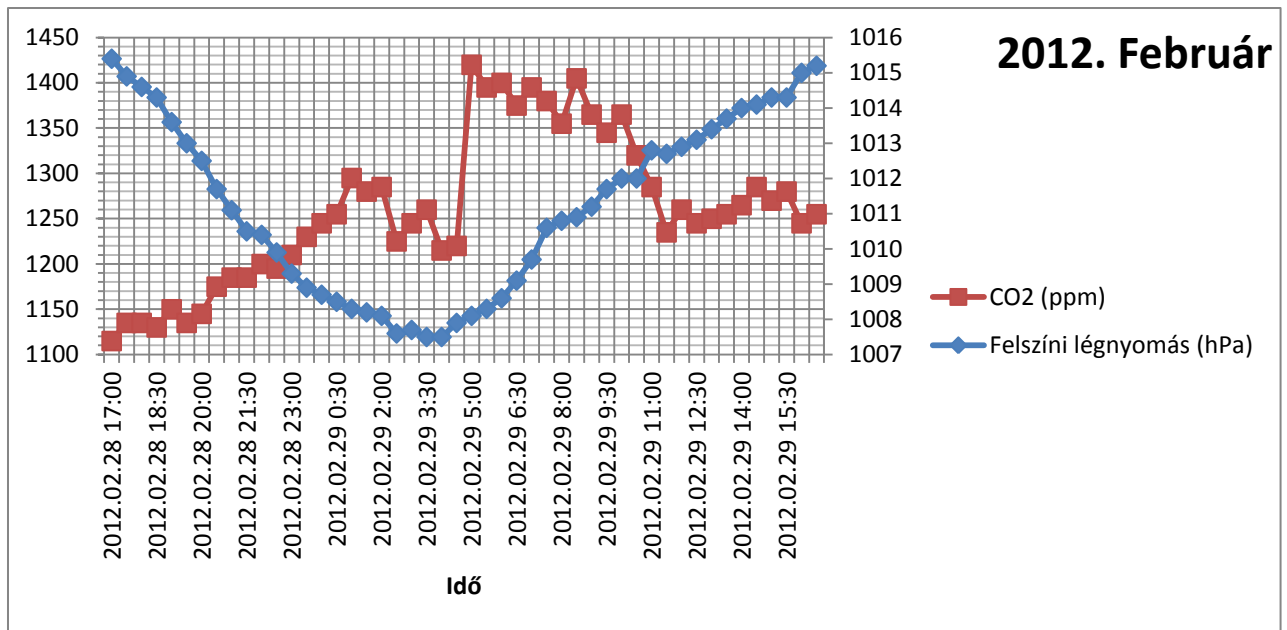
25. ábra: januári CO₂ napi görbe a felszíni légnyomás függvényében



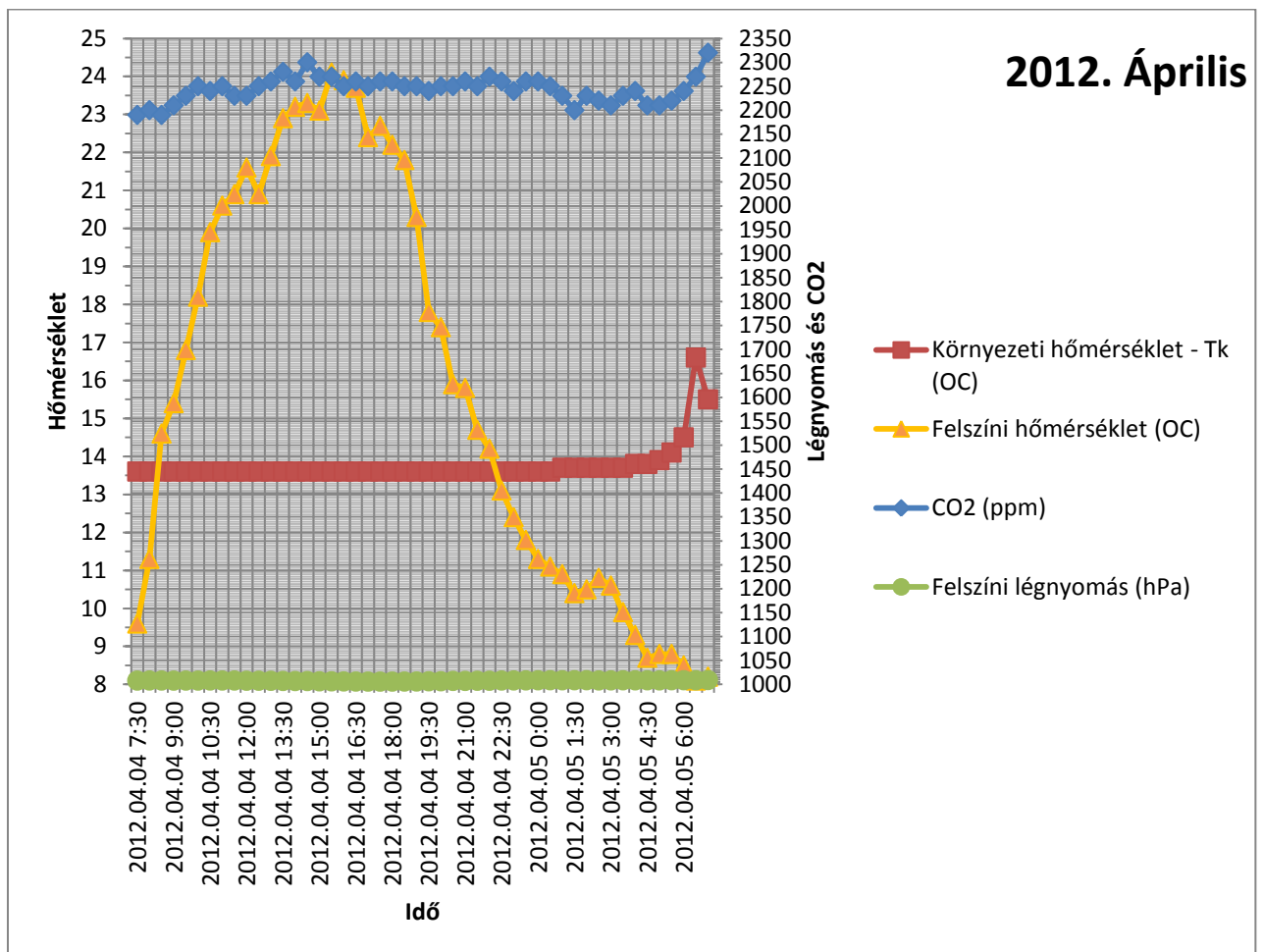
26. ábra: februári CO₂ napi görbe a felszíni hőmérséklet függvényében

3.5.2 Látszólag összefüggéstelen állapotok áprilisban

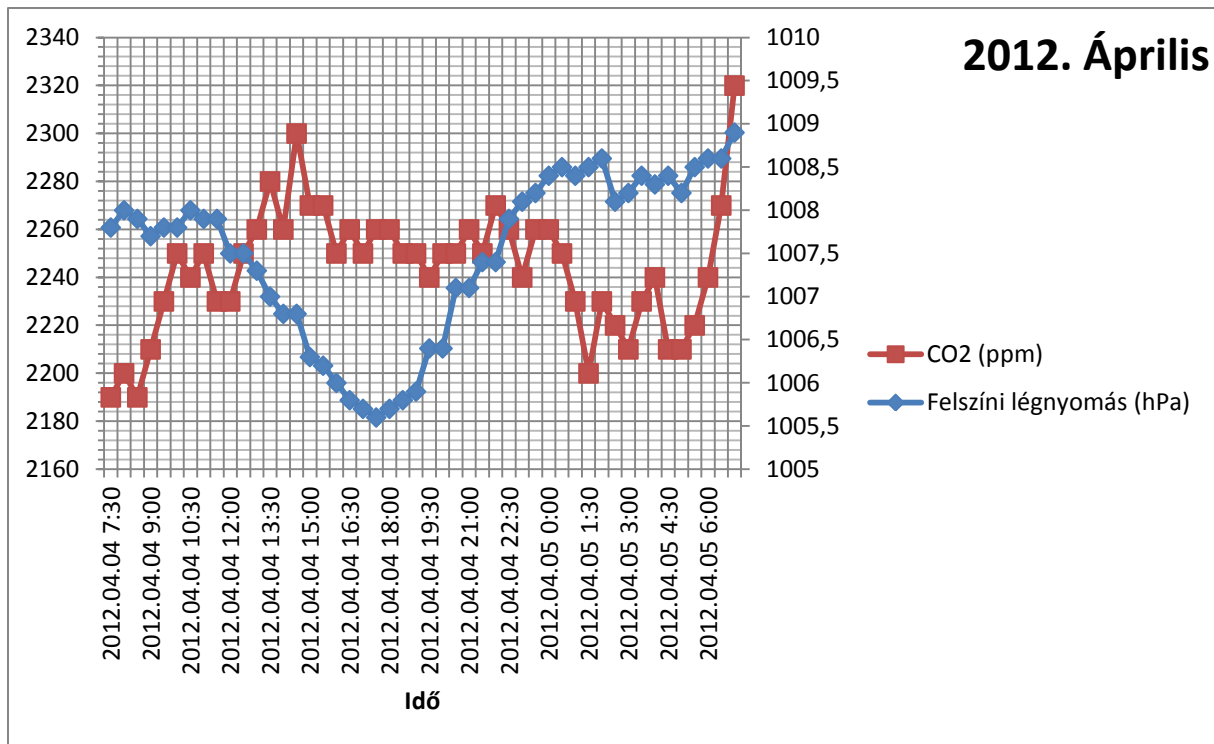
- A 26. ábrán láthatóan a barlangi CO₂ a felszíni légnyomással fordított változást mutat: a légnyomás csökkenése a CO₂ emelkedéséhez vezet. A második nap reggelén azonban a CO₂ szintjében váratlan emelkedés következik be, melyet a barlangi hőmérséklet is követ.
- Napközben a felszíni levegő átlaghőmérséklete a barlangi levegő átlaghőmérsékletét meghaladja, a mélyből CO₂ áramlik a barlangjáratokba.
- Amikor azonban a felszíni hőmérséklet átlagértéke a barlangi hőmérséklet átlagértéke alá csökkent és a tavaszi szünetnek köszönhetően a kora reggeli barlangajtó-nyitogatások száma megnövekedett, a barlangban a légnyomás megnőtt és az a mélyebben fekvő járatokból felpumpálta a CO₂.



27. ábra: februári CO₂ napi görbe a felszíni légnyomás függvényében



28. ábra: áprilisi CO₂ napi görbe a felszíni hőmérséklet függvényében



29. ábra: áprilisi CO₂ napi görbe a felszíni légnyomás függvényében

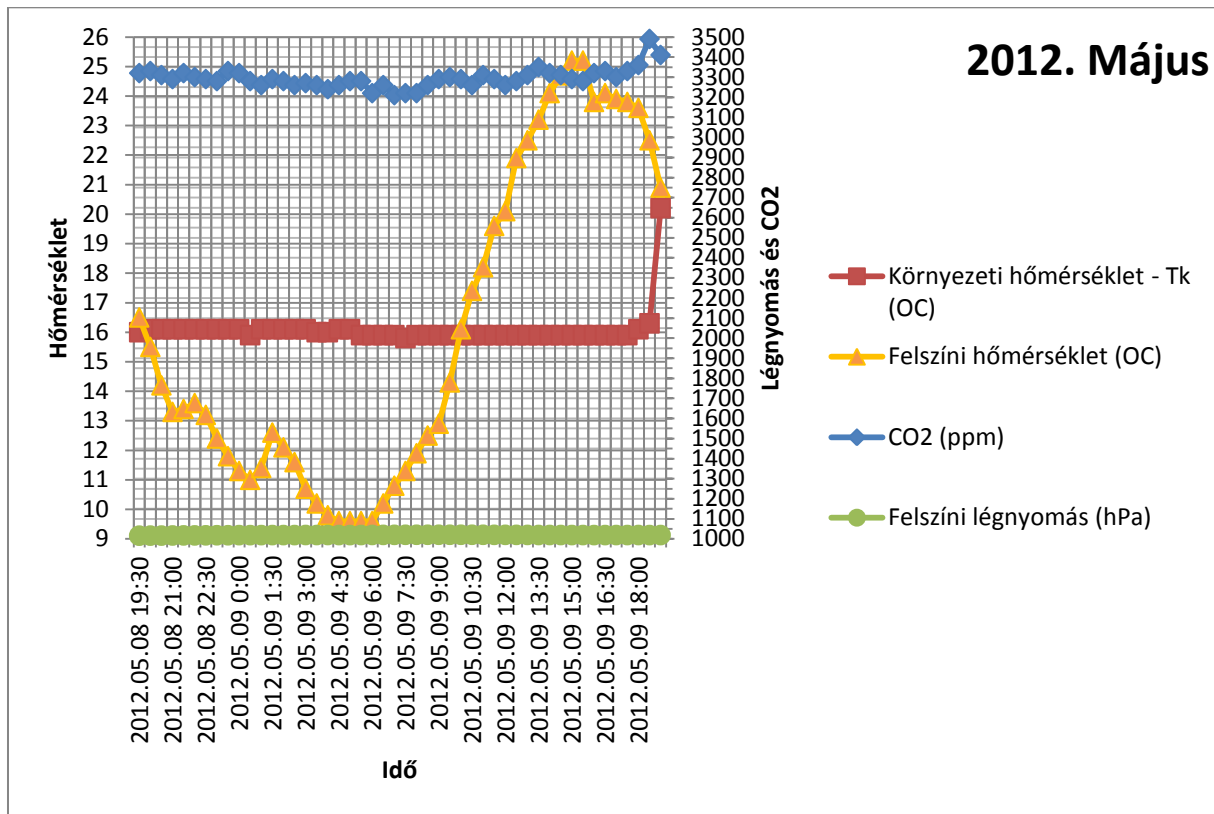
3.5.3 Megmutatkoznak az ajtó-nyitogatás jelei a májusi CO₂ napi menetben

- Májusra szépen beáll a rend (éjszakai lehülésben a barlang átfordul és a felszíni levegő a repedéseken befelé áramlik, majd nappali felmelegedésben a légközés megfordul és elindul a mélyből a CO₂ felfelé), a felszíni légnyomás visszatartja a mélyből feltörekvő CO₂-t (29. ábra). Estére azonban a CO₂-ben és a hőmérsékletben is komoly emelkedés mutatkozik. Joggal tesszük fel a kérdést: mi történhetett?
- Május 9.-e szerda este az a nap volt, amikor a betegek a barlangból kifelé távoztak, helyükbe pedig barlangászok érkeztek a szokásos szerdai „kutatónapra”.
- Az ajtó tárva-nyitva, a légnyomás folyamatos esésben, de a felszíni hőmérséklet még nyári légáramlási irányt generál: minden akadály elhárult a mélyben lappangó CO₂ előtt és a nyitott ajtónak köszönhetően gőzerővel áramlott kifelé, jelentős mennyiségű meleg levegőt ragadva magával.

3.5.4 Nyári légközés fordított nyomásvezérléssel júniusban

- A nyári légközés (amikor a felszíni hőmérséklet a barlangi fölött marad) júniusban fordított nyomásvezérlést hozott: a nyomás csökkenés CO₂ csökkenést, míg a nyomás növekedés CO₂ növekedést okozott. Ezt a jelenséget láthatjuk a 30. és a 31. ábrán.

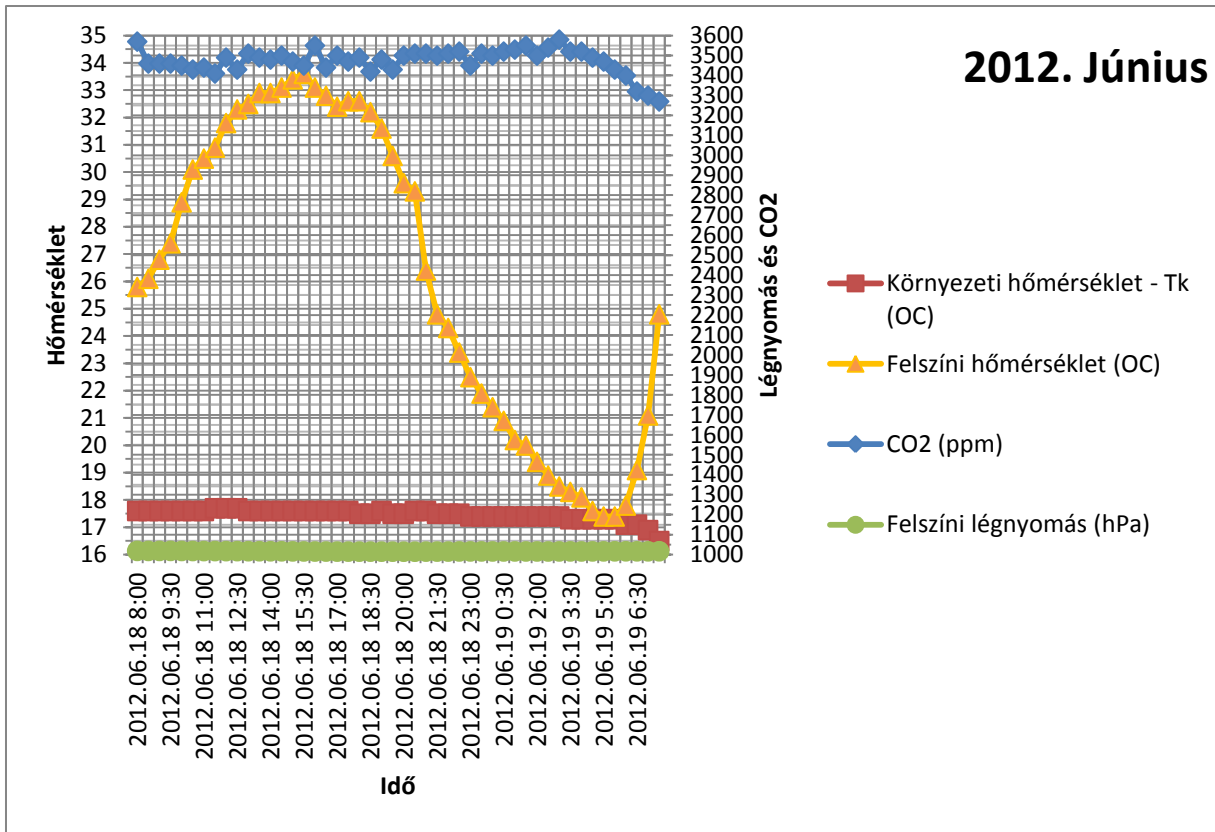
- Amikor a felszíni hőmérséklet értéke lecsökkent a barlang átlaghőmérsékletére, a feláramlás megszűnt és a CO₂ értéke drasztikusan lecsökkent.
- Láthatóan a CO₂ értékét a felszíni nyomás úgy szabályozza, hogy nem közvetlenül a Szemlő-hegyi-barlang járataira hat, hanem a CO₂ forrására (egy sokkal nagyobb rendszerre), ahonnan felpumpálja a CO₂-t a Szemlő-hegyi-barlangba.



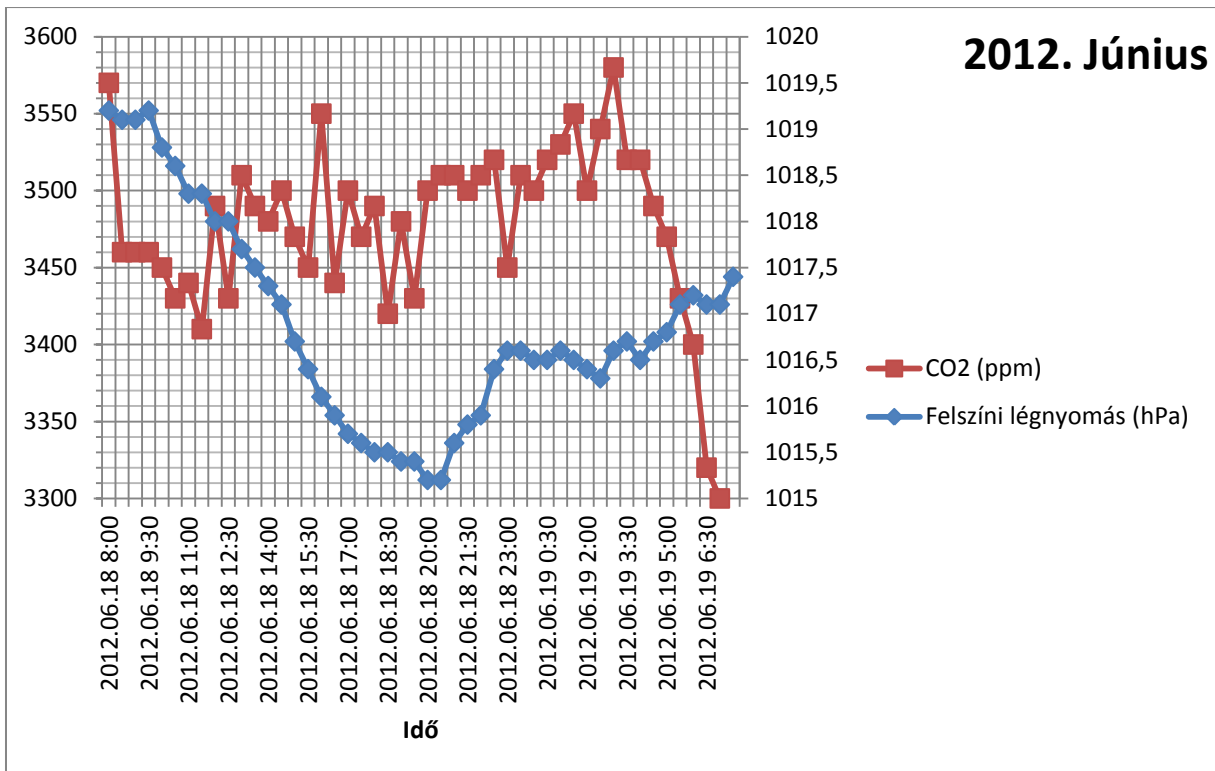
29. ábra: májusi CO₂ napi görbe a felszíni hőmérséklet függvényében

3.5.5 Júliusban átveszi a hőmérséklet a vezérlő szerepet

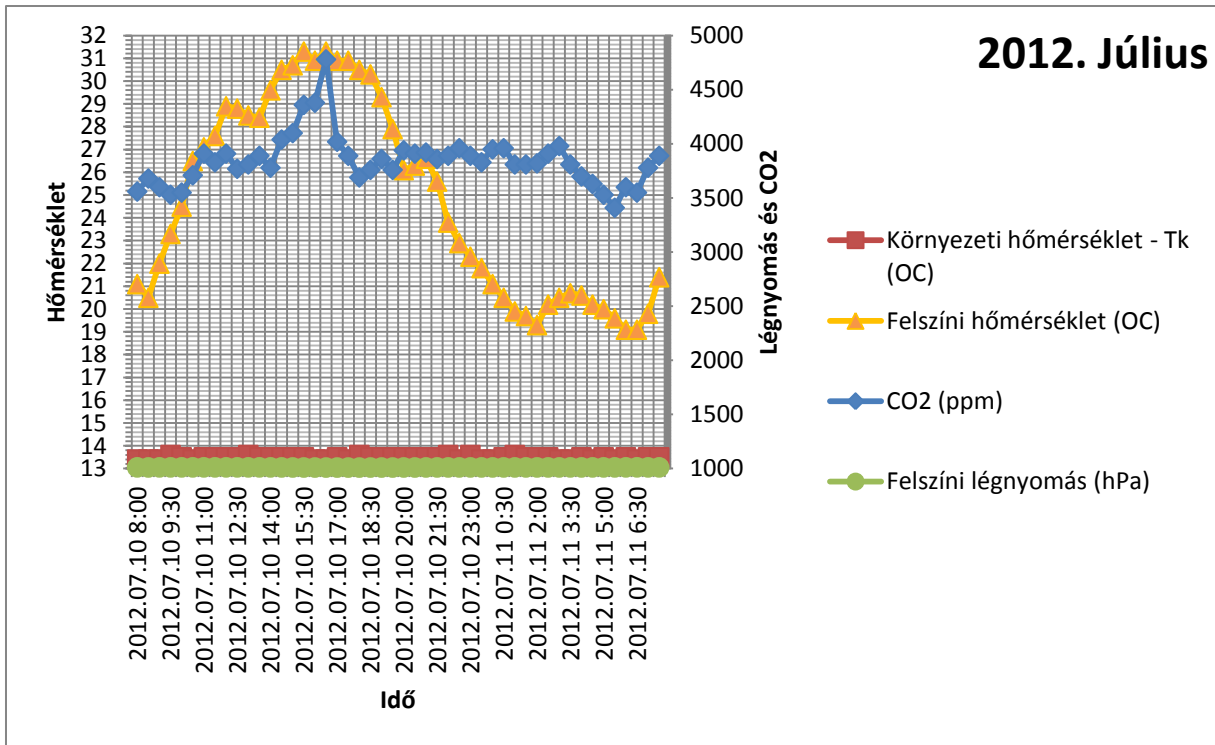
- Júliusban a napi átlaghőmérséklet már jóval meghaladja a barlangiét az egész nap folyamán, ami folyamatos és intenzív feláramlást eredményez (32. és 33. ábra). A CO₂ értéke eléri a napi maximumát és intenzitását a felszíni hőmérséklet vezérli (sűrűség különbségből adódó másodlagos nyomáskülönbség).
- Amikor a felszíni nyomás jelentősen visszaesett, a feláramlás mértéke csúcsra emelkedett, mely a hőmérséklet különbségben is jelentkezett.



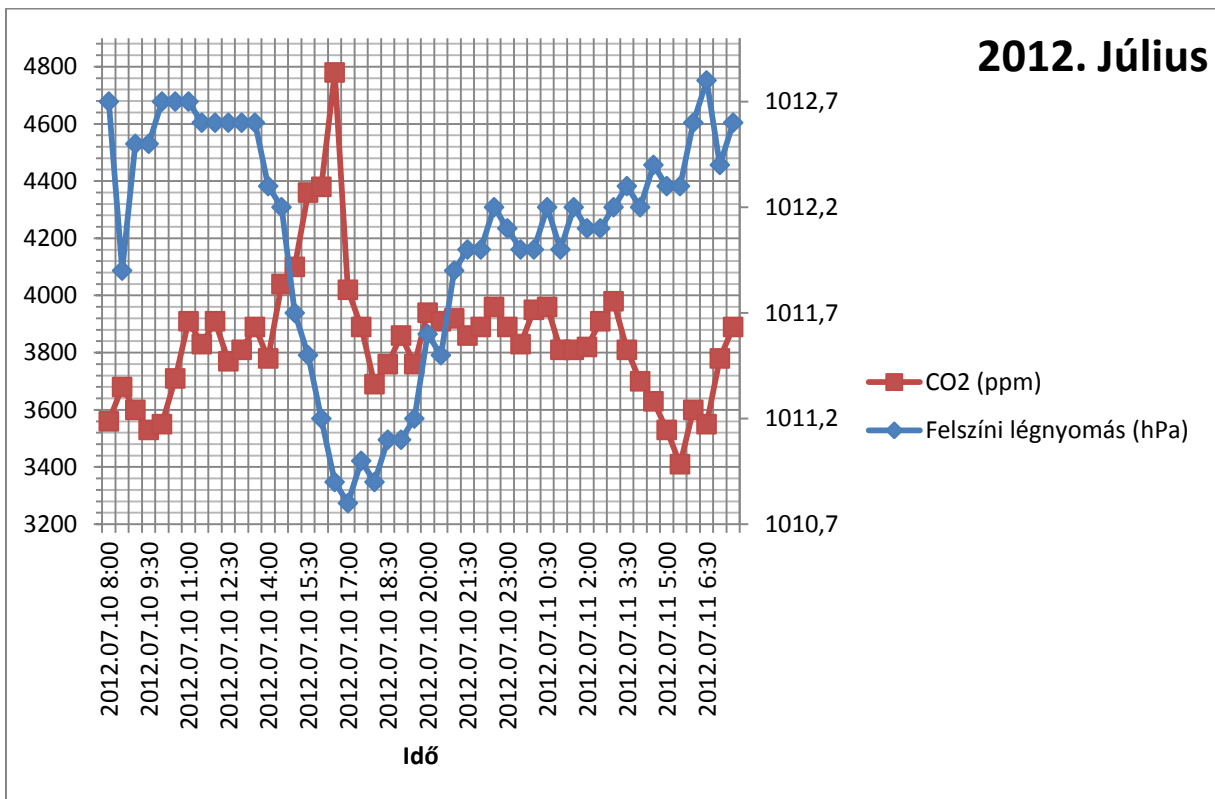
30. ábra: júniusi CO₂ napi görbe a felszíni hőmérséklet függvényében



31. ábra: júniusi CO₂ napi görbe a felszíni légnyomás függvényében



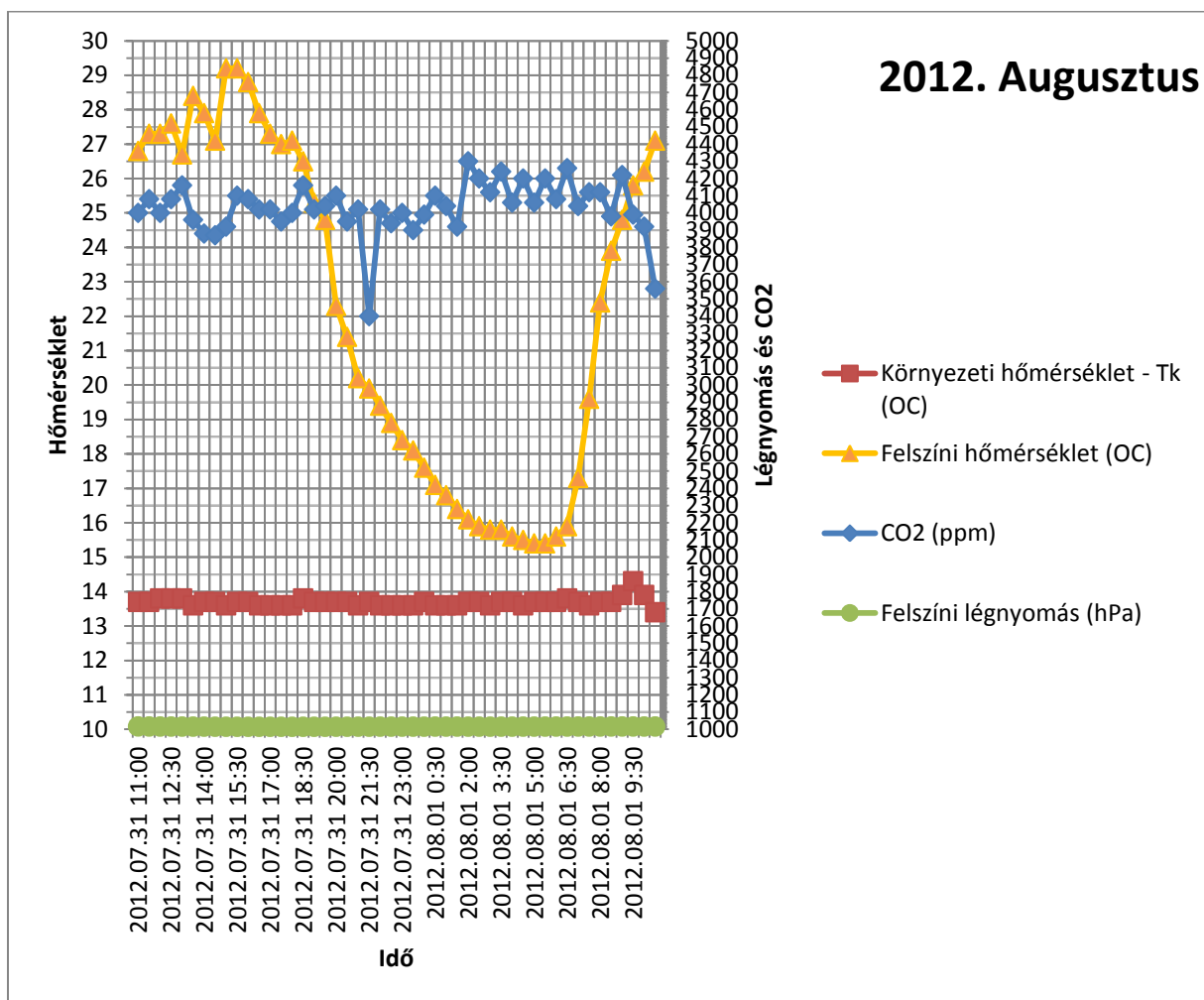
32. ábra: júliusi CO₂ napi görbe a felszíni hőmérséklet függvényében



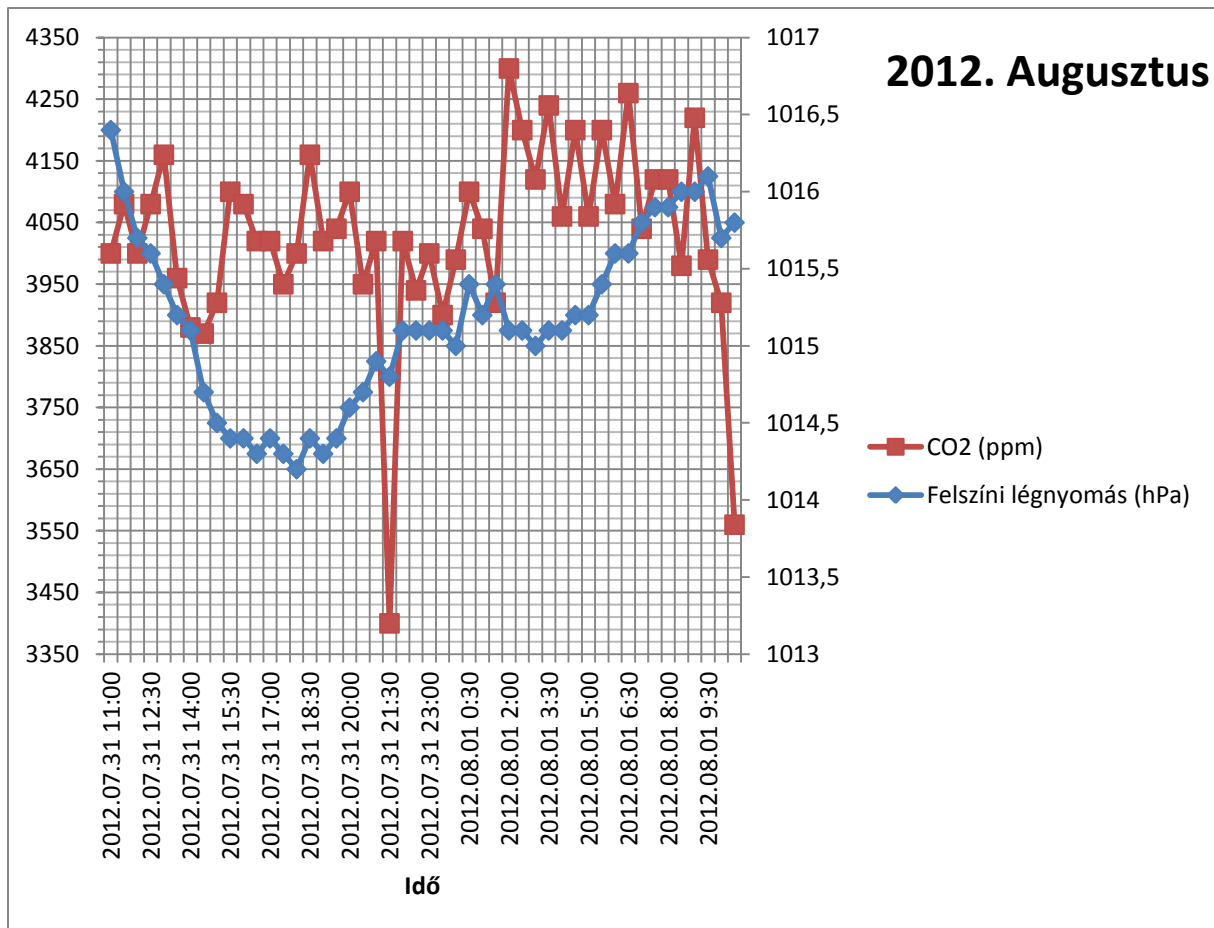
33. ábra: júliusi CO₂ napi görbe a felszíni légnyomás függvényében

3.5.6 Augusztusban felborulnak az eddig felállított modellek

- Augusztusban az intenzív nyári légközés ellenére felborulnak az eddig felállított modellek: a Szemlő-hegyi-barlang CO₂ értéke az összes eddig elfogadott törvényszerűséggel szembe fordul. Pedig azt gondoltuk, hogy barlangunkat jól ismerjük, annak fizikai határaival teljesen tisztában vagyunk, vagyis ismernie kell a fizikát és ráhúzhatónak kell lennie valamelyik alapmodellnek (34. és 35. ábra).
- A felszíni nyomás csökkenése növeli a feláramlást, de annak mértéke éppen akkor növekszik meg, mikor a felszíni hőmérséklet jelentősen lecsökken. Ha csak az eddig megismert barlangot nézzük, akkor ennek máshogy kellene működnie.
- A délelőtt 10 órakor bekövetkező CO₂ csökkenés és hőfok emelkedés még magyarázható a betegek csoportos ajtónyitogatásával (lásd korábbi tapasztalatok), de az éjszakai CO₂ lecsökkenésére az eddig megismert barlangmodellünk nem ad kielégítő magyarázatot. Muszáj tehát egy más-féle barlang modellt felállítanunk.



34. ábra: augusztusi CO₂ napi görbe a felszíni hőmérséklet függvényében



35. ábra: augusztusi CO₂ napi görbe a felszíni légnyomás függvényében

3.6. Megállapítások, következtetések:

- A Szemlő-hegyi-barlang (szemben más barlangokkal) CO₂ értéke nem követi egész évben a felszíni hőmérséklet változásait a már megismert légköri modellek alapján.
- A barlangi levegő CO₂ értéke az ismert járatokban felhalmozódó CO₂ és az ismeretlen mélyebben fekvő járatokból feláramló CO₂ együttes értékéből adódik, melyre a légköri nyomás is hatással van.
- A CO₂ értékét és a feláramlás mértékét jelentősen befolyásolja a zárt rendszer időszakos megbontása az ajtónyitogatások kapcsán. Ezek a műveletek annak ellenére is hatással vannak a barlangi CO₂ feláramlására, hogy az ajtó és a vizsgálati pont között több száz méternyi kiépített és kiépítetlen barlangjárat található.
- A Szemlő-hegyi-barlang klimatikus változásait csak akkor érthetjük meg, ha figyelembe vesszük a vele levegős kapcsolatban álló lényegesen nagyobb (ma még ismeretlen) barlangrendszerre ható tényezőket (szélnyomás, légnyomás, vízszint és hőmérséklet ingadozás... stb.)

- A Szemlő-hegyi-barlang korábbi tudományos értekezésekben mint „*hegylábi barlangtípus*” lett besorolva, a „*hegylábi barlangtípusra*” jellemző hőmérséklet-különbség által vezérelt törvényszerűségekkel.
- A SZIKKTI barlangkutató csoport intenzív feltáró kutatásainak köszönhetően a barlang összeköttetésbe került azzal az ismeretlen földalatti rendszerrel, melybe a hegylábi Molnár János barlang is beletartozik. Ismeretlen hosszúságú, több bejáratos, jelentős szintkülönbségű rendszerre alakult, mely már nem teljesíti a „*hegylábi barlangtípusra*” jellemző törvényszerűségeket.
- A légköri nyomás változása és a felszíni- barlangi levegő hőmérséklet-különbségéből adódó sűrűség- és nyomáskülönbségek nem csak a Szemlő-hegyi-barlang ma ismert járataira, de a Molnár János barlangra és a két barlang közötti ismeretlen járatokra is hatással vannak, így a Szemlő-hegyi-barlang levegőjét a vele kapcsolatban lévő barlangjáratok levegője szabályozza, befolyásolja. Az így kapott törvényszerűségeket csak a teljes rendszer tényének elfogadásával és a rájuk ható erők együttes értékelésével írhatjuk le.
- Kimondhatjuk, hogy a Tapolcai-barlangrendszerhez hasonlóan itt is nyomásvezérelt barlangtípussal állunk szemben, és ezeket a bemutatott grafikonok összefüggései is alátámasztják.

4 A barlangi aeroszol összetételének többféle módszerrel történő nagy pontosságú elemzése a Szemplő-hegyi-barlangban és a referencia-helyszínnek kijelölt Baradla-barlang Róka-ági laboratórium-termében

4.2 Előzmények:

Magyarországon számos különféle módszerrel és eltérő pontossági osztályba sorolható aeroszol összetétel vizsgálat történt az elmúlt 50 évben. Többségük nem követte a környezeti vizsgálatokra vonatkozó szabványokat, vagy mérési elvükből adódóan pontatlan eredményeket hozott. Ritkán állt a levett minták háttérében akkreditált vizsgáló laboratórium, amely a mérési eredmények pontosságát garantálná. Mindezen körülmények kiküszöbölésére, a múlt tanulságait elemezve végeztük el vizsgálatainkat két egymástól távol eső barlangban, de ugyanazon módszerekkel, melyeket egy időben alkalmaztunk.

4.3 A vizsgálatok célkitűzései:

- a. 3 féle mintavételi eljárás egyidejűleg történő alkalmazása
- b. Az egyes mintavételi eljárások közti különbségek feltárása
- c. A felszíni és a barlangi minták szilárdanyag-tartalmának összehasonlítása
- d. A Szemplő-hegyi-, és a Baradla-barlang vizsgálati eredményeinek összevetése
- e. Teljes nehézfém elemzés mindkét helyszínen
- f. A barlangi aeroszol kémhatásának megállapítása

4.4 A vizsgálatokban résztvevő személyek:

A vizsgálatban a STIEBER Környezetvédelmi Kft. levegőtisztaság-védelmi vizsgálólaboratóriumának munkatársai vettek részt.

Mérést vezette: Stieber József vizsgálómérnök, barlangi-kutatásvezető

Mérésben részt vettek: Izmindí Zsuzsanna, környezetmérnök
Meizner Zsolt, környezetmérnök

4.4 Mérések időpontjai és helyszínei:

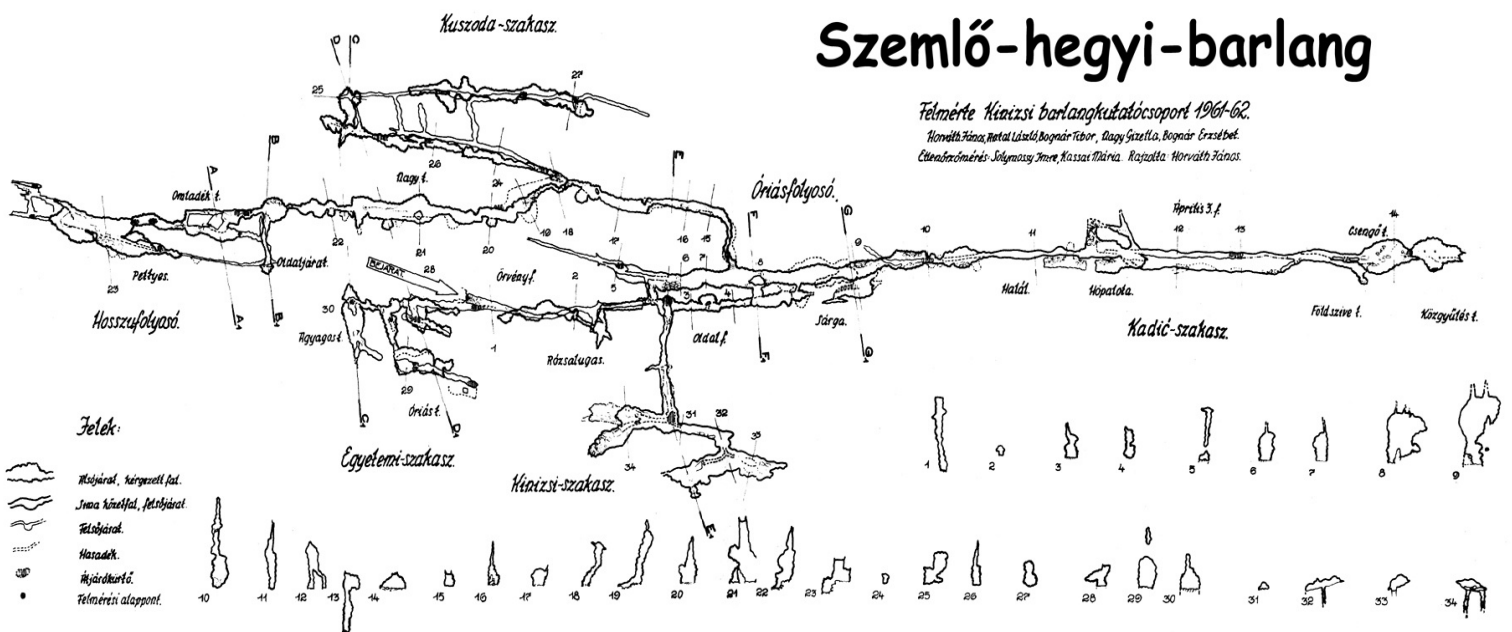
Az első mérést a Szemplő-hegyi-barlangban 2009. 05. 19. 11:00- tól 2009.05.20. 09:00-ig végeztük.

A mérések időtartama alatt a felszínen meleg, napos, száraz idő volt, 29 °C-os átlaghőmérséklettel, mely az esti órákban 15- 16 °C-ig süllyedt. A felszíni páratartalom 35-80% között változott, míg a barometrikus nyomás értéke 1015-1020 hPa volt.

A második mérést a Baradla-barlang „Róka-ági Labor-termében” 2009. 09. 02. -én 14:05- 22:00 h között végeztük.

A mérések időtartama alatt a felszínen meleg, napos, száraz idő volt. A barometrikus nyomás értéke 979,3 hPa volt. A barlang bejáratától 50 méter távolságban a felszíni CO2 tartalom 466 ppm volt.

Ahogy az egyes számú barlangtérképen is látszik, a Szemlő-hegyi-barlangban négy ponton végeztünk méréseket. Az egyes mérési pontot a felszínen jelöltük ki, 20 méterre az „Örvény-folyosó” felszíni bejáratától, a Barlang u. 10. sz. telken. A másodikat az „Örvény folyosó” alsó szakaszában, az „Órás-folyosóba” csatlakozás előtt, a harmadikat az „Óriás-folyosó karzatán” a negyediket pedig a „Halál-kereszthasadékban”, a járat keresztmetszetében.



36. ábra: mintavételi és mérési pontok a Szemlő-hegyi-barlangban

A Baradla-barlangi mérések egy helyszínen, a „Róka-ági Labor-teremben” lettek elvégezve, valamennyi műszer és eszköz itt lett elhelyezve. A felszíni referencia mérést a „Vitla” lejárójától 20 méterre, a „Tourinform-iroda” mögötti parkolóban végeztük el.

4.5 Alkalmazott műszerek és mérési módszerek

Mindkét mérési helyszínen hordozható, telepes kivitelű, akkreditált kalibráló laboratóriumban előzetesen lekalibrált, szabványos mérési módszert alkalmazó mérőműszereket használtunk, vizsgálólaboratóriumunk elfogadott vizsgálati eljárásait követve.

Az aeroszol összetételének meghatározására 3 féle mintavételi eljárást alkalmaztunk:

- Nagy-térfogatáramú mintavétel 270 mm átmérőjű kvarcüvegszálaspapírra
- 3 C-ra lehűtött barlangi-levegőből történő aeroszol kicsapás mintaelőkészítővel
- elnyelető-palackokon keresztül történő mintavétel

Mindhárom mintavételi eljárásban nagy pontossággal történt az átszívott minta mennyiségének meghatározása, melyet száraz-normál állapotra számítottunk át a koncentráció-értékekkel történő pontos átszámításhoz.

Az alkalmazott műszerek jegyzéke:

- 1 db WS-2700 tip. mobil meteorológiai állomás
- 1 db Testo 605-H1 digitális léghőmérő és páratartalom mérő
- 2 db OH-611- CIC típusú PM10 pormintavevő berendezés
- 1 db Testo 535 tip. infravörös-abszorpciós CO₂ mérő, diffúziós mérőcellával
- 1 db CHINO HANDY LOGGER hőmérséklet mérő-adatgyűjtő
- 2 db Testo 405 V1 precíziós, digitális hődrótos-anemométer
- 1 db GTD 1100 Altimeter/Barometer, az abszolút-nyomás mérésére
- 1 db Enviro 20 tip. gázelőkészítő és mintavevő, beépített hűtőkamrával
- 2 db üveg elnyelető-palack 2 x 100 cm³ savanyított desztillált vízzel
- 2 db hitelesített gázmérő óra normalizáló csonkokkal
- 2 db DM 120 PL differenciál-nyomásmérő a normalizáláshoz
- 2 db Testo beszűrő hőmérő a normalizáláshoz

A levett mintákat a helyszínen savanyítottuk és a laborba érkezésig 10 C-on hűtöttük.

A minták elemzését a FUROL-ANALITIKA akkreditált vizsgálólaboratórium végezte.

A mérésben alkalmazott mérőműszerek kalibrálását a STIEBER Levegőtisztaságvédelem akkreditált kalibrólaboratóriuma kalibrálta.

4.5 Mérési eredmények a Szemlő-hegyi-barlangban

Felszíni mérés				
	Pa (Pa)	RH %	Tk (°C)	CO ₂ (ppm)
9:00	1000,1	52,1	24,0	499
13:00	995,6	49,0	27,5	450
17:00	993,9	48,5	27,0	545
21:00	995,7	57,3	23,3	572
1:00	995,6	69,0	18,9	576
5:00	996,3	79,1	15,5	515
9:00	998,1	66,2	20,7	512

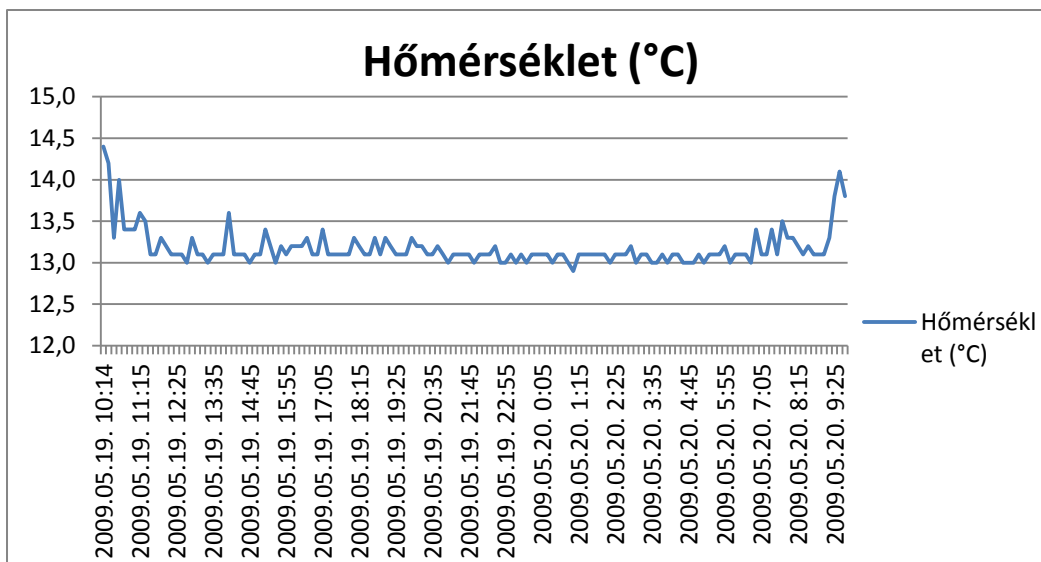
37. ábra: a felszínen rögzített meteorológiai alapadatok bemutatása

Vizsgált komponens	Minta jele	Minta-vétel ideje (óra)	Átszívási sebesség (m ³ /h)	Átszívott levegő mennyisége (m ³)	Por tömege a mintában (gramm)			Szálló por koncentrációja (µg/ m ³)		
					PM10	Durva por	Összes por	PM10	Durva por	Összes por
Szálló por	1	12	70	747,64	0,0328	0,0187	0,0515	43,978	25,1302	69,1082

38. ábra: a felszíni PM 10 pormérés eredményeinek összefoglalása

Vizsgált komponens	Minta jele	Minta-vétel ideje (óra)	Átszívási sebesség (m ³ /h)	Átszívott levegő mennyisége (m ³)	Por tömege (gramm)			Szilárdanyag koncentrációja (µg/ m ³)
					PM10	Durva por	Összes por	Összes-szilárdanyag tartalom
Szálló por	2	8	70	525,14	0,23463	0,1340	0,3686	446,795

39. ábra: az „Örvényfolyosó” alsó szakaszában (a Kinizsi-folyosó alatt) végzett összes-szilárdanyag mérés eredménye



40. ábra: a barlangi levegő hőmérsékletének változása az „Óriás-folyosó karzatán”

alkotó	Kicsapatásos minta	Elnyeletéses minta
hirdogén-karbonát (mg/l)	< 3	< 3
	(µg/minta)	(µg/minta)
nátrium	0,08	0,52
kálium	0,04	0,08
kalcium	0,07	0,30
magnézium	0,04	0,02
bárium	0,32	0,96
vas	19,65	26,90
mangán	1,65	0,65
ezüst	0,01	<0,02
arzén	0,11	<0,10
kadmium	0,05	<0,10
kobalt	0,39	0,47
összes króm	0,40	1,94
réz	12,85	3,24
molibdén	0,26	<0,20

nikkel	9,15	0,82
ólom	50,50	3,30
antimon	1,89	<1,10
szelén	<0,10	<0,20
ón	2,60	<1,10
cink	41,05	22,90

41. ábra: az „Óriás-folyosó karzatán” levett elnyeletéses és a kicsapatásos minták nehézfém-tartalmának koncentráció-értékei

Idő	Nagy gázóra			Kis gázóra		
	T (°C)	Pa (Pa)	óra állás	T (°C)	Pa (Pa)	óra állás
11:00	14,9	+50	62	14,3	-470	613
12:00	13,5	+50	312	13,5	-471	807
13:00	13,3	+50	520	13,4	-466	1012
14:00	13,3	+50	776	13,5	-461	1244
15:00	13,3	+50	1048	13,4	-465	1507
16:00	13,3	+50	1215	13,4	-464	1663
17:00	13,3	+50	1423	13,4	-463	1861
18:00	13,3	+50	1706	13,5	-463	2130
19:00	13,3	+50	1925	13,5	-464	2339
20:00	13,3	+30	2160	13,4	-465	2565
21:00	13,0	+50	2411	13,5	-464	2809
22:00	13,0	+40	2618	13,4	-463	3011
23:00	13,1	+50	2837	13,4	-466	3219
0:00	13,1	+50	3084	13,4	-469	3458
1:00	13,1	+50	3328	13,4	-464	3691
2:00	13,0	+50	3588	13,5	-463	3920
3:00	13,0	+60	3778	13,5	-463	4127
4:00	13,0	+50	4025	13,4	-460	4369
5:00	13,0	+50	4269	13,4	-459	4605
6:00	13,0	+50	4488	13,4	-460	4818
7:00	13,1	+50	4706	13,5	-460	5030
8:00	13,3	+60	4947	13,5	-457	5264
9:00	13,1	+60	5198	13,5	-460	5506

42. ábra: az „Óriás-folyosó karzatán” levett elnyeletéses és a kicsapatásos minták átszívott mennyiségeinek korrekciós táblázata

Mérés kezdete: 2009. 09. 02. 11:10

Mérés vége: 2009. 09. 02. 15:58

Idő	1-es mérőkör			2-es mérőkör		
	Gázóra (m3)	Tg (°C)	P (Pa)	Gázóra (m3)	Tg (°C)	P (Pa)
10:53	12,818			5,583		
11:05	12,823	13	-8,3	5,593	12,1	-55,7
11:43	12,877	10,5	-8,4	5,663	10,7	-59,2
14:40	12,941	10,7	-8,3	5,751	10,7	-59,2
15:25				5,785	10,7	-59
15:40	12,971	10,7	-8,0			

45. ábra: a barlangban levett mintákhoz tartozó térfogatáramok. Az 1. sz. mérőkör 0,45 mikronos szűrővel lett ellátva a nagyméretű szilárd részek leválasztására, míg a 2. sz. mérőkör a teljes aeroszol-frakciót átvezette az elnyelő-palackokon.

Idő	Tk (°C)	Pa (hPa)	CO2 (ppm)
11:05	11,5	980,7	4413
11:43	11,2	980,4	4467
14:40	11,5	979,5	4464
15:40		978,8	

46. ábra: a barlangban mért léghőmérsékleti, barometrikus-nyomás és CO₂ adatok

Beépített CO ₂ mérő kalibrálása:	
etalon: 1000 ppm	mért: 1210 ppm

47. ábra: a beépített klímamonitoring állomás CO₂ csatornájának kalibrálógázzal történt ellenőrzése

Beépített mérőállomás adatai						
Idő	CO ₂ (ppm)	Tsz (°C)	Tn (°C)	ΔT (°C)	RH (%)	T belső (°C)
11:20	4610	10,56	10,35	0,20	97,3	19,6
12:40	4610	10,62	10,40	0,21	97,3	19,41

48. ábra: a beépített klímamonitoring állomás két jellemző, kézzel rögzített adatsora, amely az etalonokkal történő összehasonlítás folyamatos háttérváltozását mutatja

A levett minták helyszíni pH elemzésének eredményei:

Vakpróba desztillált vízre

PH: 9,04

ζ: 5 μscm-1

1, PH etalon: 35653-01 típusú, 10° C-on 4,00

Leolvasott: PH 5,2

2, PH etalon: radiométer típusú, 10 °C-on 4,00

Leolvasott: PH 5,03

3, PH etalon: 35653-02 típusú, 10 °C-on 7,06

Leolvasott: PH 7,99

4, PH etalon: radiométer típusú, 10 °C-on 7,02

Leolvasott: PH 7,91

4.6 Az aeroszol kémhatásának vizsgálata a Szemlő-hegyi-barlangban és a Baradla-barlang „Róka-ági Labor-termében”:

A vizsgálat célkitűzése:

Megállapítani az aeroszol valódi kémhatását, mely rávilágítana a visszaoldódási jelenségek esetleges okára. Figyelembe véve az aeroszol instabil állapotát és a benne lévő komponensek kicsapódásának veszélyét, a vizsgálatot fokozott gondossággal, a helyszínen végeztük el.

Alkalmazott vizsgálati módszer:

A vizsgálati módszer alapja a műszeres pH mérés a diffúziósan elnyeletett és az elnyeletőpalackokban keletkezett mintákból. A hőmérsékletkompenzáció elkerülése érdekében valamennyi pufferoldatot és a vizsgált mintákat is barlangi hőmérsékleten és légmentesen lezárt állapotban tároltuk. Az oldat alapjául szolgáló ioncserélt vizet a helyszínen, az elnyeletés előtt elemeztük meg. A pH mérő műszert 2 féle pufferrel 2-2 ponton, összesen 4 ponton kalibráltuk a mérés megkezdése előtt és után. Minden mérési eredményt a kirajzolt korrekciós görbe alapján korrigáltunk.

Megállapítások:

Mindkét diffúziós mintát azonos ideig hagytuk a barlangi légtérrel érintkezni, mégis meglepő, hogy az üveglappal lefedett, de természetesen nem légmentesen lezárt mintaedényünkben némileg magasabb lett az oldat pH értéke, mint a levegővel mindvégig érintkező oldatnak. Ha figyelembe vesszük az aeroszol részecskék gravitációs mozgását, akkor leszögezhetjük, hogy a nehezebb szilárd részecskék, amelyek súlyuknál fogva lesüllyednek a talajszintre, illetve belesüllyednek a nyitott edény oldatába, nem vagy csak részben jutnak be az üveglappal lefedett oldatba.

A fenti állítást megerősíti az átszívós minták elemzési eredménye, ahol jól látható az átszívott mennyiség és a pH változás aránya. Kevesebb mennyiség ellenére is alacsonyabb pH értéket mértünk

a 0,45 mikronra leszűrt mintából, ami azonos átszívott mennyiség esetén még nagyobb különbséget mutatna. Kijelenthetjük tehát, hogy a barlangi aeroszolban megtalálható 0,45 mikronnál nagyobb részecskék lúgosítják az egyébként savas kémhatású aeroszolt.

Jelen vizsgálat nem ad arra támpontot, hogy a barlangi-aeroszol kémiai vagy biológiai összetevőktől válik savassá és arra sem, hogy a jelenség a Baradla-barlang más részeiben is hasonló tendenciát mutatna. Arra sincs mérési eredményünk, hogy más barlangok levegőjében is ugyanezen eredményeket tudnánk kimutatni. Mindezek bizonyítására a Mikrobiológia és a Mikológia területeinek bevonására, valamint további vizsgálatokra lenne szükség.

Ssz.	Minta megnevezése	Átszívott mennyiség	Kiindulási pH	Mintavétel végén mért pH	Kiindulási vezetőképesség (μScm^{-1})	Mintavétel végén mért vezetőképesség (μScm^{-1})
1	Diffúziós minta főzőpohárban 100 cm ³ ioncserélt víz, letakarás nélkül	diffúziós minta, expozíciós idő: 4,25 h	8,14	5,82	5	6
2	Diffúziós minta főzőpohárban 100 cm ³ ioncserélt víz, üveglappal letakarva	diffúziós minta, expozíciós idő: 4,25 h	8,14	5,61	5	4
3	0,45 mikronos szűrőn keresztül átszívott, 2 db elnyeletőedényben, 200 cm ³ ioncserélt vízben elnyeletve	148 Nliter (77 %)	8,14	5,06	5	5
4	szűrő nélkül, közvetlenül átszívott, 2 db elnyeletőedényben, 200 cm ³ ioncserélt vízben elnyeletve	192 Nliter (100 %)	8,14	5,21	5	6

49. ábra: a barlangi aeroszol kémhatásának vizsgálata

5 Összefoglaló vizsgálati jelentés a Szemplő-hegyi-barlang két terápiai helyszínén végzett aeroszol-mintavétel és kémiai analízis labor eredményeiből

Készítette a STIEBER Környezetvédelmi Kft. vizsgálólaboratóriuma

xxx *A határértéket felszíni szállóporra a 4/2011. (I. 14.) VM rendelet írja elő.*

Megjegyzés: a barlangi levegő szilárdanyag tartalma oldott-aeroszol formában van jelen, így az szállóporoknak nem tekinthető!

A barlangi aeroszolban található kémiai komponensek koncentrációja egyetlen esetben sem haladta meg a határértéket, míg számos gyógyhatású komponens kedvező mennyiségben került kimutatásra.

Kiadva: Budapest, 2011-10-18

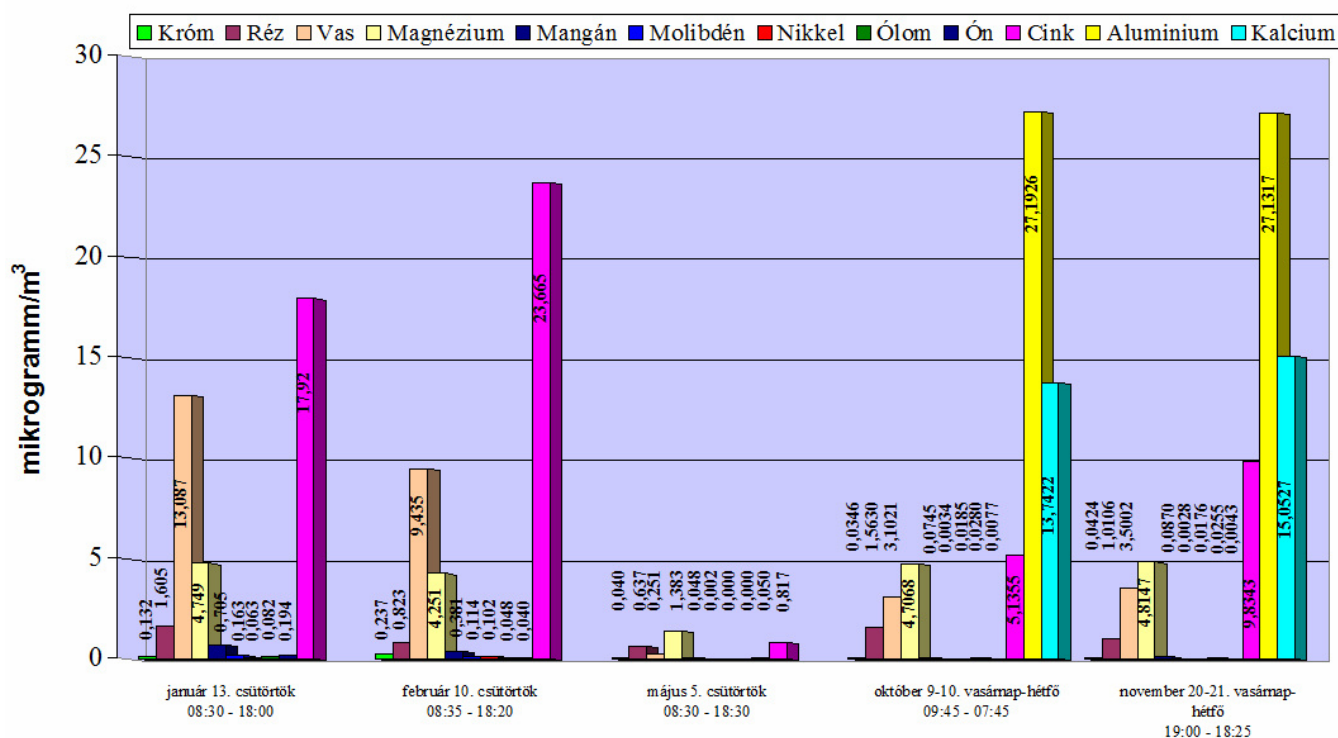
Vizsgált komponensek ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	„Agyagos-folyosó” terápiai szakasz			„Óriás-folyosó” (létra előtti szűkület) terápiai szakasz				Határérték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) xxx
	2011. január 13.	2011. február 10.	2011. május 05.	2011. június 06.	2011. június 21-22.	2011. július 13-14.	2011. szeptember 06.	
Por koncentrációja PM10	88,638	123,09	65,06	24,26	77,14	82,76	38,51	50
kadmium	0,0000	0,0000	0,0000	0,0015	<0,002	<0,002	<0,000	0,05
kobalt	0,0040	0,0020	0,0000	<0,002	<0,002	<0,002	<0,000	
króm	0,1320	0,2370	0,0,40	0,101	0,0390	0,0250	0,0140	
réz	1,6050	0,8230	0,6370	0,361	0,4450	0,3010	0,6130	2,5
vas	13,0870	9,4350	0,2510	3,844	3,1700	1,8060	5,2160	
magnézium	4,7490	4,2510	1,3830	9,194	2,9090	3,8600	5,6160	
mangán	0,7050	0,3810	0,0480	0,242	0,0460	0,0440	0,0240	175
molibdén	0,1630	0,1140	0,0020	0,017	0,0090	0,0010	<0,001	
nikkel	0,0630	0,1020	0,0000	0,037	0,0260	0,0090	0,0090	
ólom	0,0820	0,0480	0,0000	0,013	0,0117	0,0090	0,0430	2,5
ón	0,1940	0,0400	0,0500	0,038	0,0140	0,0020	0,0020	
cink	17,9200	23,6650	0,8170	18,92	2,2050	5,3000	1,2680	10

Mintavételt végezte: Stieber József vizsgálómérnök, barlangi kutatásvezető

50. ábra: a 2011-ben elvégzett aeroszol fém tartalom vizsgálat eredményeinek összefoglaló táblázata

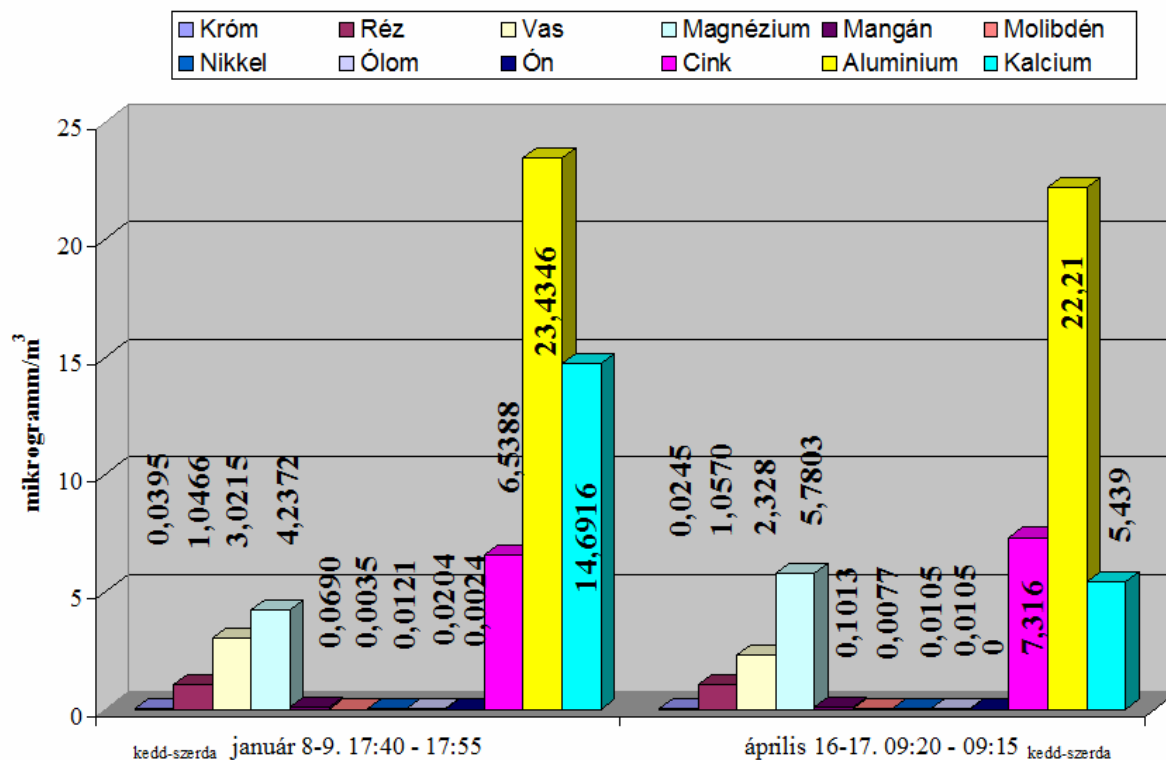
A következő ábrák adatsorának feldolgozását és megjelenítését, a grafikonok szerkesztését Horváth Á. Katalin végezte el.

Agyagos 2011. évi ásványanyag komponensek

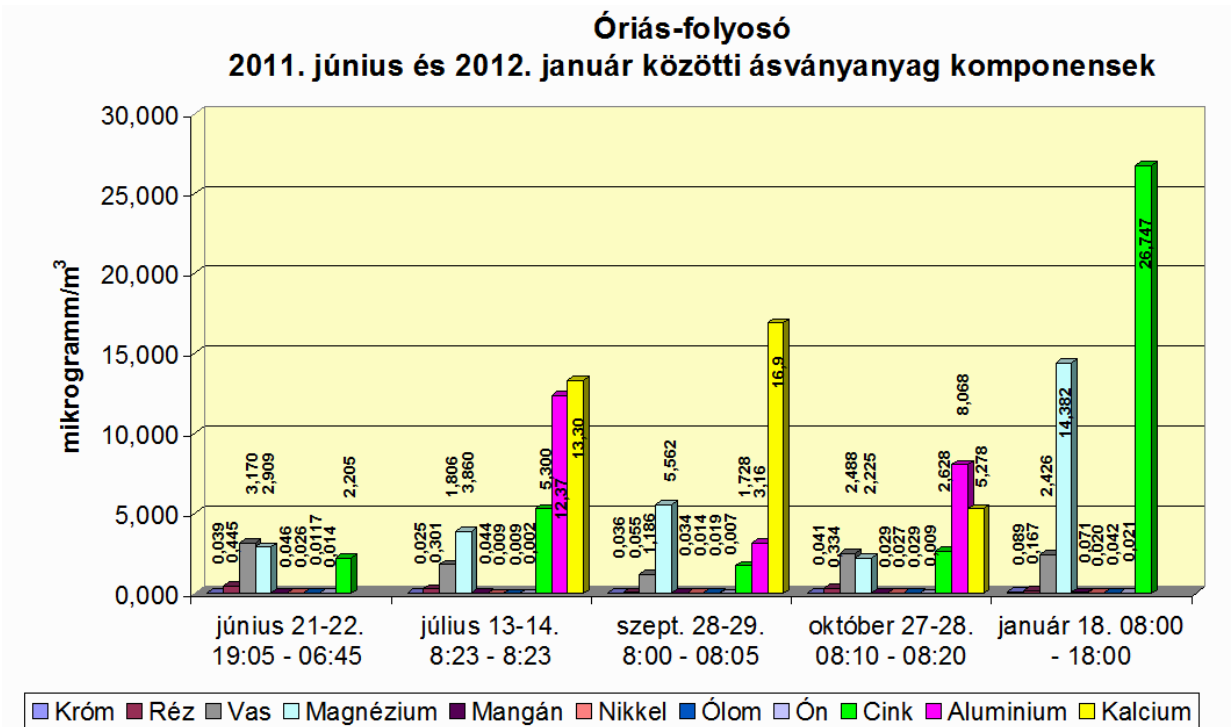


51. ábra: az Agyagos-folyosóban 2011-ben levett aeroszol-minták szilárdanyagából visszamért fém-komponensek aránya

Agyagos 2013. évi ásványanyag komponensek

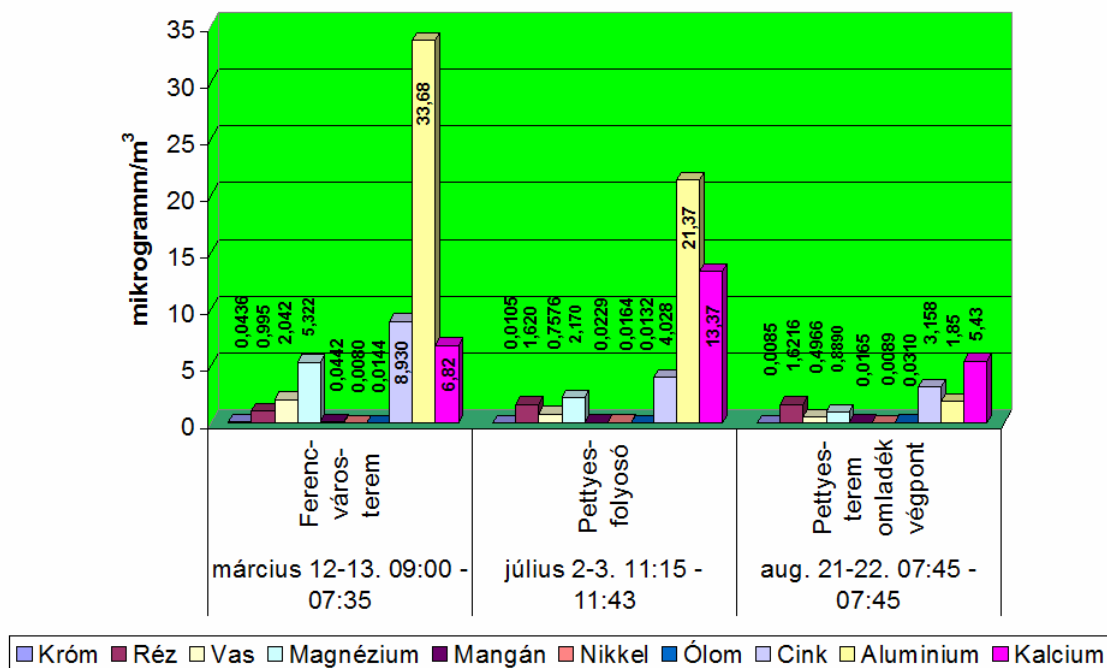


52. ábra: az Agyagos-folyosóban 2013-ban levett aerosol-minták szilárdanyagából visszamért fém-komponensek aránya



53. ábra: az Óriás-folyosóban 2011-2012-ben levett aerosol-minták szilárdanyagából visszamért fém-komponensek aránya

2013. évi ásványanyag komponensek egyéb vizsgálati helyeken



54. ábra: a Ferencvárosi-teremben és a közelében található Pettyes-teremben 2013-ban levett aerosol-minták szilárdanyagából visszamért fém-komponensek aránya

6 A Szemlő-hegyi-barlang aeroszol-monitoring programjának eredményei

6.1 Összefoglalás

A Szemlő-hegyi-barlang levegő-összetétel stabilitásának megállapítására 30 napos folyamatos aeroszol mintavételt és aztán havonta 1 x 24 órás szakaszos mintavételt végeztünk, mely minták szilárdanyag-tartalmát és fém-komponenseit vizsgáltuk meg. Kiderült, hogy a kéreg-eredetű alkotók heti-szintű stabilitást mutattak, míg az antropogén-szennyezők aránya naponta változott. A szilárdanyag-terhelésért elsősorban a mosatlan overall használata a felelős, melyek szállóporból alakulnak át aeroszollá, majd a mintavételt követően ismét szilárdanyaggá. A télen végrehajtott fogadóépület-felújítás jelentős terhelést adott a barlang egyes járatainak, de a terápiás szakaszon már nem érzetette hatását. A kéreg-eredetű komponensek maximuma egybeesett a július-augusztusi feláramlások maximumával. A cikk rámutat a barlangi légtér sebezhetőségére, az üzemeltető egyedüli felelőségére.

6.2 A vizsgálatok célkitűzése

Megállapítani a Szemlő-hegyi Gyógybarlang levegőjének valódi stabilitását, melyet leginkább az aeroszol összetételének nagypontosságú elemzésével és 24 órás mintavételével értük el.

6.3 A vizsgálatokban résztvevő személyek

A vizsgálatban a STIEBER Környezetvédelmi Kft. levegőtisztaság-védelmi vizsgálólaboratóriumának munkatársai vettek részt.

Mérést vezette: Stieber József vizsgálómérnök, barlangi-kutatásvezető

Mérésben részt vettek: Fiszter Balázs, környezetmérnök

Izmini Zsuzsanna, környezetmérnök

Meizner Zsolt, környezetmérnök

6.4 Alkalmazott vizsgálati módszer

A vizsgálati módszer alapja a nagy-térfogatú mintavétel, melyet szilárdanyag-mintavevő berendezés telepítésével értünk el. Kísérlet képen a berendezéseket elláttuk egy PM10

leválasztó fejjel, így gyakorlatilag a 10 mikron feletti részeket leválasztottuk és nem mértük. Ezzel a módszerrel úgy gondoltuk, hogy kizárjuk a ruházaton keresztül behozott, nagy szemcseméretű port.

Az első vizsgálati ciklusban 30 napra telepítettünk le műszert a barlangba, mely 24 órán keresztül szívott ismert térfogatáramú levegőt a mintapapírra, majd átállt a következőre. A mintákat 7 napos átlagértékekre bontottuk és tömegspektrometriásan elemeztettük. 2 napot külön kivettünk és megelemezettük, mert ezek jelentősen eltértek a többitől.

A második mérési ciklusban havonta egy alkalommal 24 órán keresztül működtettük a szilárdanyag-mintavevő berendezést, mely egy szűrőpapírra vette le a mintát. A mintákat szintén laboratóriumban elemeztettük.

6.5 Alkalmazott eszközök

- RAAS 10-300 típusú szilárdanyag mintavevő készülék: első mérési ciklus, 2010.02.16.-2010.03.15. között 30 napos mintavétel (37. ábra)
- OH 611–CIC Totál és PM₁₀ szállópor mintavevő készülék: 2011.-ben havonta egy alkalommal 24 órás mintavétel (38. ábra)



55. ábra: Thermo RAAS szekvenciális pormintavevő szekrény a barlangban

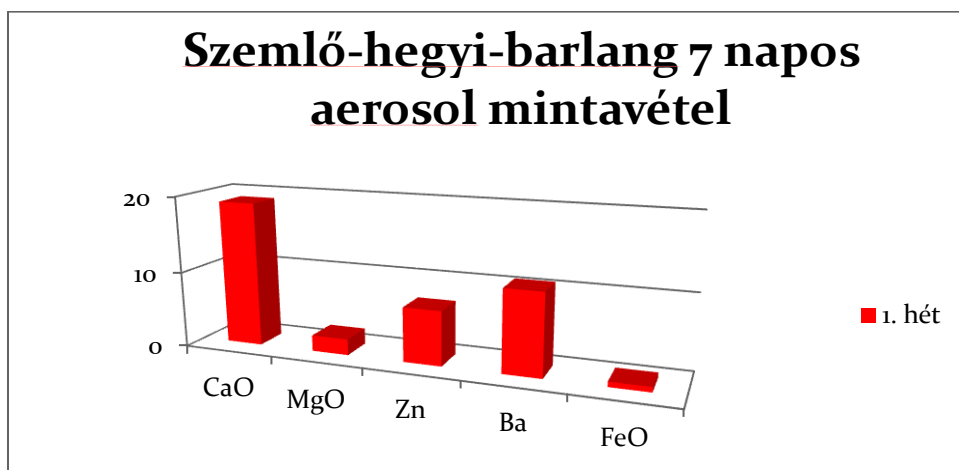


52. ábra: OH-611 nagy-térfogatú szállópor-mintavevő a barlangban

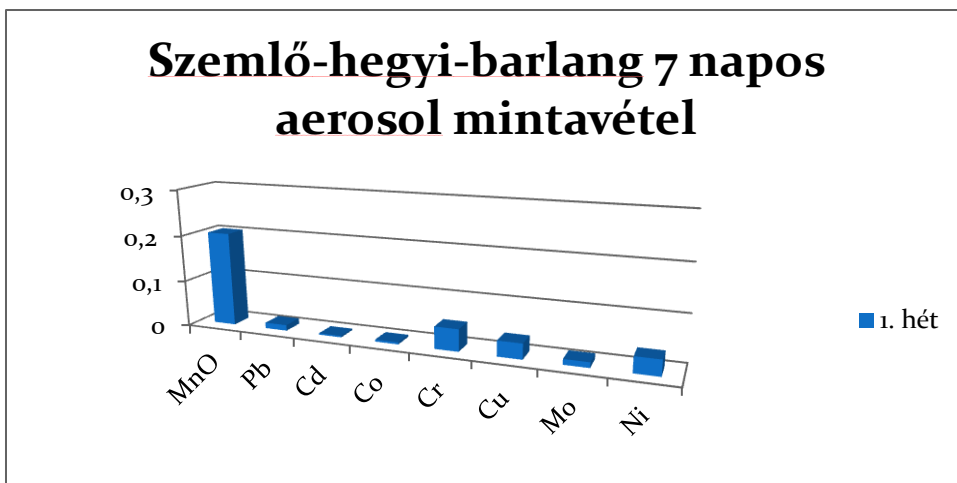
6.6 A 30 napos mintavételi időszak eredményeinek bemutatása

6.6.1. Mintavételi időszak: 2010.02.16.-2010.03.15.

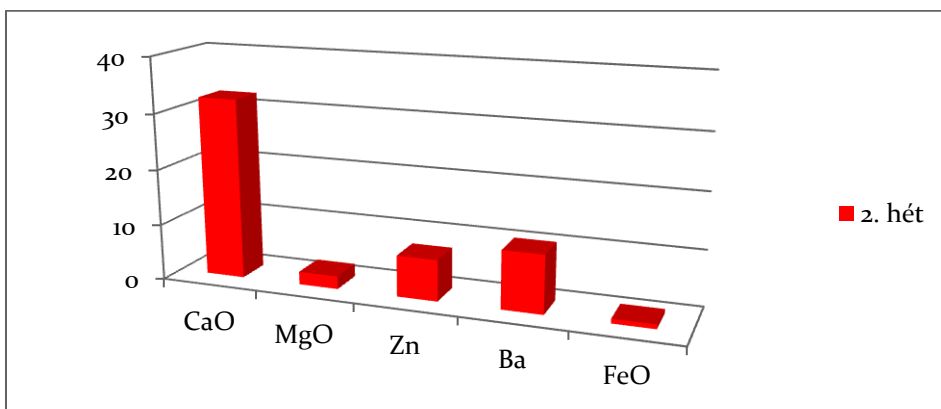
6.6.2. A vizsgálati eredmények bemutatása diagramokon:



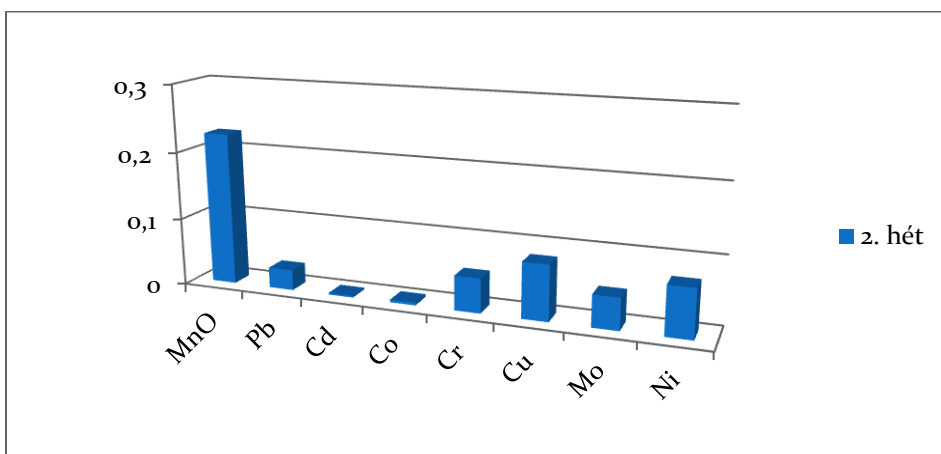
53. ábra: Szemlő-hegyi-barlang 7 napos aeroszol mintavétel (1. hét), egyes fémek tömege a mintában µg/Nm³-ben



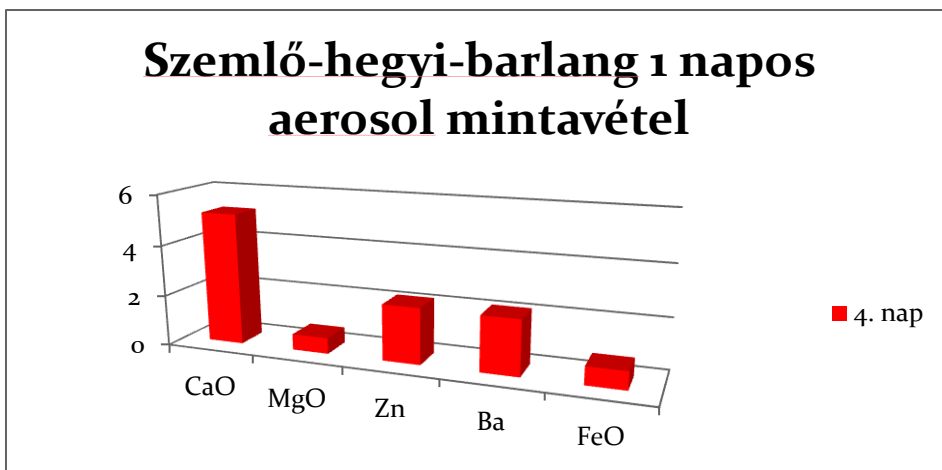
54. ábra: Szemplő-hegyi-barlang 7 napos aerosol mintavétel (1. hét), egyes fémek tömege a mintában µg/Nm³-ben



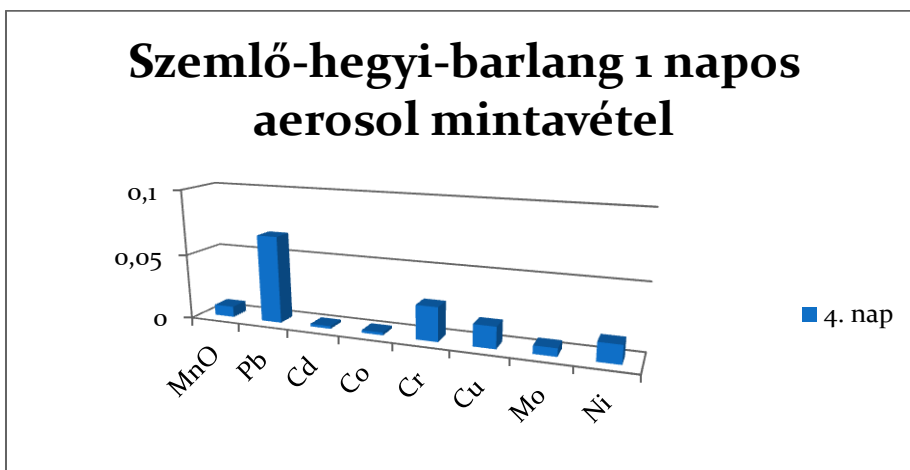
55. ábra: Szemplő-hegyi-barlang 7 napos aerosol mintavétel (2. hét), egyes fémek tömege a mintában µg/Nm³-ben



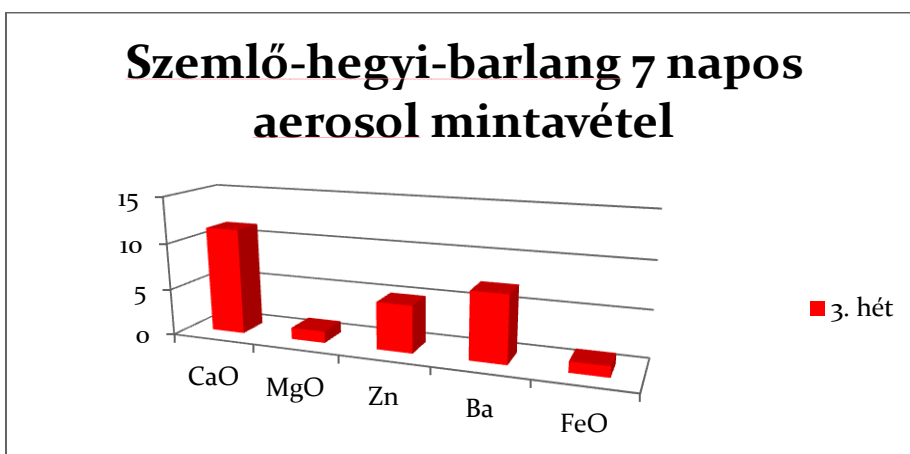
56. ábra: Szemplő-hegyi-barlang 7 napos aerosol mintavétel (2. hét), egyes fémek tömege a mintában µg/Nm³-ben



57. ábra: Szemplő-hegyi-barlang 1 napos aeroszol mintavétel (1. hét, 4. napja), egyes fémek tömege a mintában µg/Nm³-ben

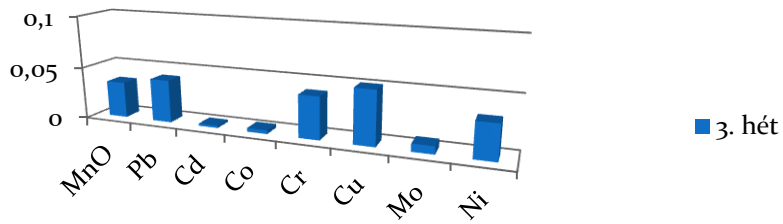


58. ábra: Szemplő-hegyi-barlang 1 napos aeroszol mintavétel (1. hét, 4. napja), egyes fémek tömege a mintában µg/Nm³-ben

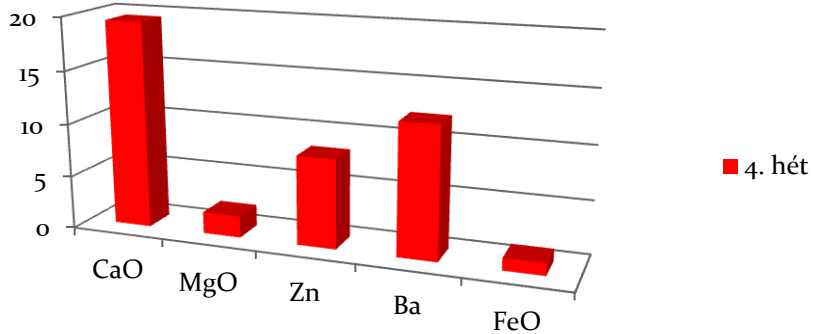


59. ábra: Szemplő-hegyi-barlang 7 napos aeroszol mintavétel (3. hét), egyes fémek tömege a mintában µg/Nm³-ben

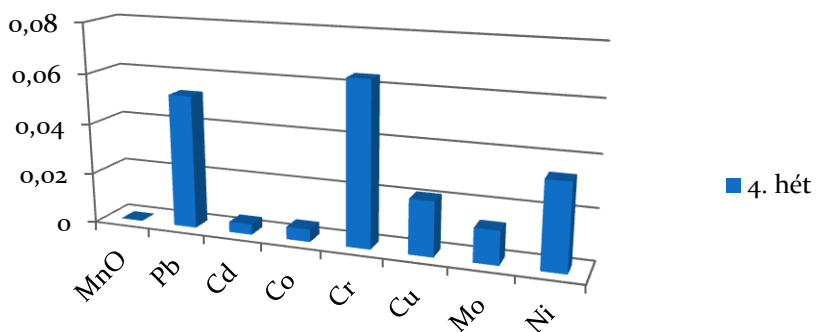
Szemplő-hegyi-barlang 7 napos aeroszol mintavétel



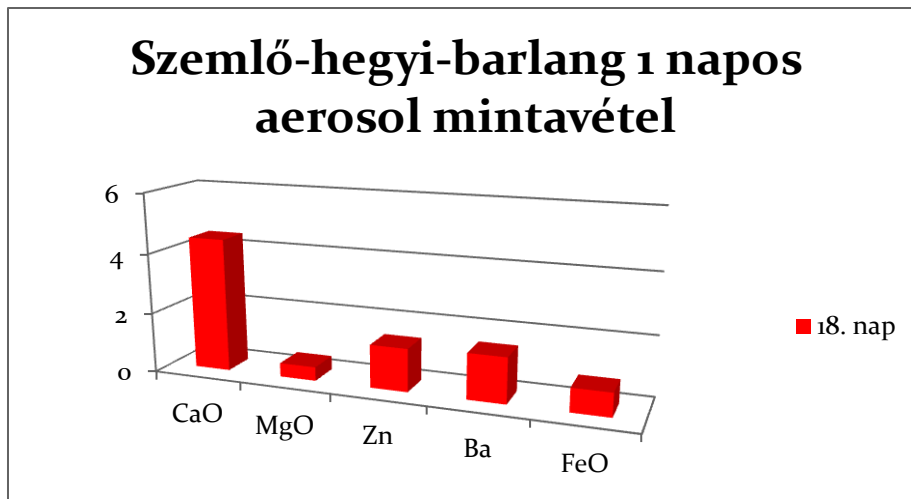
60. ábra: Szemplő-hegyi-barlang 7 napos aeroszol mintavétel (3. hét), egyes fémek tömege a mintában µg/Nm³-ben



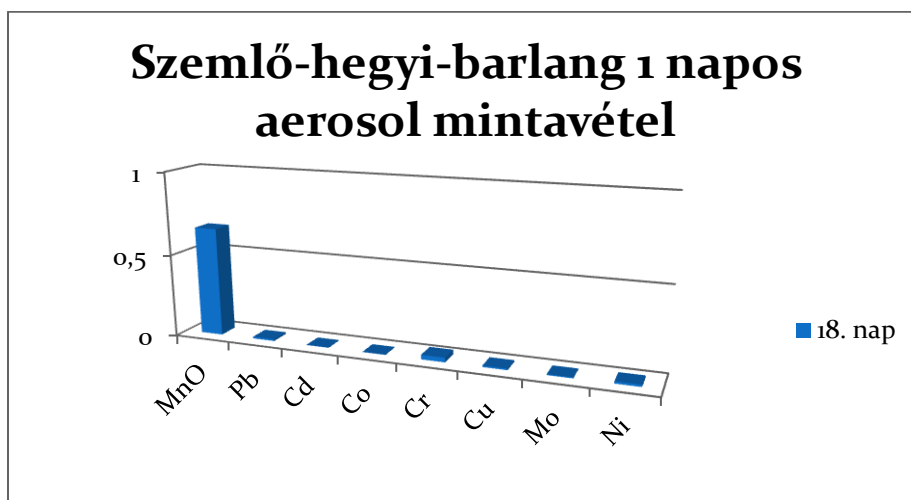
61. ábra: Szemplő-hegyi-barlang 7 napos aeroszol mintavétel (4. hét), egyes fémek tömege a mintában µg/Nm³-ben



62. ábra: Szemplő-hegyi-barlang 7 napos aeroszol mintavétel (4. hét), egyes fémek tömege a mintában µg/Nm³-ben



63. ábra: Szemplő-hegyi-barlang 1 napos aeroszol mintavétel (3. hét, 18. napja), egyes fémek tömege a mintában $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ -ben



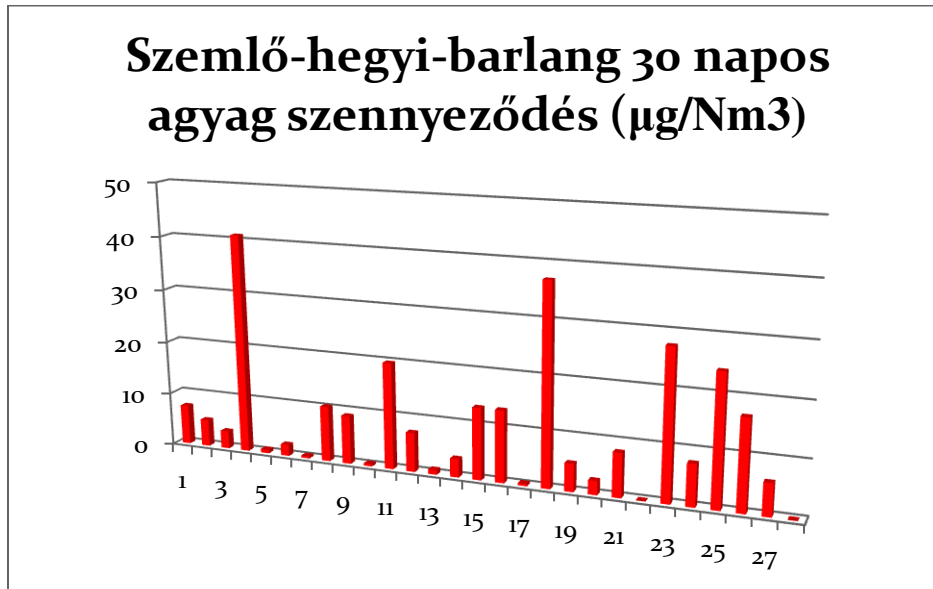
64. ábra: Szemplő-hegyi-barlang 1 napos aeroszol mintavétel (3. hét, 18. napja), egyes fémek tömege a mintában $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ -ben

6.7 A 30 napos mérés értékelése

- A földkéreg alkotó elemei (kéreg eredetű elemek) közül a Ca, Mg, Ba, és Fe közel azonos heti eloszlást mutattak, annak ellenére, hogy téli időszakban történt a mintavétel, amikor a felszínről a kőzetrepedéseken keresztül a barlangba befelé áramlott a felszíni levegő.
- A mennyiségi eltérést más jelenséggel magyarázhatjuk: a mintavétel a Halálkeresztfolyosóban történt, ahol a mélyből meleg, CO_2 -ben dús, aeroszol borsóköveket is produkáló mélykarsztos levegő áramlott fel, melyet a felszíni levegő hőmérsékletváltozása által indukált légáramlás különböző mértékben hígított.

6.7.1 Az antropogén szennyezők változása

- Az antropogén szennyezők közül a Pb, Cr, Cu és a Ni heti mennyiségi változásában már sokkal nagyobb eltérés mutatkozott, amiből arra következtettünk, hogy ezek nem ugyanazon a csatornán jutottak e, mint a kéreg-eredetűek. Ezeket a szennyezőket kisebb mértékben a felszínről a kőzetrepedéseken beáramló levegő, nagyobb részben maguk a barlangászok hozták be a barlangba.

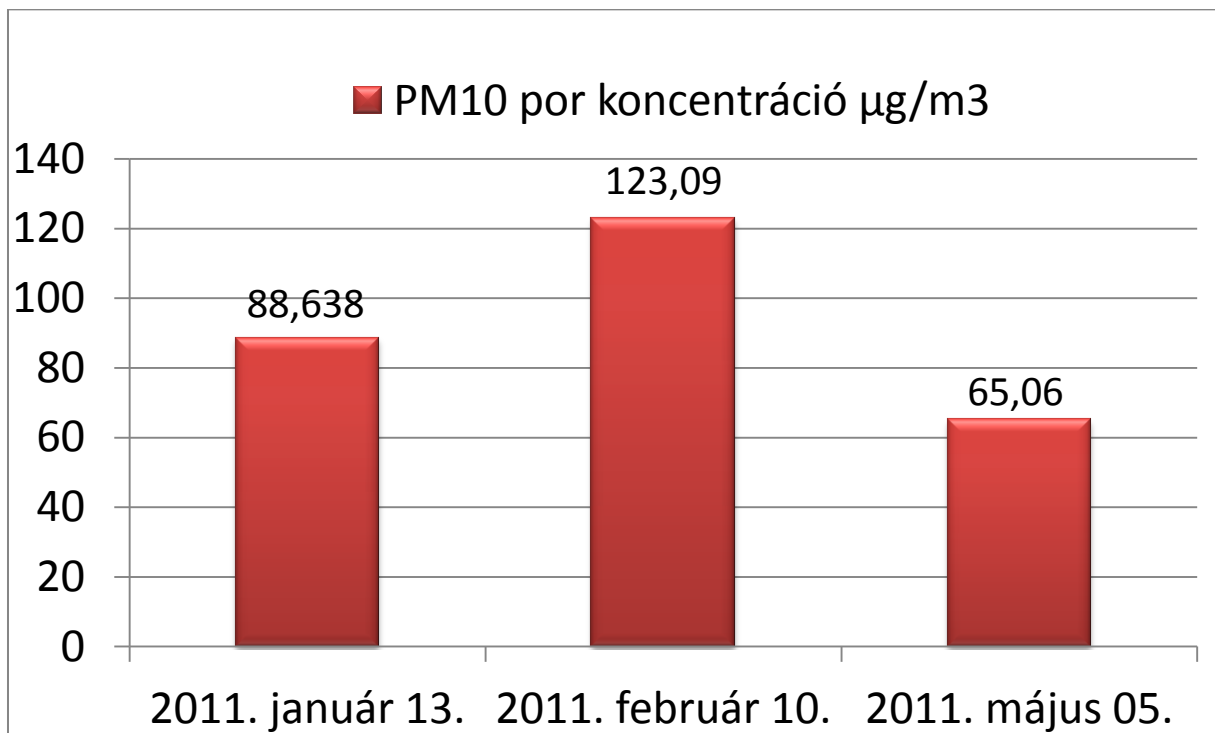


65. ábra: Szemlő-hegyi-barlang 30 napos aeroszol mintavétel, agyag szennyeződés tömege a mintákban $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ -ben

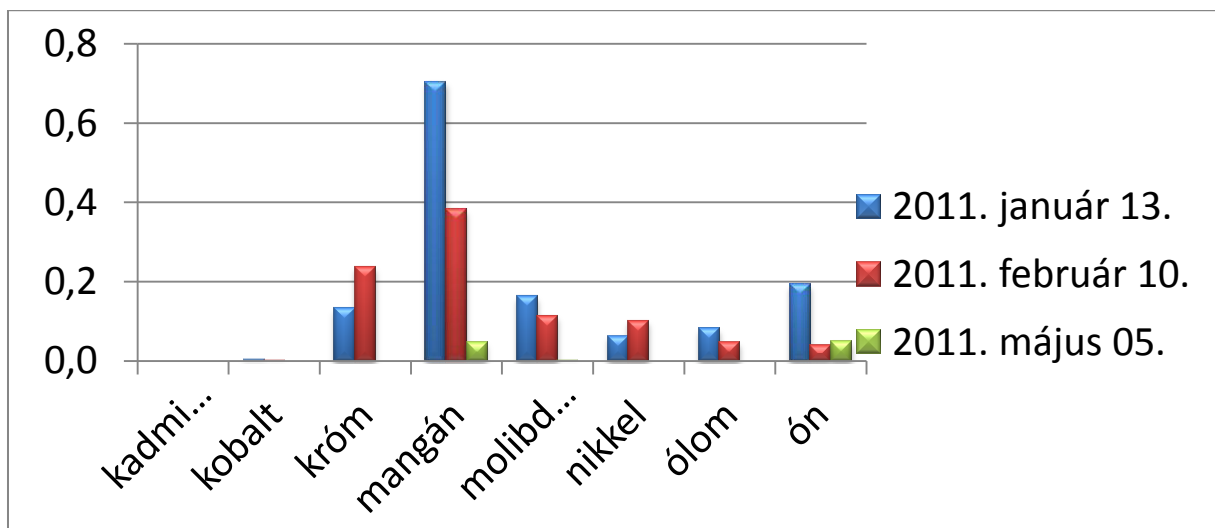
6.7.2 A szilárdanyag tartalom értékelése

- Korábbi feltételezésekkel ellentétben megállapítottuk, hogy a barlangi aeroszol összetétele térben és időben sem állandó! Mintavételünk helyszínét szándékosan választottuk meg úgy, hogy ott természetes és antropogén tényezők is befolyással bírjanak.
- Megkülönböztethetjük azokat a kimagasló értékeket, amikor nagy létszámú barlangász-csoport vonult el a berendezés előtt. Az overálokön behozott szennyeződés agyagtartalma egyértelműen kimutatható volt. Ezen szennyezés 24 órás átlagértéke nem haladta meg egyetlen esetben sem a felszíni levegőre rendelettel előírt határértéket, de feltételezhető, hogy az elvonulás időszaka alatt csúcserőke jóval az elviselhető mérték felett volt.
- Mindez arra hívja fel a figyelmet, hogy tisztítatlan barlangi öltözékben történő barlangjárással jelentősen terheljük a barlangi levegőt és az élő szervezeteket. Azokon a napokon, melyeken barlangászok nem jártak a mintavételi helyszínen, kimutatható volt időbeni változás, mely feltételezhetően természetes tényezőkre vezethető vissza. A barlang ezen szakaszon a mélykarsztból lélegzik, és a feláramló aeroszol összetétele sem állandó.

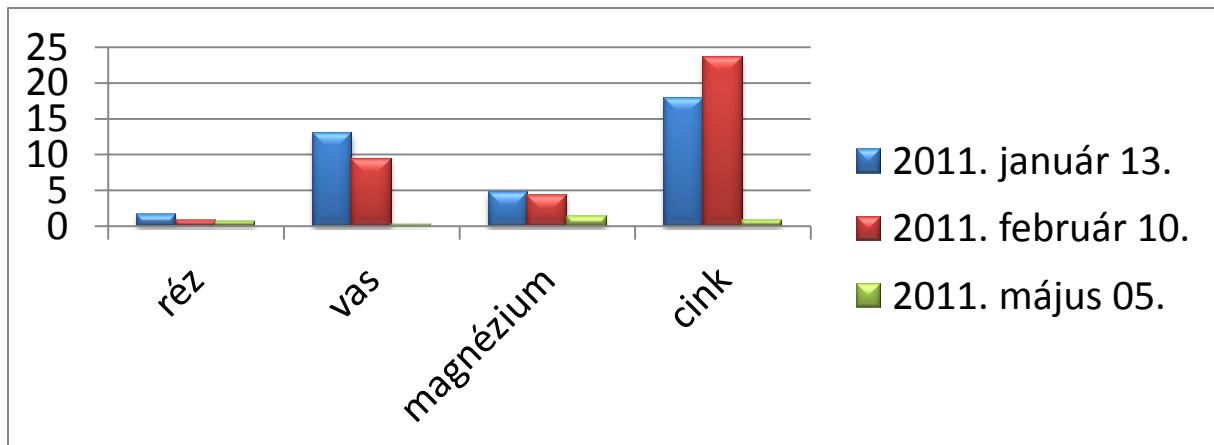
6.8 2011.-ben az „Agyagos-folyosó” terápiás szakaszán végzett 24 órás mérések eredményeinek bemutatása



66. ábra: Agyagos-folyosó levegőjének PM10 szilárdanyag-koncentrációja a mintákban $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ -ben



67. ábra: Agyagos-folyosó 1 napos aeroszol mintavételek, egyes fémek tömege a mintában $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ -ben



68. ábra: Agyagos-folyosó 1 napos aeroszol mintavételek, egyes fémek tömege a mintában $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ -ben

6.8.1 Az Agyagos-folyosó elszennyeződése

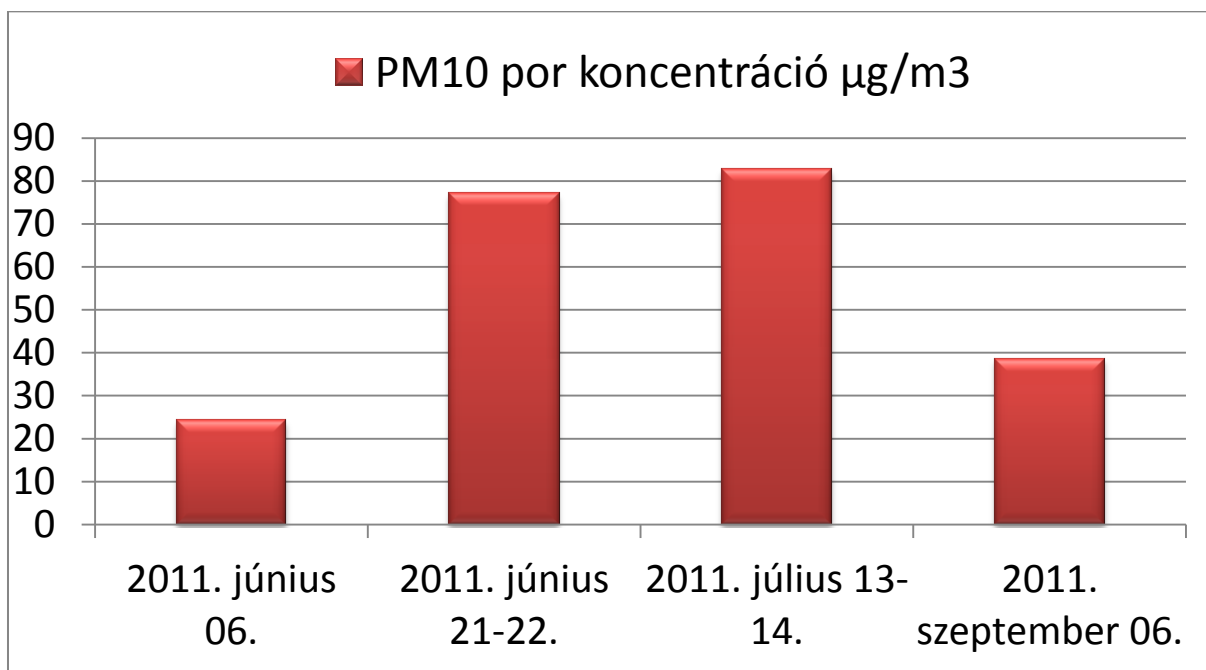
- A vizsgálatot szándékosan arra az időszakra tettük, amikor a barlang fogadó-épületének felújítása zajlott. Arra voltunk kíváncsiak, hogy a levett felső üvegajtón keresztül (a téli időszakra jellemzően) leáramló cigarettafüst, festékes oldószergőz és nagymennyiségű építési por milyen mértékben talál magának utat az ideiglenes műanyag függönyön és az alsó vasajton keresztül a barlang terápiás célra történő bővítése felé.

6.8.2 Meghökkenítő eredmények

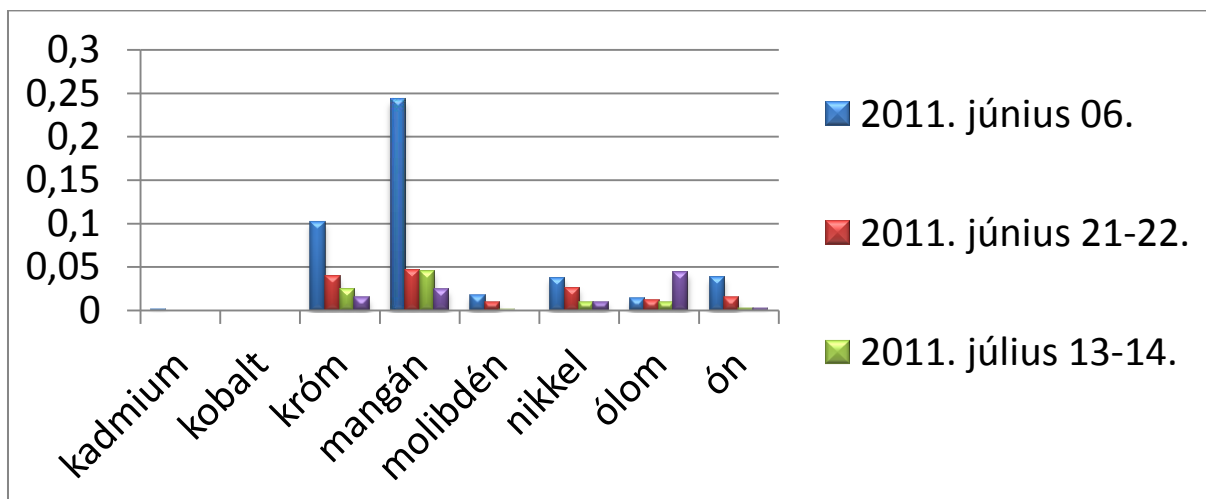
Az eredmények feldolgozásánál két fontos megállapítást tettünk:

- A felújítási munkák időszaka alatt (január-február) az összes szilárdanyag-tartalom a korábban mért értékek 2-3 szorosára növekedett. A legnagyobb változást a mintákon belül az antropogén-szennyezők hozták, tehát a felújításból származó szennyezők lejutottak az Agyagos-folyosóba.
- A kontroll-mérés időszakában (2 hónappal a munkák befejezés után) azonban visszaálltak az értékek a normális szint közelébe, vagyis a barlang öntisztulása 2 hónap alatt megtörtént.

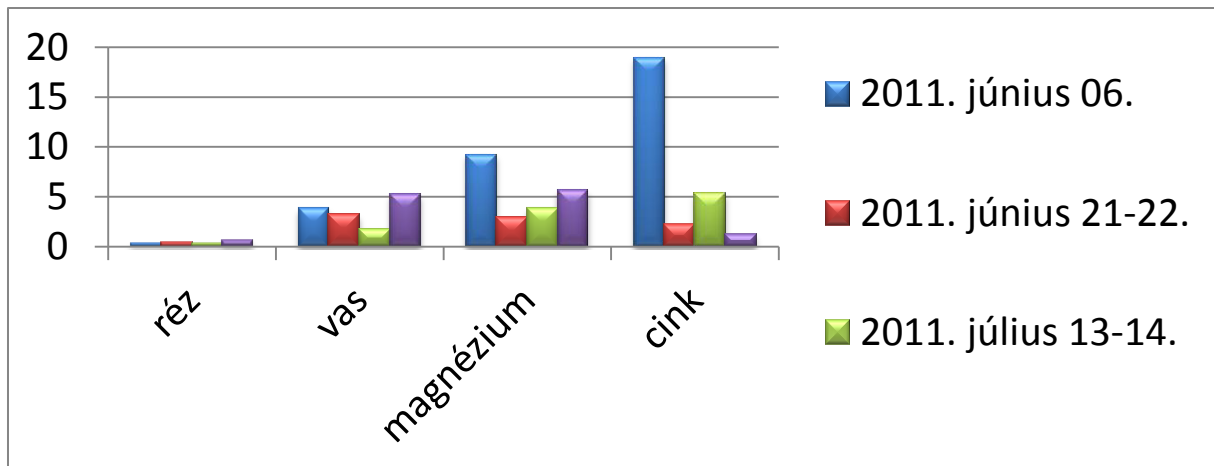
6.9 2011.-ben az „Óriás-folyosó” terápiás szakaszán végzett 24 órás mérések eredményeinek bemutatása



69. ábra: Óriás-folyosó levegőjének PM10 szilárdanyag-koncentrációja a mintákban $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ -ben



70. ábra: Óriás-folyosó 1 napos aeroszol mintavételek, egyes fémek tömege a mintában $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ -ben

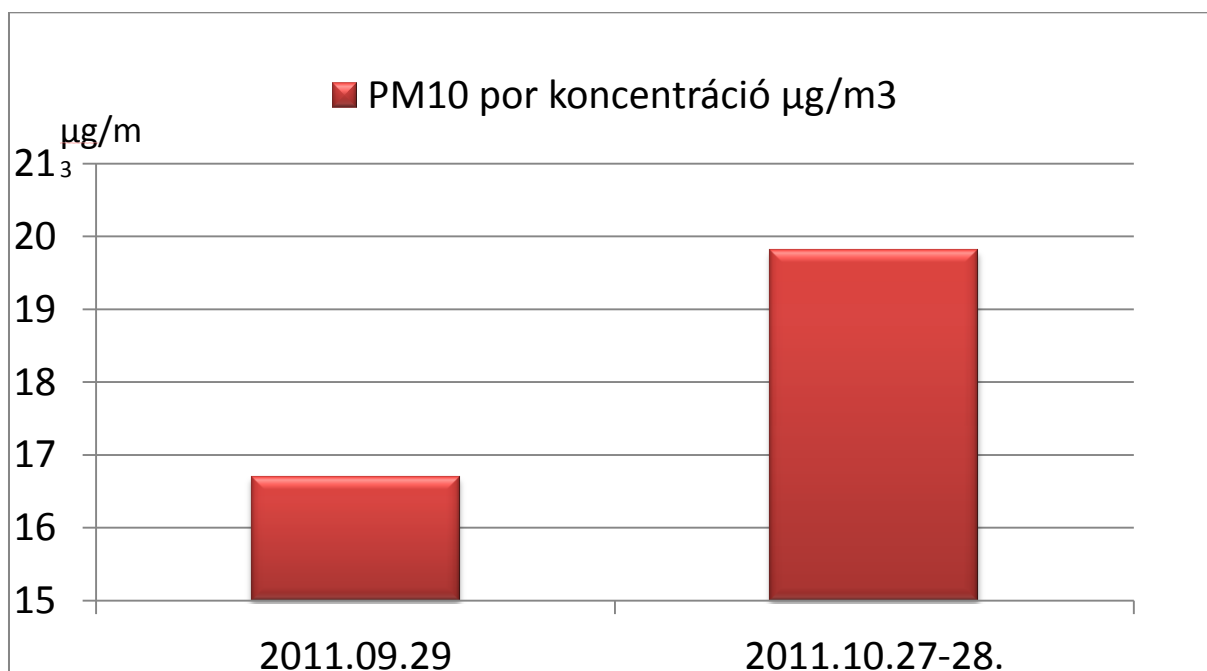


71. ábra: Óriás-folyosó 1 napos aeroszol mintavételek, egyes fémek tömege a mintában $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ -ben

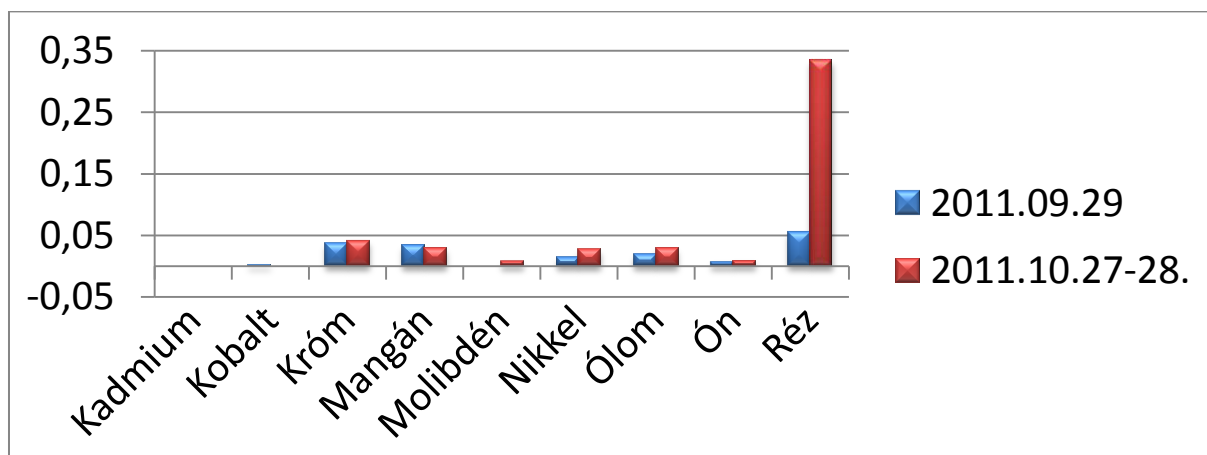
6.9.1 Az Óriás-folyosó mintáinak elemzése

- Ennek a mintavételi pontnak a különlegessége, hogy az Óriás-folyosó terápiás szakaszának legmélyebb pontján pontosan arra a helyre raktuk a mintavevőt, ahol egy hasadékon keresztül a nyári időszakban mélykarsztból származó, CO_2 -ben dús levegő áramlik a folyosóba.
- Jól láthatóan, a szilárdanyag-koncentráció a legmelegebb hónapokban érte el a legmagasabb pontot, ami duplája volt a korábban mért adatoknak. Az összetevőkből azonban láthatjuk, hogy ez a kéreg-eredetű alkotók koncentráció-változásából és nem pedig az antropogén szennyezőkből származik.
- Az is látható, hogy a kéreg-eredetű alkotók legmagasabb értékei éppen június elejére estek, amikor egyébként az összes-szilárd mennyiség csak a fele értéke volt a júliusinak. Ez nyilván a nem mért egyéb komponensek későbbi túlsúlyával magyarázható (Ca, Mg), amit a megnövekedett áramlás nagyobb mértékben szállított fel a hasadék-rendszerben, mint korábban.

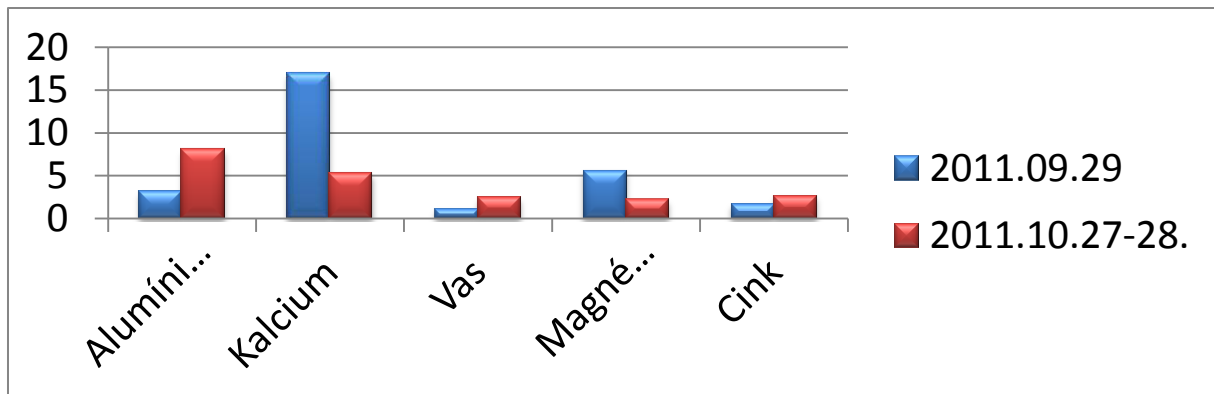
6.10 2011.-ben az „Óriás-folyosó karzat” terápiai szakaszán végzett 24 órás mérések eredményeinek bemutatása



72. ábra: „Óriás-folyosó Karzata” levegőjének PM10 szilárdanyag-koncentrációja a mintákban µg/Nm³-ben



73. ábra: „Óriás-folyosó Karzata” 1 napos aeroszol mintavételek, egyes fémek tömege a mintában µg/Nm³-ben



74. ábra: „Óriás-folyosó Karzata” 1 napos aeroszol mintavételek, egyes fémek tömege a mintában µg/Nm³-ben

6.10.1 A „Karzat” mintáinak elemzése

- A Karzat első mintavételénél még a nyári légkörzés (barlangból a felszínre), míg a másodiknál már a téli légkörzés (felszínről a barlangba) volt tapasztalható. Mindkét mintavétel terápiás és idegenforgalmi időszakban történt amikor a betegek és a turisták által behozott szennyezőanyag is jelen volt a barlangban.
- Jól láthatóan az antropogén szennyezők (Pb, Ni, Cr, Cu, Sn) is megnövekedtek az októberi mintában, miközben a kéreg-eredetű anyagok alacsonyabb értékeket produkáltak.
- Mivel ez a terület a barlang mélyen fekvő része, ahova a felszíni szennyezők már csak kisebb mértékben jutnak be, ezért feltételezhetjük, hogy az antropogén-szennyezőket a turisták és a terápián résztvevők juttatták be ruházatukon keresztül a barlangba.

6.11 Összefoglalás

- A Szemlő-hegyi-barlang aeroszol-monitoring programja különböző helyszínekre és időtartamokra, különböző évszakokra terjedt ki. Megállapítást nyert, hogy a tiszta-levegőjünek tartott Gyógy-barlangjaink levegőszennyezéséért egyedül Mi vagyunk a felelősek. A lezárt rendszerek elszennyezése vagy a szennyezettség közvetlen bevitelével, vagy a lezárás megszüntetésével valósul meg.
- Lezárt Gyógy-barlangjaink igen jó szűrő képességgel és öntisztuló képességgel rendelkeznek, azonban az a kijelentés, hogy bennük a levegő tisztasága (vagy az aeroszol összetétele) térben és/vagy időben állandó lenne, nem állja meg a helyét.
- Megállapítom, hogy Gyógy-barlangjaink levegőtisztasága veszélyeztetett tényező, melynek fenntartása csak rendszeres monitoring programmal igazolható. A programok végrehajtása a Gyógy-barlangot üzemeltetők kizárólagos felelősége!

7 Időszakos klímavizsgálatok eredményeinek feldolgozása

7.1 A barlang több pontján történt rövid időtartamon belüli mérések, mint pontszerű mérések eredményei alapján statisztikai elemzést végeztem és a barlang 2008 és 2018. évek közötti 10 éves időszakára vonatkozóan az alábbi átlagokat állapítottam meg:

n = 276

Óriás-folyosó terápiás szakasz téli minimum hőmérséklet	13,1	°C
Óriás-folyosó terápiás szakasz nyári maximum hőmérséklet	14,2	°C
Óriás-folyosó terápiás szakasz éves átlag hőmérséklet	13,7	°C
Agyagos-folyosó tervezett terápiás szakasz téli minimum hőmérséklet	12,6	°C
Agyagos-folyosó tervezett terápiás szakasz nyári maximum hőmérséklet	13,9	°C
Agyagos-folyosó tervezett terápiás szakasz éves átlag hőmérséklet	13,3	°C
Liftakna terápiás szakasz téli minimum hőmérséklet	12,8	°C
Liftakna terápiás szakasz nyári maximum hőmérséklet	13,4	°C
Liftakna terápiás szakasz éves átlag hőmérséklet	13,2	°C
Óriás-folyosó terápiás szakasz téli minimum szén-dioxid	2240	ppm
Óriás-folyosó terápiás szakasz nyári maximum szén-dioxid	4150	ppm
Óriás-folyosó terápiás szakasz éves átlag szén-dioxid	3100	ppm
Agyagos-folyosó tervezett terápiás szakasz téli minimum szén-dioxid	1650	ppm
Agyagos-folyosó tervezett terápiás szakasz nyári maximum szén-dioxid	3450	ppm
Agyagos-folyosó tervezett terápiás szakasz éves átlag szén-dioxid	2870	ppm
Liftakna terápiás szakasz téli minimum szén-dioxid	1850	ppm
Liftakna terápiás szakasz nyári maximum szén-dioxid	3300	ppm
Liftakna terápiás szakasz éves átlag szén-dioxid	2560	ppm

Megjegyzés: A SZIKKTI csoport 20 éven át napi rendszerességgel olvasta le és naplózta be a barlangban elhelyezett üveghőmérőket, Kiss Jenő vezetésével. Ezen beépített eszközök összekalibrálását a saját kalibrált mérőeszközökkel több alkalommal is elvégeztem, így a beépített üveghőmérők kalibrációs egyenesét felvettem. A barlang hőmérsékletének ilyen irányú megfigyelése páratlan lehetőségeket nyújtana pl. a légközés pontosabb kirajzolásában vagy a terápiára kevésbé alkalmas időszakok kiszűrésében. Számításaim szerint kb. 5000 leolvasási alkalommal, kb. 35 000 eredmény került rögzítésre, mely azonban soha nem került elektronikus feldolgozásra.

7.1.1 A terápiás időszak alatt különböző évszakokban, több alkalommal is rögzítettem a léghőmérsékletet, a talajhőmérsékletet, a levegő szén-dioxid tartalmának és a légköri nyomásnak az értékét. Egy esős nyári napon, amikor a felszíni hőmérséklet alig volt magasabb a barlangénál, szélcsendben, két légköri front között az alábbi értékeket sikerült rögzítenem:

2014.06.24 Barlangterápia alatt 7-8 óra között				
Időpont	T (°C)			
Paraméter	levegő	T (°C) talaj	CO2 (ppm)	Pa (hPa)
Gyöngyös-folyosó	13	12,7	3263	989,6
Agyagos-folyosó	13,9	13,5	3400	988,7
Bányász-akna	13,6	13,5	3560	989,4
Óriás-Létra alatt	14,1	13,2	4008	990,2
Halál-k-folyosóban	13,8	13,6	3934	989,4
Hópalotában	14	13,4	3924	990,6
Lejtakna-alján	13,4	12,4	2842	990,7
FTC-teremben	13	12,6	2993	990,6
Pettyes-folyosó	12,3	12,1	2968	990,4
Karácsonyfák előtt	12,8	12,3	3074	990,2
Liftakna-aljában	13,3	12,6	3048	990,3
Óriás-f. kerülő-ág	13,2	12,8	2985	989,8
Óriás-f. karzat	13,6	13,1	3290	989,5
Óriás-f. feláramlás	13,5	13,2	4002	990,2
Örvény-f. Kinizsi-sz	13,5	13	3187	988,6
Örvény-f. Egyetemi	13,4	12,7	3296	986,3
Örvény-f. Bejárat	14,2	13,8	3834	985,7
Liftakna terápia után	13	12,6	3056	990,3
Átlagértékek	13,4	13,0	3370,2	989,5
Barlang u. 10. Felszín	15,6	15,3	365	985,5
Időjárás a felszínen	Eső után, szélcsendes időben			
Barlangban	Intenzív csepegés az érintett járatokban			

75. ábra: egy hűvösebb, esős nyári napon felvett alapklima-adatok bemutatása

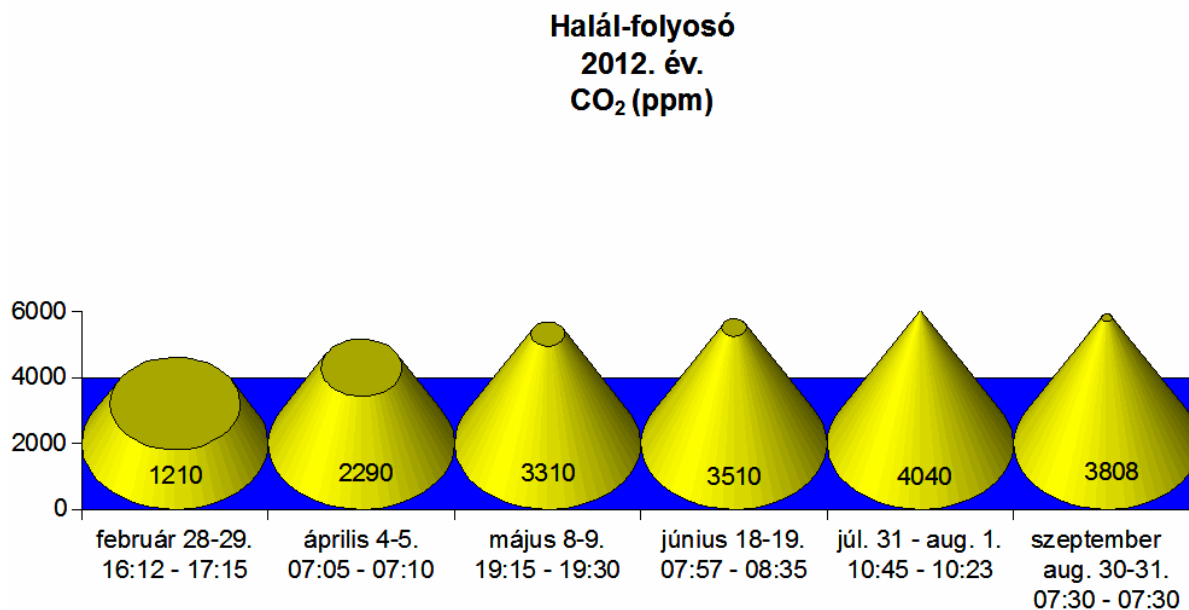
Amennyiben a havi átlaghőmérsékletekre vagyunk kíváncsiak, legcélszerűbb a barlang kitöltésének (jellemzően az agyagnak) 10 cm mélységben történő átlaghőmérsékletét mérni, hiszen az lassabban reagál a környezeti változásokra. Éves menetét vizsgálva jól követhetőek a téli minimumok és a nyári maximumok, azonban a hirtelen változásokat kiegyenlíti. Annak ellenére, hogy az alacsony légáramlás és a terápián bent tartózkodó betegek rövid időre megemelték a léghőmérsékletet (13,4°C-ra), a talajhőmérséklet átlaga (13°C) jellemzi a legjobban a havi átlagértéket.

A szén-dioxid értékek az alacsony felszíni hőmérséklet ellenére igen magasak, jellemzően egy forró júliusi napnak felelnek meg, amikor a külső-belső hőmérséklet különbsége eléri a maximumot és a mélyből történő szén-dioxid feláramlás a legintenzívebb. Most azonban ez a hatás elenyésző, helyette az intenzív esőzés hatására megnövekedett csepegés által bevitt szén-dioxid jelenik meg, mely 3370 ppm-es átlagértéket ért el.

7.2 Széndioxid-mérések eredményeinek feldolgozását a következő ábrákon mutatom be.

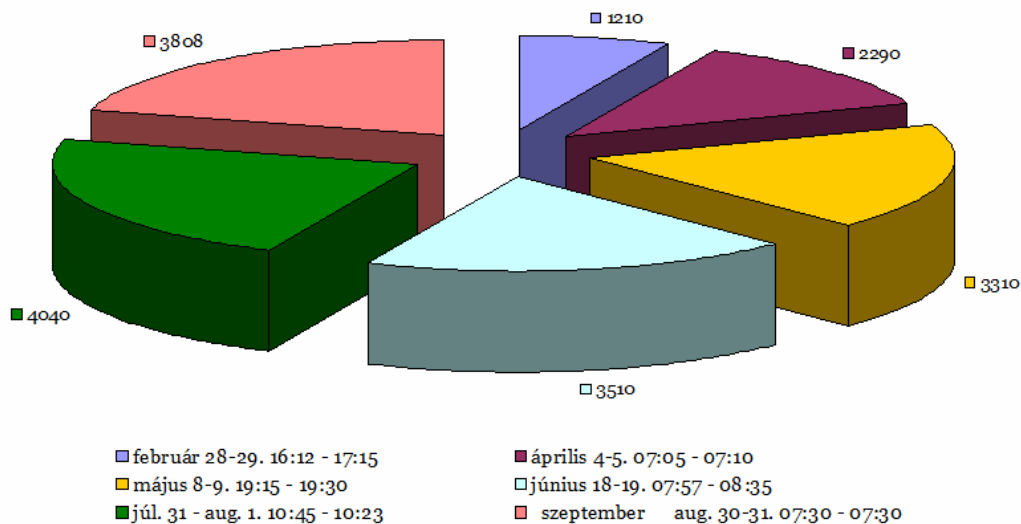
Az adatok feldolgozását és megjelenítését Horváth Á. Katalin végezte el.

A szén-dioxid értékeket NDIR-módszerrel, akkumulátoros, diffúz-érzékelővel ellátott készülékkel rögzítettem. A készülék 30 perces átlagokat tárolt el, a maximális adatszám értéke 48 db, vagyis a készülék 24 órás adatsor tárolására alkalmas.



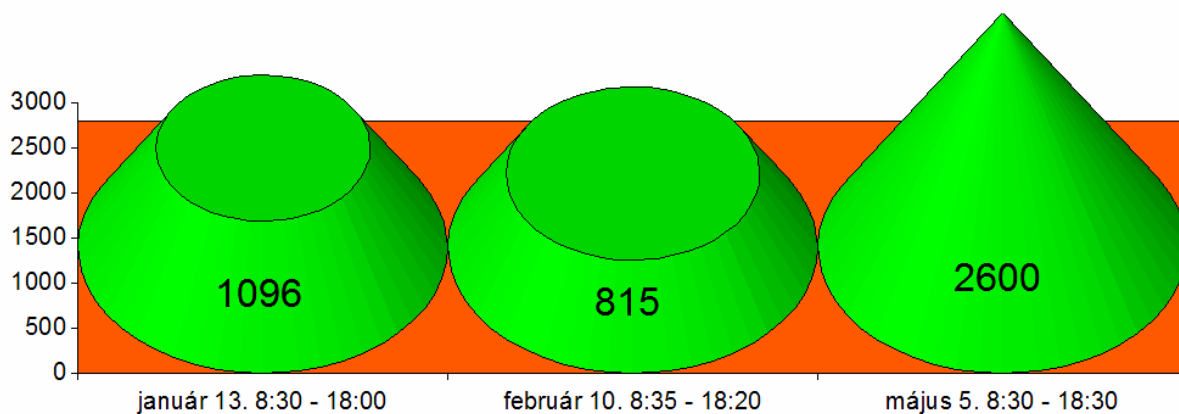
76. ábra: a Halál-keresztfolyosóban 30 percenként rögzített CO₂ adatok 24 órás átlagértékeinek bemutatása (2012)

Halál-folyosó 2012. évi CO₂ értékek



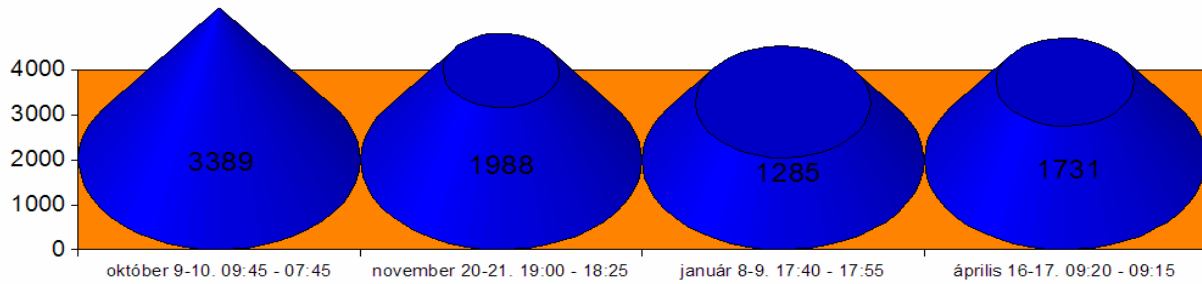
77. ábra: a Halál-keresztfolyosóban 30 percenként rögzített CO₂ adatok 24 órás átlagértékeinek bemutatása (2012) kördiagram segítségével

Agyagos 2011. év CO₂ (ppm)



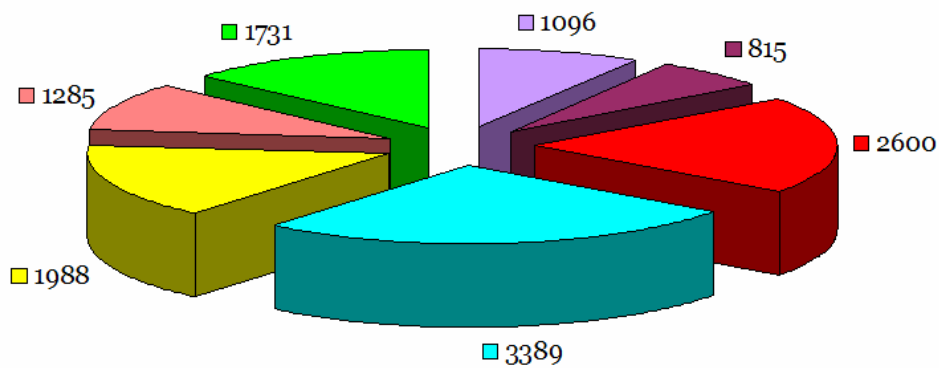
78. ábra: az Aggyagos-folyosóban 30 percenként rögzített CO₂ adatok 24 órás átlagértékeinek bemutatása (2011)

Agyagos 2013. év CO₂ (ppm)



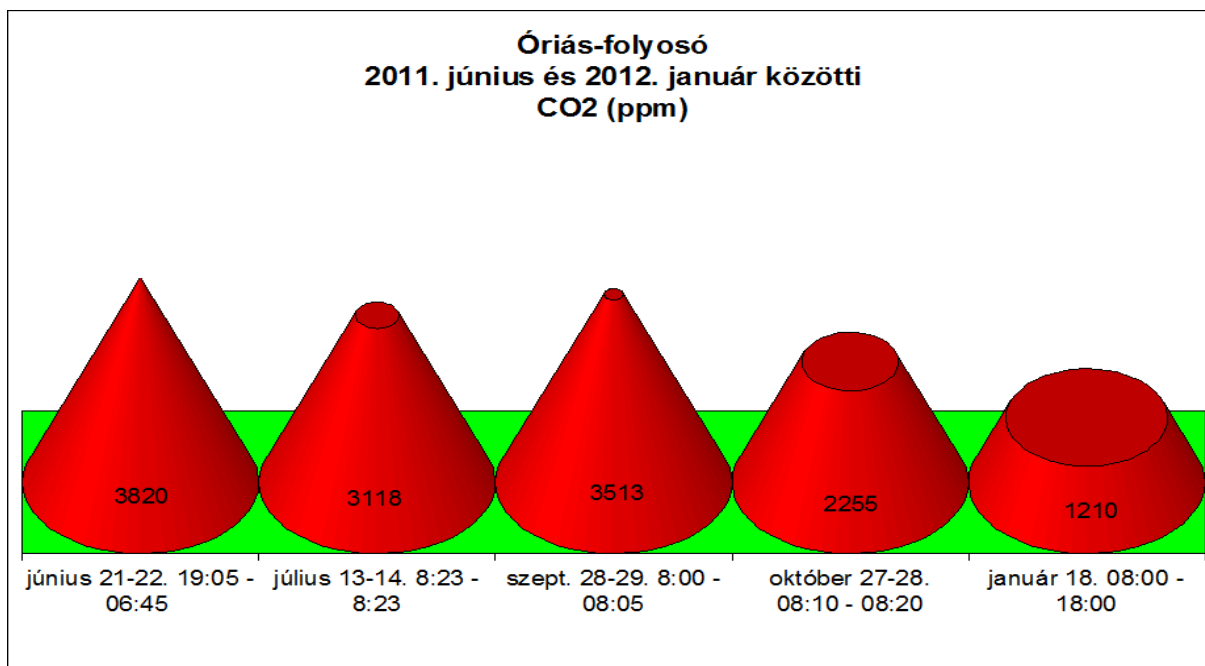
79. ábra: az Agyagos-folyosóban 30 percenként rögzített CO₂ adatok 24 órás átlagértékeinek bemutatása (2013)

2011. január - 2013. augusztus CO₂ (ppm)

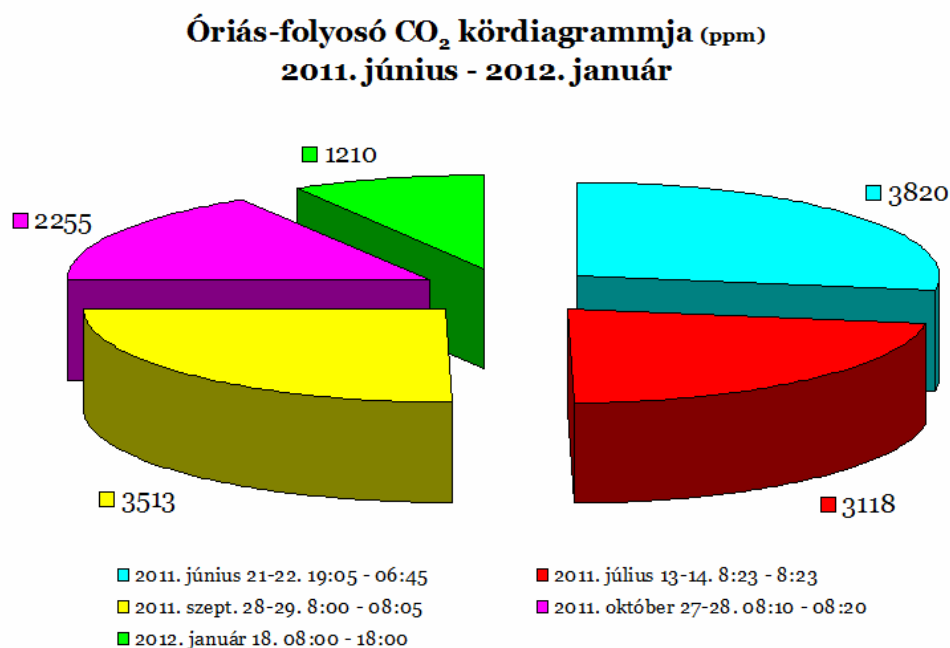


- 2011 január 13. 8:30 - 18:00 Agyagos folyosó
- 2011 február 10. 8:35 - 18:20
- 2011 május 5. 8:30 - 18:30
- 2011 október 9-10. 09:45 - 07:45 Agyagos / lift akna felőli bejárat
- 2011 november 20-21. 19:00 - 18:25
- 2013 január 8-9. 17:40 - 17:55
- 2013 április 16-17. 09:20 - 09:15

80. ábra: az Agyagos-folyosóban 30 percenként rögzített CO₂ adatok 24 órás átlagértékeinek bemutatása (2011-2013)

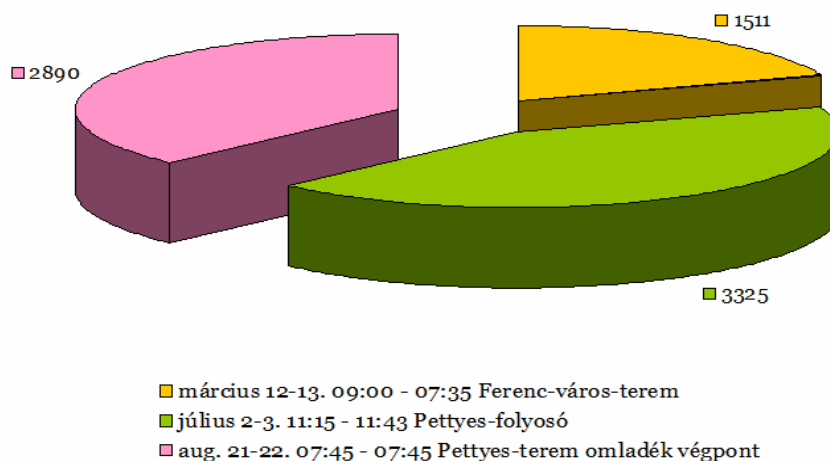


81. ábra: az Óriás-folyosóban 30 percenként rögzített CO₂ adatok 24 órás átlagértékeinek bemutatása (2011-2012)

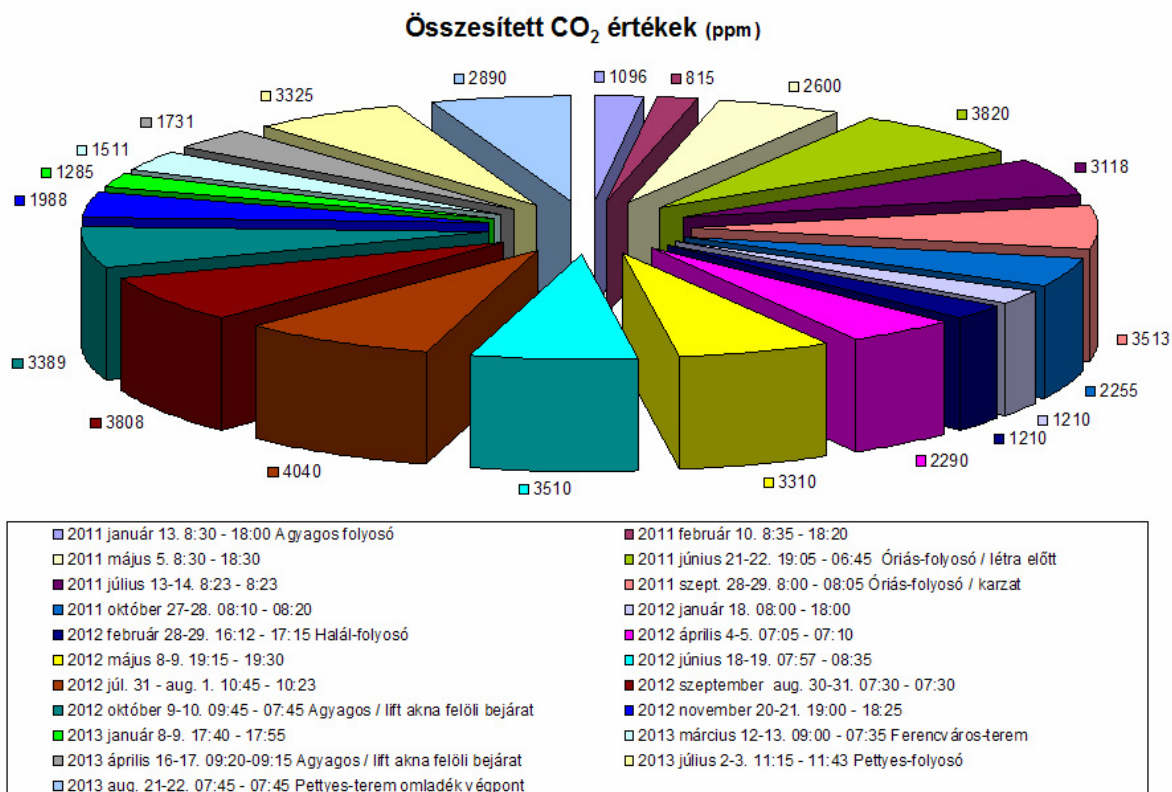


82. ábra: az Óriás-folyosóban 30 percenként rögzített CO₂ adatok 24 órás átlagértékeinek bemutatása (2011-2012) kördiagramban ábrázolva

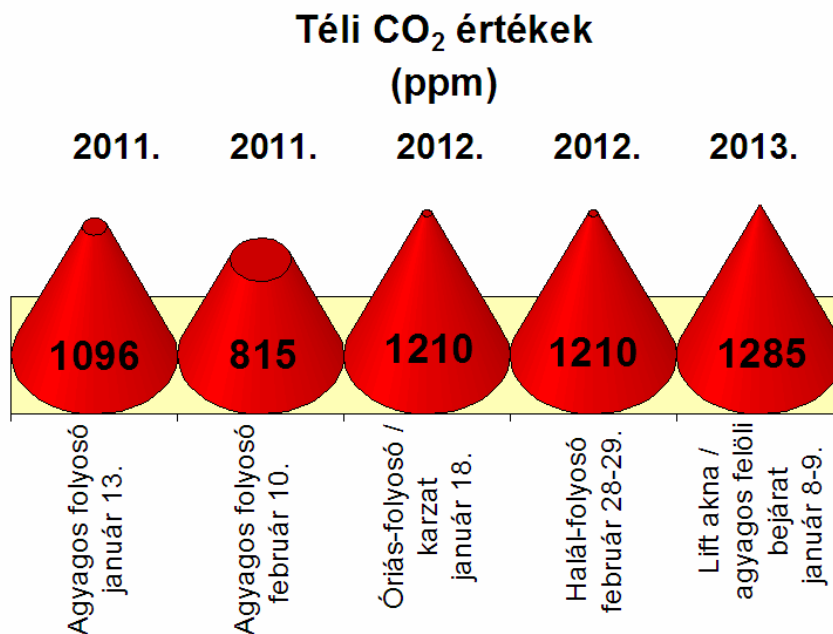
2013. évi Egyéb mérési helyszínek CO₂ (ppm) értéke



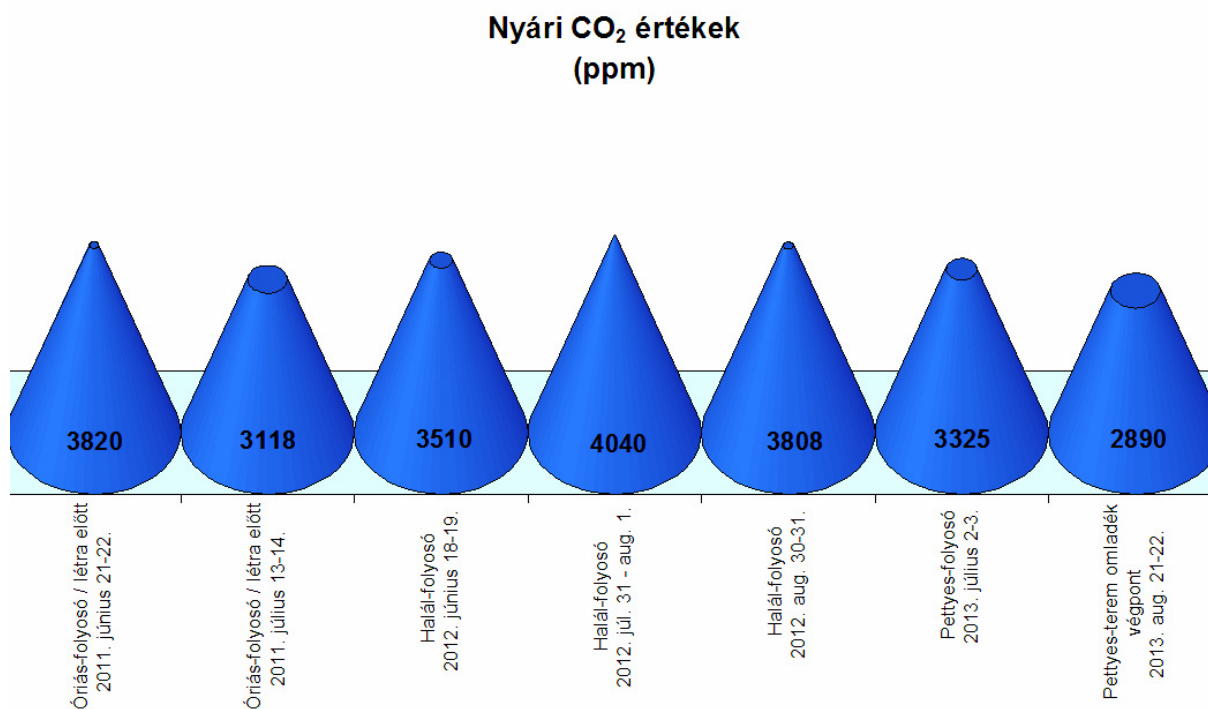
83. ábra: a Ferencvárosi-teremben és a Pettyes-teremben 30 percenként rögzített CO₂ adatok 24 órás átlagértékeinek bemutatása (2013)



84. ábra: az összes helyszín 30 percenként rögzített CO₂ adataiból nyert 24 órás átlagértékeinek bemutatása (2011-2013)

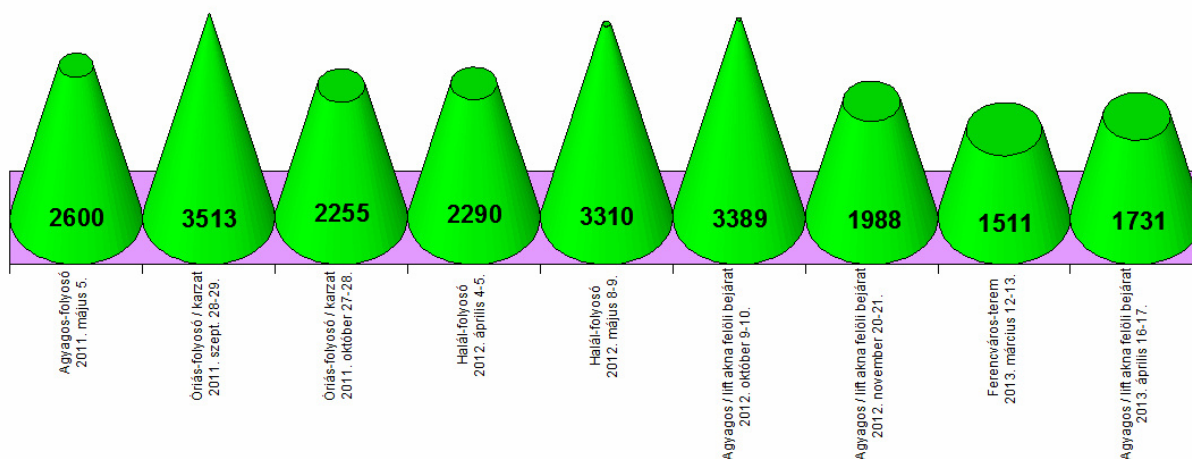


85. ábra: téli légkörzés mellett legyűjtött CO₂ értékek összehasonlítása (2011-2013)

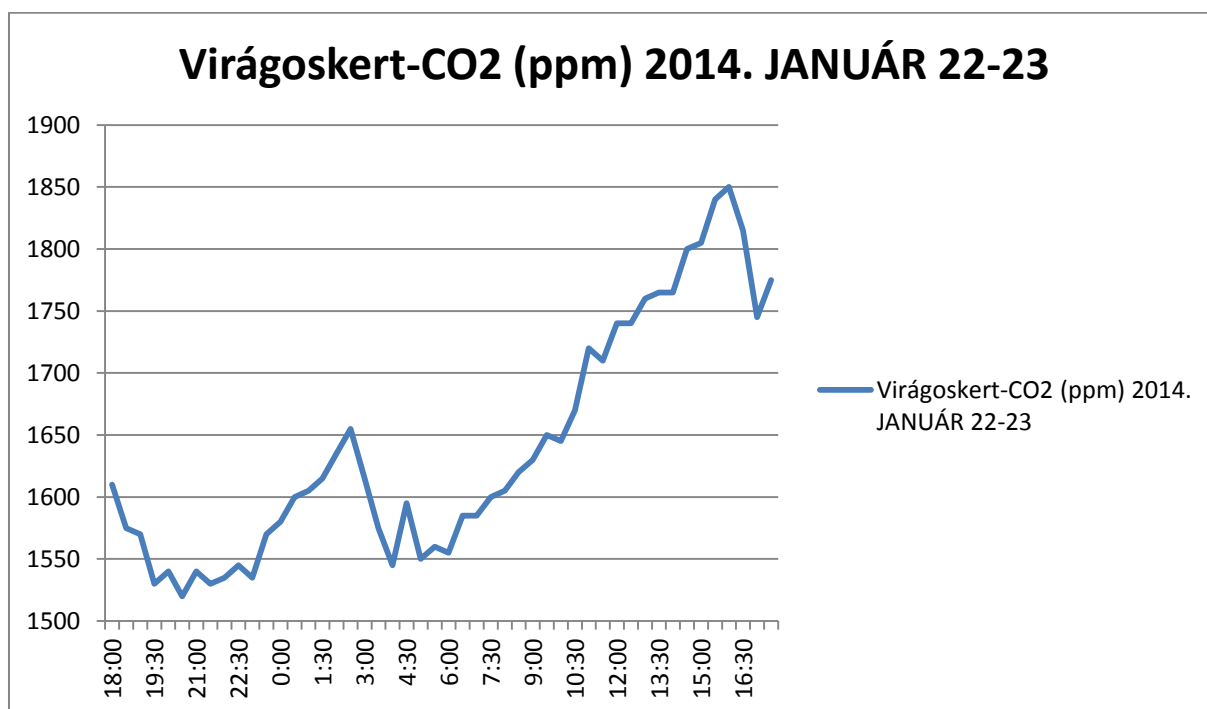


86. ábra: nyári légkörzés mellett legyűjtött CO₂ értékek összehasonlítása (2011-2013)

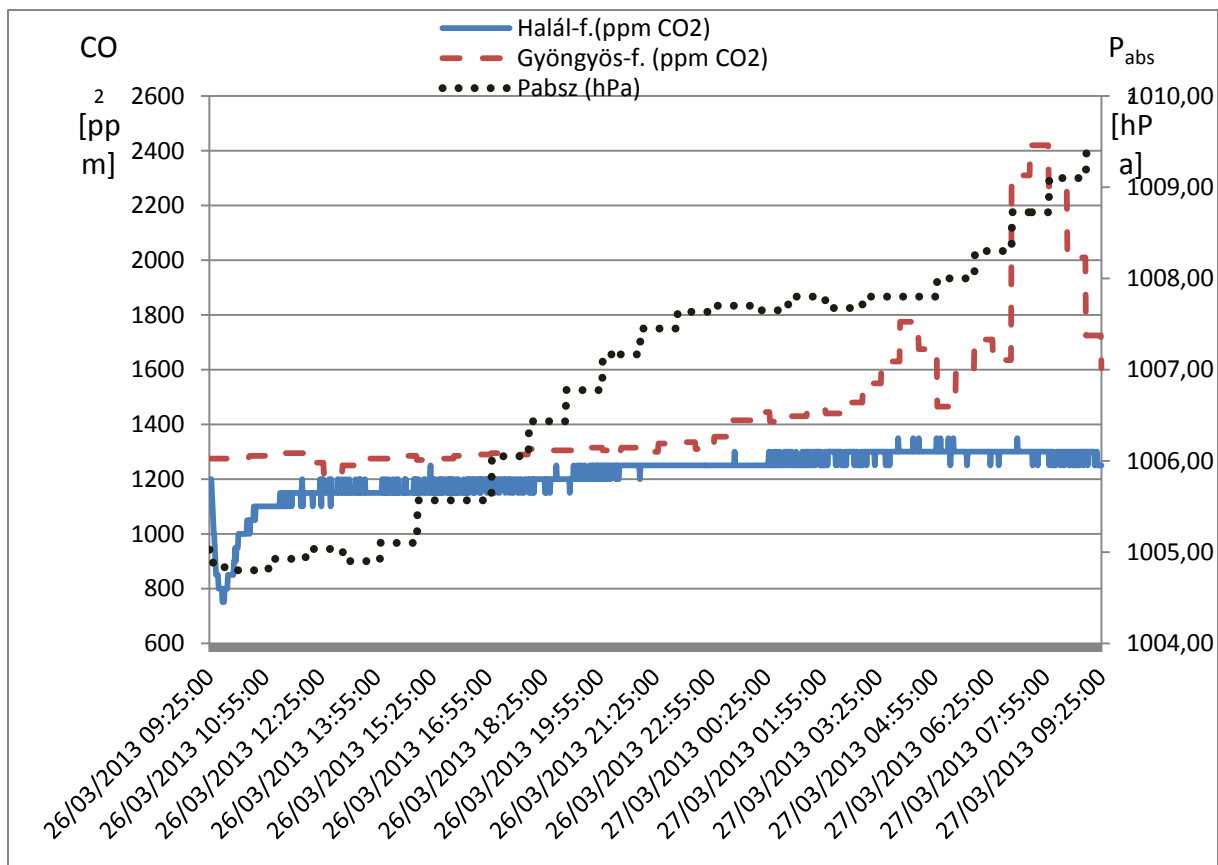
Tavaszi és őszi CO₂ értékek (ppm)



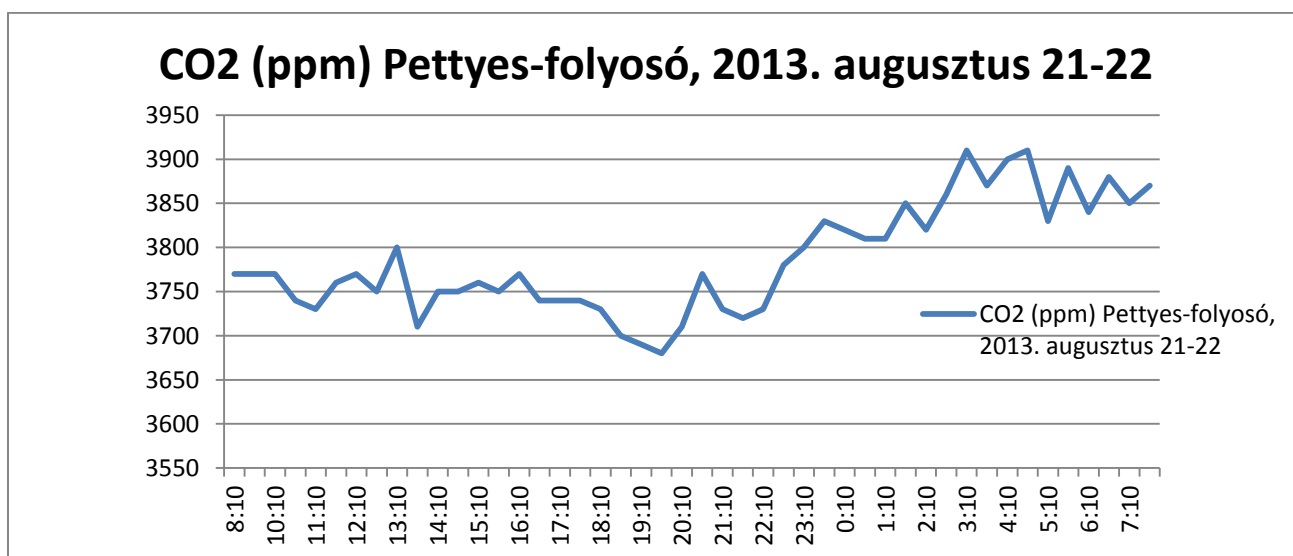
87. ábra: tavaszi és őszi légkörzés mellett legyűjtött CO₂ értékek összehasonlítása (2011-2013)



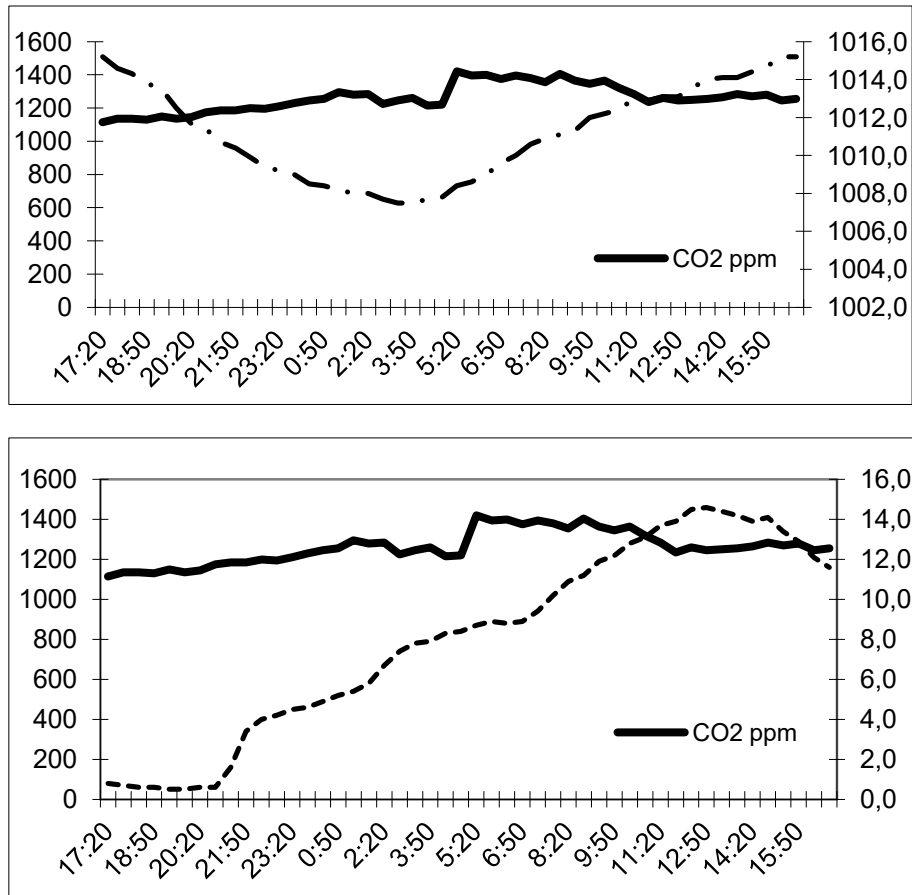
88. ábra: 24 órás CO₂ regisztrátum januárban, az Óriás-folyosó „Virágoskert” járatrészén. A grafikonon jól látható az éjszakai lehűlés alatt beáramló felszíni levegő öblítő-hatása és az idegenforgalom, valamint a terápia szén-dioxid növelő hatása is.



89. ábra: a grafikon 2013 tavaszán történt 24 órás CO_2 loggerelést mutatja be két helyszínen, a felszíni légnyomás változásának függvényében. Ebben az ábrázolás módban látható a legjobban, hogy a felszíni légnyomás emelkedése a Gyöngyös-folyosóban (amely átjárót képez az Agyagos-folyosó és a Pettyes-terem között) megemeli a feláramló CO_2 szintet, miközben a Halál-keresztfolyosó mélykarsztba lenyúló aknájában ugyanez a hatás nem érződik. Ez mutatja, hogy a két járatrészt tápláló ismeretlen alsó szintek nem ugyanazon rendszer részeit képezik.



90. ábra: nyári, 24 órás CO_2 loggerelés diagramja a Pettyes-folyosóban. A felszínen a légnyomás 1020,2-1021,9 hPa, a hőmérséklet 13,6-26,1°C között változott



91-92. ábra: 24 órás CO₂ loggerelés az Agyagos-folyosó Liftakna-felöli bejáratában, a felszíni légnyomás és hőmérséklet függvényében, 2012. február 28-29.-e között. A barlang ezen szakasza kiegyenlítő-zónaként viselkedik az Agyagos-folyosó (Egyetemi-szakasz - Örvény-folyosó) és a Hosszú-folyosó járatai között, ezért itt nem mutatható ki szignifikáns összefüggés a felszíni légnyomás és hőmérséklet változása és a barlangi CO₂ változása között. A barlang többi szakaszán a korábbiakban bemutatott diagramokon ettől eltérő szignifikancia volt kimutatható.



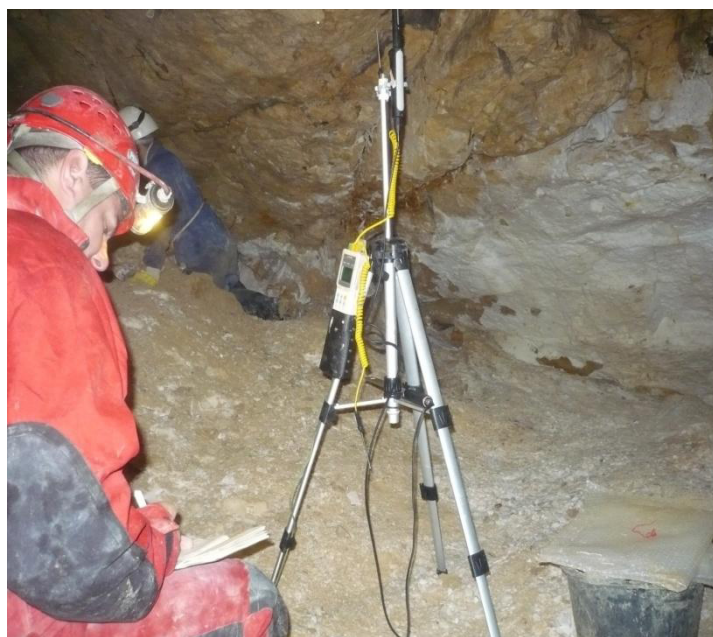
93. ábra: Stieber József klímamérés közben a Gyöngyös-folyosó végpontján (fotó: Horváth Á. Katalin)



94-95-96. ábra: klímamérések 2006-ban a gyermekeim bevonásával. Stieber Lilla és Stieber Bence számára már kis gyermekként is természetes volt, hogy időnként megállunk, elővesszünk valamilyen mérőműszert és a mérés eredményét feljegyezzük a naplóba... (fotó: Lenkei Péter)



97-98. ábra: barlangi aeroszol többféle módszerrel történő mintavételezése az „Óriás-folyosó Karzatán” (fotó: Izmini Zsuzsanna)



99-100. ábra: klímamérés a Csengő-teremben, Kálmán László bevonásával, 2012.-ben. A képen látható állványon hőmérséklet- és páratartalom regisztráló és szén-dioxid mérő volt rögzítve és a kis terem terhelhetőségét vizsgáltuk. A mérés időszaka alatt 3 órán keresztül több mint 10 barlangász egy pontba csoportosult, mely jelentős hőt és szén-dioxidot termelt. A teremben egy idő után konvekció alakult ki, mely a meleg levegőt folyamatosan forgatva a széndioxidot a magasabban fekvő terem-bejáraton keresztül kitolta. 2 óra elteltével gyakorlatilag egyensúlyi állapot állt be, azaz a kilélegzett szén-dioxid koncentrációja már nem növekedett tovább (fotó: Stieber Balázs)



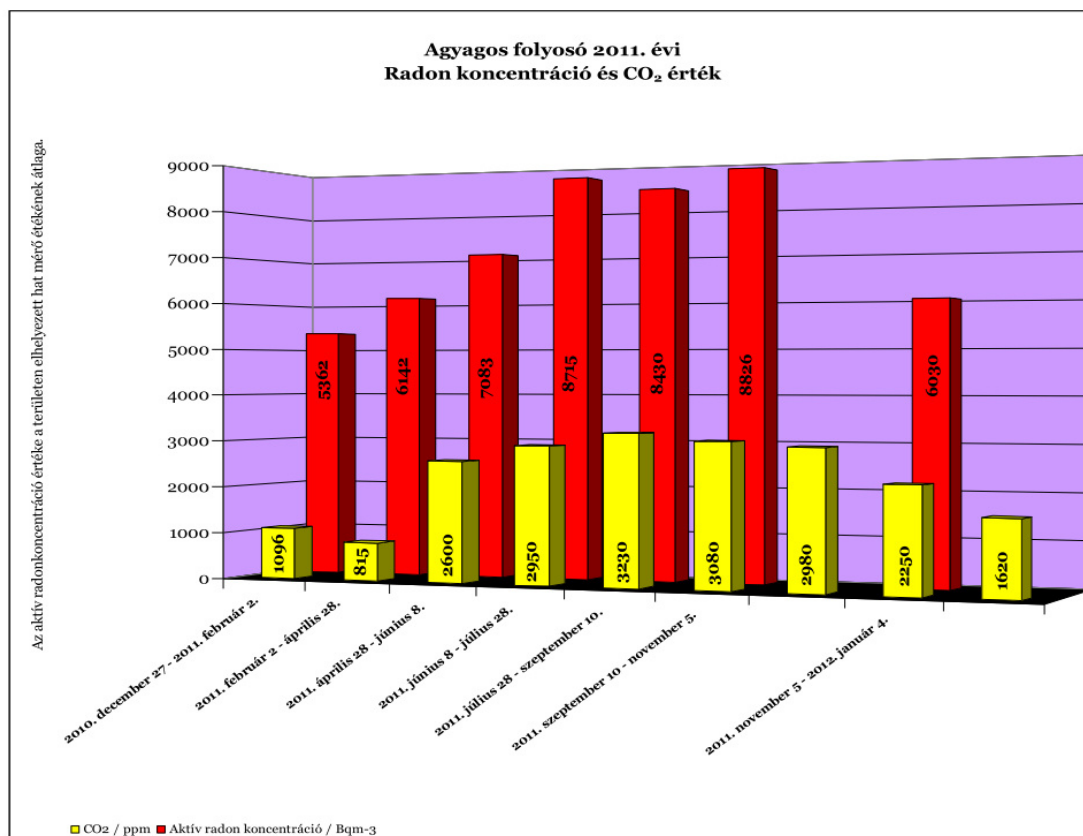
101. ábra: abszolút-nedvesség meghatározása az Agyagos-folyosóban, elektronikus-pszichrométerrel, 2014.-ben (fotó: Horváth Á. Katalin)



102-103. ábra: klímamérések a fiatalok bevonásával 2012-ben a barlangban. Kálmán László beépített higanyos hőmérőt olvas le az Agyagos-folyosóban, míg Stieber Balázs szén-dioxidot mér a Kadic-folyosóban (fotó: Stieber József)



104-105-106-107. ábra: Barlangi kutatásvezetői tanfolyam hallgatóival „Barlangklimatológiai terepgyakorlaton”, 2013. május 7.-én. Éppen az antropogén-tényezők kizárását gyakoroljuk a mérésekben. Ennek érdekében héliumos léggömbökkel emeljük 25 m magasba a hőmérőt és a szén-dioxid mérőt, hogy 5 méterenként rögzítsük a Liftaknában a hőmérsékletet és a szén-dioxid adatokat. Megállapítottuk, hogy a Lift-aknában felfelé haladva 5 méterenként átlagosan $0,1^{\circ}\text{C}$ -al emelkedik a hőmérséklet, mely 25 m magasságban eléri a $13,5^{\circ}\text{C}$ -ot, majd egyensúlyi állapotba kerül és nem emelkedik tovább. (Fotó: Horváth Á. Katalin)

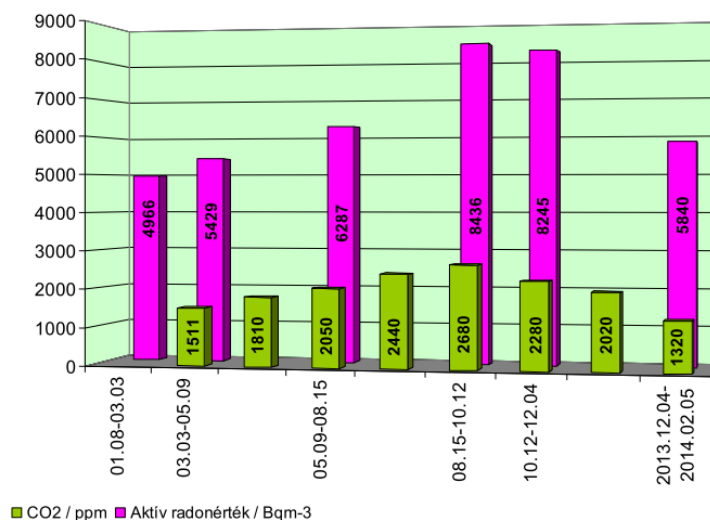


8 Radonmérések eredményeinek bemutatása

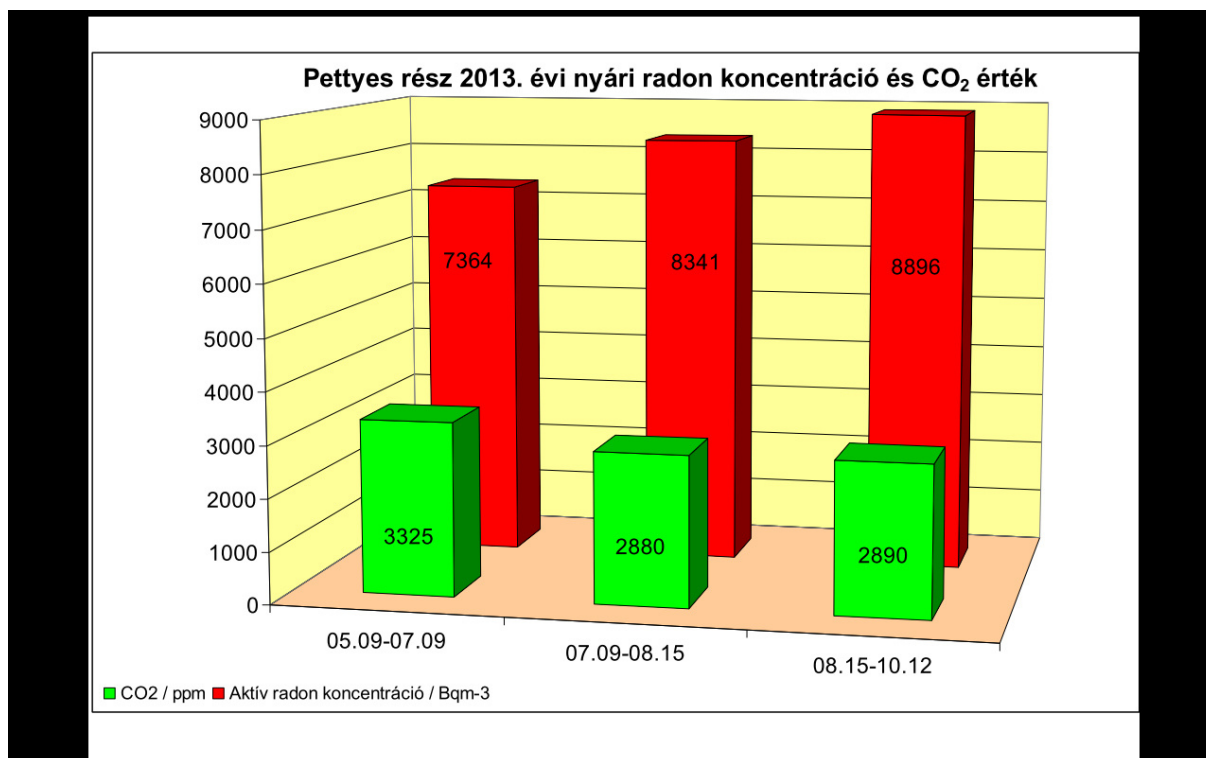
8.1 Előzmények: az MTA-ATOMKI (Debrecen) és a SZIKKTI SE között létrejött kutatási megállapodás alapján 2008 és 2018 között 22 pontra került kihelyezésre Alfa-nyomdetektor, melyek átlagosan 2 hónapos besugárzási idővel gyűjtötték az adatokat. Kiss Jenő halálával a kutatási program további sorsa megkérdőjeleződött és az eredeti megállapodás szerinti eredményközlés sem tisztázódott. Így jelen fejezetben nem részletezem a leggyűjtött adatokat, csak a radon-mérésekkel egy időben végzett szén-dioxid mérések összefüggéseit tárgyalom. Az alább bemutatott ábrák célja, hogy rávilágítson a feláramló radon és az ugyanazon pontokról feláramló szén-dioxid koncentrációja közötti szoros korrelációra, mely természetesen barlang-specifikus összefüggés, így más barlangtípus esetén, vagy erős antropogén hatás esetén ez az összefüggés csak óvatosan, minden körülményt megvizsgálva alkalmazható.

108. ábra: az Agyagos-folyosóban 2011-ben, hat ponton mért aktív radon koncentrációk átlagértékeinek 2 havonta történő megjelenítése az átlagos szén-dioxid koncentráció értékével együtt ábrázolva. Az eredmények értékelésénél fontos megjegyezni, hogy a radon-besugárzási időszakok (átlagosan 60 nap) alatt szén-dioxidot csak néhány alkalommal, 24 órás időszakban sikerült regisztrálnunk, így a szén-dioxid értékek átlaga nem mindenhol tekinthető reprezentatívnak. Ennek ellenére is szoros korreláció mutatható ki az aktív radon koncentráció évszakos változása és a szén-dioxid átlagos koncentrációja között. A kora-tavaszi értékek a szén-dioxid méréseknél még téli légkörzésbe estek, míg az aktív-radon koncentráció értékek már a téli-légkörzés és az átmeneti időszakot is átfogó átlagértéket szolgáltattak számunkra.

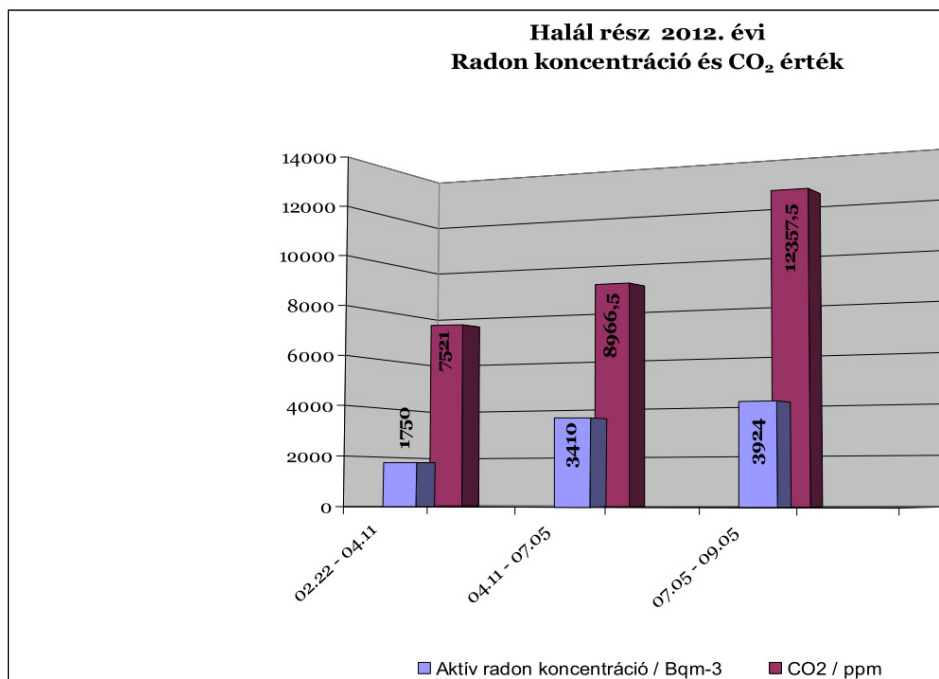
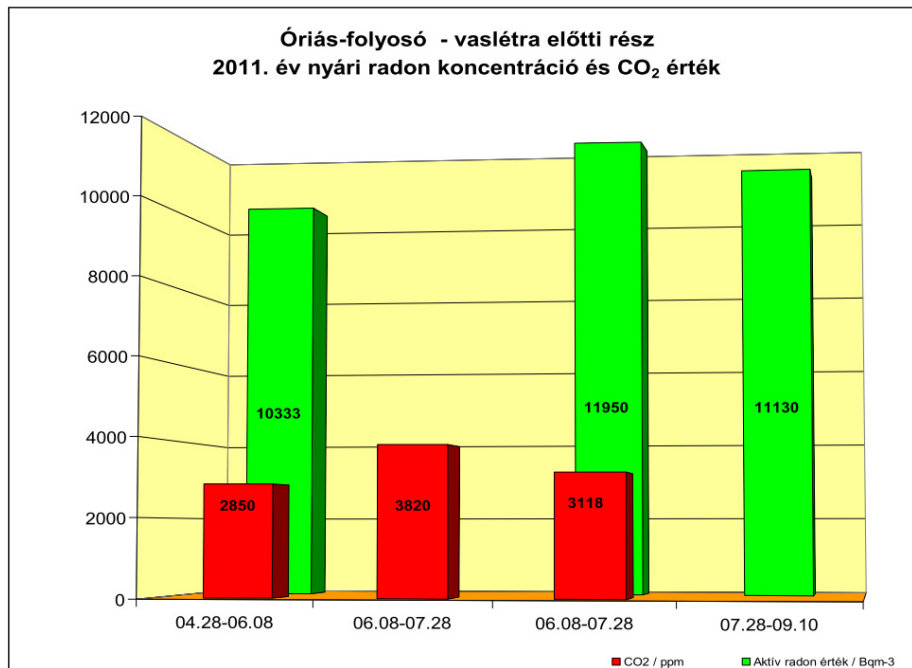
Ferencvárosi-terem 2013. évi radonkoncentráció és CO₂ érték



109. ábra: a Ferencvárosi-teremben 2013.-ban, egy ponton mért aktív radon koncentrációk átlagértékeinek 2 havonta történő megjelenítése az átlagos szén-dioxid koncentráció értékével együtt ábrázolva. Az eredmények értékelésénél fontos megjegyezni, hogy a radon-besugárzási időszakok (átlagosan 60 nap) alatt szén-dioxidot csak néhány alkalommal, 24 órás időszakban sikerült regisztrálnunk, így a szén-dioxid értékek átlaga nem mindenhol tekinthető reprezentatívnak. Ennek ellenére is szoros korreláció mutatható ki az aktív radon koncentráció évszakos változása és a szén-dioxid átlagos koncentrációja között. Az Agyagos-folyosóban regisztrált értékektől eltérően, itt mind a radon, mind a szén-dioxid értéke a légkörzés és szellőztetés mértékében változik. Látható, hogy ez a szakasz már a barlang belső részeiből származó radont és széndioxidot is összegyűjti, mely télen a kőzetrepedéseken keresztül beáramló sűrű-hideg levegő hatására felhígul (a kettős zsilipelés hatására a Lejtaknán lejutó felszíni levegő hatása elenyésző), míg nyáron a kifelé áramló barlangi levegő hatására a mélyből történő feláramlást felerősíti, így maximuma mindkét paraméter esetén a legmelegebb hónapokra tehető. Az adatok értékeléséből azt is láthatjuk, hogy a téli minimum és nyári maximum értékek aránya közel azonos, a radon ($8436/4966=1,69$) esetében kicsit alacsonyabb, míg a szén-dioxid esetében ($2680/1320=2,03$) kicsit nagyobb arány mutatható ki. Valószínűleg a szén-dioxid folyamatos adatgyűjtése mellett annak átlagértéke az időszakra vonatkozóan csökkenne, így a radon és a szén-dioxid nyári/téli aránypárja még jobban megközelítené egymást.



110. ábra: a Pettyes-teremben 2013.-ban, nyári légközés mellett, egy ponton mért aktív radon koncentrációk átlagértékeinek 2 havonta történő megjelenítése az átlagos szén-dioxid koncentráció értékével együtt ábrázolva. Az eredmények értékelésénél fontos megjegyezni, hogy a radon-besugárzási időszakok (átlagosan 60 nap) alatt szén-dioxidot csak néhány alkalommal, 24 órás időszakban sikerült regisztrálnunk, így a szén-dioxid értékek átlaga nem mindenhol tekinthető reprezentatívnak. Itt nem mutatható ki szoros korreláció az aktív radon koncentráció évszakos változása és a szén-dioxid átlagos koncentrációja között. Ez a barlangrész egy rendkívül összetett, 3 szintes járatrendszert takar, melynek alsó járatai a Ferencvárosi-terem alá nyúlnak be, középső részei az omladékban egy ismeretlen rendszerrel tartanak levegős kapcsolatot (több korábbi klímamérés eredményére hivatkozva), míg felső járatai már a felszínre nyílnak. Ezen bonyolult szerkezeten keresztül vezet a Ferencvárosi-teremből nyitott mesterséges átjáró, mely szintén itt csatlakozik be a Hosszú-folyosóba és ide csatlakozik be levegős kapcsolattal a Gyöngyös-folyosó is. Egyértelmű, hogy a Pettyes-terem egy elosztó, mely több irányból érkező légáramlatokat egyenlít ki. A különböző örvénylő légáramlatokból kiváló ásványok több helyen is borítják a falakat, így összehasonlítható méréseket csak ezen feláramlási zónákban, egy időben történő folyamatos adatgyűjtéssel kaphatnánk. A fenti diagram adatai tehát csak azt bizonyítják, hogy a Pettyes-teremben nyári légközés mellett a radon és a szén-dioxid forrása eltérő helyekről származik.



111-112. ábra: az Óriás-folyosó vaslétra előtti részén egy aktív feláramlási pont van, melyet régóta figyelemmel kísérek. Az innen származó szén-dioxid koncentrációja szoros korrelációt mutat az aktív radon koncentrációval. Hasonló jelenség mutatható ki a Halál-keresztfolyosóban, melyből mind a szén-dioxid, mind pedig a radon esetében a maximális nyári koncentrációértékek mutathatóak ki. A Halál-keresztfolyosóban levett aeroszol minták fémösszetétele megegyezett a Molnár János barlangban levett fémösszetétellel, így a levegős kapcsolat bizonyított.

9. Aeroszolból történő oldás vagy kiválás-formák bemutatása



113-114. ábra: a Kadic-folyosó alsó részében található a barlang legnagyobb állóvize, az un. „Tó”, melynek felülete a csepegővíz intenzitása függvényében $2 \dots 5 \text{ m}^2$ között változik. Ez a barlang leg-nedvesebb része, ahol a járat magasság miatt állandó feláramlás tapasztalható. Az alsó képen a „Tó” feletti járatfal egy része látható, melyen az intenzív lefolyások látványos cseppkőesedést, míg a feláramlások pedig huzatborsókövek kiválását hozták létre.



115-116. ábra: szintén a „Tó” feletti falszakaszon tanulmányozhatjuk a feláramlásokból történő huzat-borsókő kiválásokat, de láthatunk farkasfogas visszaoldódás nyomokat is a leszálló vizek által lerakott cseppkőformákon, mely azt mutatja, hogy a feláramlásokban időnként savas kémhatású aeroszol is előfordult, mely a lerakott cseppkőkérgéket visszaoldotta.