

## MEGVÁLTOZOTT VAGY CSAK VISSZAVÁLTOZOTT A BÉKE-BARLANG KLÍMÁJA?

### CHANGED OR BACK INTO THE CLIMATE OF PEACE CAVE?

STIEBER JÓZSEF<sup>1</sup> – LEÉL-ŐSSY SZABOLCS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>STIEBER Környezetvédelmi Kft., 1181 Budapest, Nyerges u. 6.,

[stieber@stieber.hu](mailto:stieber@stieber.hu)

<sup>2</sup>ELTE-TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C;

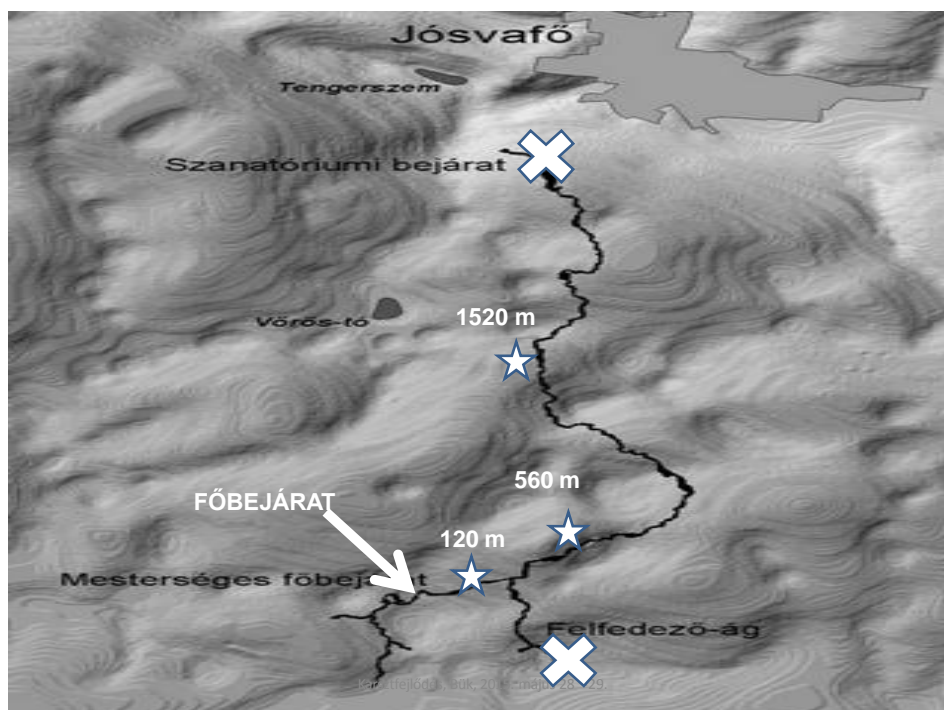
[losz@geology.elte.hu](mailto:losz@geology.elte.hu)

*Abstract: The researchers OTKA -101,664 no. Since January 2013 scope of the project is carried out on a monthly basis climatic and water chemistry studies the Peace Cave. In the summer of 2010 collapsed the cave, "Discovery-arm" of the entrance to the cave is blocked in February 2013 and end-siphon so that the three known entrance May 2015 air traffic was only through the "front door ". After the "Discovery-arm" in the spring of 2015 cleansed noticeable drafts appeared, and has been the equalization of air pressure differences and drafts shut down within a few hours. Given the "Discovery-the-stage-door" entrance and about the same height above sea-level, can not develop as much air traffic, which air-ventill the cave. The temperatures and humidity values over the last 50 years have not changed, but the infiltration accessing carbon dioxide can no longer air-ventill the cave, the concentration shows (closely correlated to the surface precipitation amount of) the seasonal change, since the content of the infiltrating water with carbon dioxide determines the degree of enrichment. The concentration of the "Main-branch" to inside steadily increasing and is more than ten times the previous value, which results in bat mortality in a drastic decrease in bat populations, the process of stalactite formation slowdown, the stalactite degradation is accelerated and the cave visit and restricting their utilization of medical use. Due to the temperature difference between the start break of the limestone also some air exchange, but typically the concentration of carbon dioxide in the monthly rainfall, daily shows a close correlation with the air pressure. Compared with earlier data we determine that the Peace Cave status changed back to the discovery of the year of the state, but the concentration of carbon dioxide would be much higher. As the siphon clogged and the water level is sustained over time evolved, so accustomed over the last 50 years, climate conditions can only return an artificial intervention (drain piping, channel-deepening, drainage) as a result*

### 1. Bevezetés

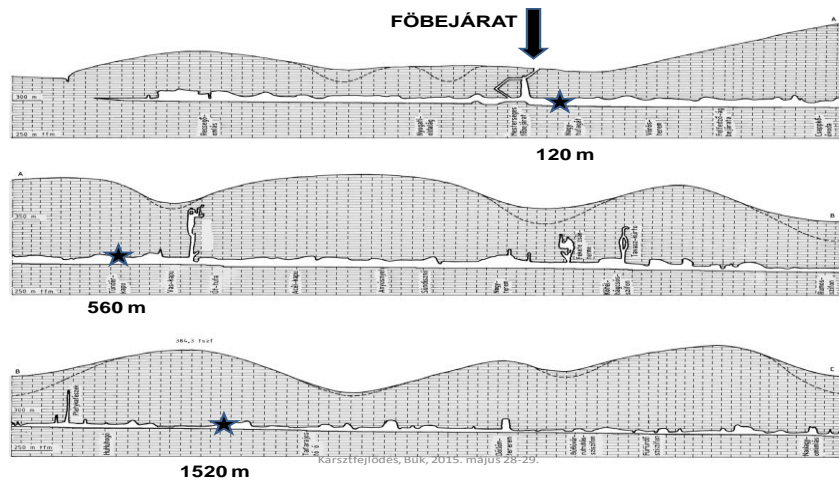
2013 januárja óta havi rendszerességgel végzünk vízkémiai és klimatológiai vizsgálatokat 2 napon keresztül a Béke-barlangban, melynek keretében 1520 m-nél („Buzogány”) szén-dioxid loggert helyezünk el 24 órára. Munkánkat az elnyert OTKA- 101 664 sz. „Hazai szárazföldi karbonátképződmények komplex geokémiai, paleoklimatológiai és tektonikai vizsgálata” pályázat (témafelelős: Demény Attila) keretében, az ÉMIKTF 5232-10/2012 sz. kutatási engedélye alapján az ANPI, mint vagyonkezelő hozzájárulásával és útmutatása alapján végezzük. A 2013. év első felében lezajlott olvadás,

majd eső következtében a barlangban árvizek uralkodtak, a Jósvafői „Margitics-szifon” vízzel elzáródott, ezt megelőzően a „Felfedező-ág” felszínre nyíló aknája is beomlott. Az „MKBT-terem” teljes egészében víz alá került, a túlfolyó víz pedig a „Zoltán-terem” vízgyűjtő-csővéen keresztül talált utat a szabadba (3, 4, 5. ábra). Az árvizekkel együtt kritikus szén-dioxid emelkedés mutatkozott, mely több órás barlangtúrák alatt akár mérgezést is okozhat. A kockázat miatt az Aggteleki Nemzeti Park Igazgatósága a barlang látogatását 2013 májusától felfüggesztette. A probléma jelenleg is fenn áll.



1. ábra: A Béke-barlang ma ismert bejáratainak és barlangjáratainak ábrázolása a vizsgálati helyszínek megjelölésével.

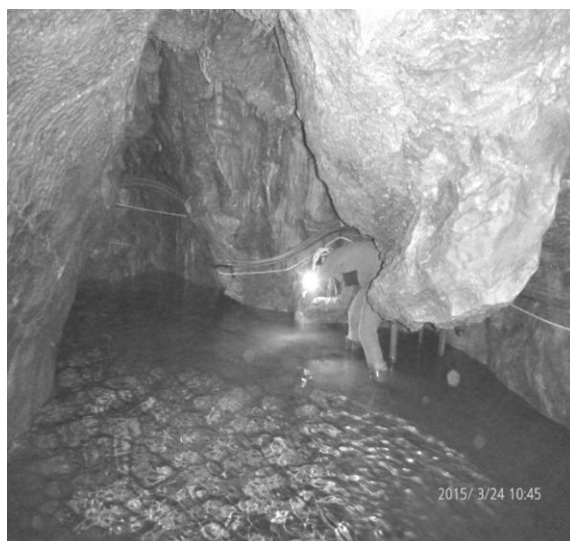
Fig. 1. The Peace Cave now known cave entrance and flights representation of the test sites is acknowledged.



2. ábra: A Béke-bg. hossz-szelvénye, a felszíni domborzat ábrázolásával és a mintavételi helyszínek megjelölésével (SZUNYOGH-KISBÁN, 2004)  
 Fig. 2. The Peace Cave longitudinal section, surface topography and the depiction of the sampling sites identified.



3. ábra: A sötétített terület a „Margitics-szifon” környékén a Komlós-patak visszaduzzadt szintjét mutatja, melyben az „MKBT-terem” és a „Margitics-szifon” víz alá került. A jobb oldali nyilak az elfolyás irányát mutatják a „Zoltán-terem” gyűjtő csövében keresztül a szabadba.  
 Fig. 3. The shaded area around the "Margitics-trap" shows the level of Komlós stream, in which the "MKBT room" and under "Margitics-siphon" has been water. The right arrow shows the direction of the run-off through a "Zoltán room" manifold to the outside.



A Zoltán-teremből túlfolyó víz ebbe a gyűjtő-csőbe távozik



1, 2. kép: Víz alatt az „MKBT-terem” és a túlfolyó víz 30 cm-el lepi el a „Zoltán-terem” padlószintjét, mely a terem sarkában kialakított túlfolyó-csővön keresztül távozik.  
 Picture. 1. 2. Under the Water "MKBT room" and the overflow water 30 cm swarming the "Zoltán room" floor level, which is expelled through a corner of the room with overflow pipe.

### **A barlang ma ismert bejáratai és a vizsgálati helyszínek bemutatása**

A barlangot 1952. augusztus 4.-én az Aggteleki „Bibic-töbörben”, 321 m tszf. magasságban, a „Felfedező-ágon” keresztül nyitotta meg Jakucs László, mely korában el volt zárva a külvilágtól (JAKUCS 1959). Jakucs Lászlótól (szóbeli közlés, 2015) tudjuk, hogy a napjainkban használt, az aggte-

leki „Szomor-hegy” oldalában, 338 m tszf.- nyíló „Lépcsős-bejárat” elődje a „Pokol-szakadékára” vezető létra volt, mely 1953-ban lett kibontva. Az 1954-ben kiépített „Lépcsős-bejárat” mai napig megőrizte formáját és zárt állapotban rajta 10 x 10 cm-es denevér-röptetőnyíláson keresztül történik a légcseré. 2015 májusában a denevér-röptető nyílást a kétszeresére tágították. A Jósvalői „Kő-horog” oldali, 271 m tszf. magasságban nyíló „Terápiás-bejáratot” 1964-ben építették ki (KERÉNYI *et al.*, 1966). Az ajtó tömör, de környezetében több nyíláson keresztül is biztosítva van a légforgalom. Boldogh Sándortól (ANPI) tudjuk (szóbeli közlés, 2015), hogy a „Felfedező-ág” felső szakasza 2010-ben omlott be, így azon levegő attól kezdve már nem áramlott át. A bejárat kitisztítása csak 2015 tavaszán történt meg. A „Margitics-szifon” eltömődésével a „Terápiás-bejárat” légforgalma is megszűnt, mindkettőt kereszttel jelöltük az *1. ábrán*. Vizsgálatunk időszakában a barlangot a „Lépcsős-bejáraton” keresztül értük el, vizsgálati helyszíneinket pedig a „Lépcsős-bejárat” alatti lépcsőház „Fő-ágba” csatlakozásától számított távolságok szerint azonosítottuk: 120 m-nél, 560 m-nél és 1520 m-nél (*1, 2. ábra*).

## **2. Alkalmazott vizsgálati módszer bemutatása**

A vizsgálatokat 32 hónapon keresztül, havi rendszerességgel, 2 egymás utáni napon végeztük, 4 mintavételi helyszínen és a felszínen. A meteorológiai adatokat az OMSZ által rögzített Jósvalői mérőállomásról óránként, a bejáraton légforgalom fizikai jellemzőit naponta egyszer, a klíma-paramétereket 120 m-nél és 560 m-nél naponta egyszer, míg a bejáraton átáramló levegő és az 1520 m-nél megtalálható barlangi levegő szén-dioxid tartalmát 24 órán keresztül percnként regisztráltuk. A szén-dioxid koncentráció mérésére NDIR módszert alkalmaztunk, a bejáratnál diffúz kamrával, míg 1520 m-nél extraktív mintavétellel. Mindkét műszer belső memóriával rendelkezett az adatok tárolására.

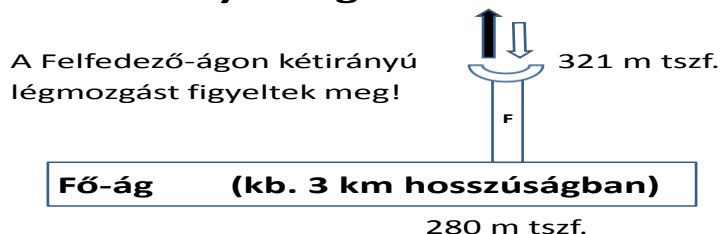
## **3. Eredmények**

### *3.1. Tények a barlang légkörzésével kapcsolatban*

A Béke-barlang 1952. augusztus 4.-éig el volt zárva a külvilágtól. 1952-1953 között csak a „Felfedező-ágat” ismerték, ezen keresztül a levegő kétirányú mozgását tapasztalták (JAKUCS 1953, 1959). 1953-ban megnyílt a jelenleg használt „Lépcsős-bejárat” (a mai főbejárat), így a levegő már a két bejárat között is áramolhatott. 1964-től nyílt meg a „Terápiás-bejárat”, így

a barlangi levegő a „Fő-ágon” keresztül is mozoghatott (KERÉNYI *et al.* 1966). A 4. ábrán a barlang áramlási modelljét mutatjuk be, 1952-1953 között, téli-nyári légkörczés alatt.

### Áramlási modell 1952-1953 között, téli-nyári légkörczés alatt



4. ábra: 1952-1953 között télen a hideg-levegő beáramlott a „Felfedező-ágon”, majd a barlangban felmelegedve a bejárati szelvény felső harmadában kifelé távozott. Nyáron a meleg-levegő a bejárati szelvény felső harmadában lépett be, majd lehűlve az alsó harmadban, kifelé távozott.

Fig. 4. Between 1952-1953 the winter and cold air flowed into the "Explorer-side" and then warmed up in a cave in the upper third of the front section left out. In summer the hot air in the upper third of the front section came in and then getting cold in the lower third, it went out.

### 3.2. Klíma-adatok az 1952-1953 közötti időszakból

Jakucs László több művében említi, hogy a barlangi patak hőmérséklete 9 °C volt (JAKUCS 1953, 1959). A léghőmérsékletet 10 – 12 °C között, a relatív nedvességet 95 - 100% között észlelte (KERÉNYI *et al.* 1966). A barlangi levegő szén-dioxid tartalmára ebből az időszakból sajnos semmilyen adat nem áll rendelkezésre. A Felfedező-ág kibontásakor 4 m/s huzatot mértek egy pihe és egy stopperóra segítségével (JAKUCS 1953).

A barlangi szén-dioxid koncentrációra 1953-ig csak közvetett adatokból tudunk következtetni. A Béke-barlang felfedezéséről szóló könyvből (JAKUCS 1953), és az egykori kutatóktól tudjuk, hogy hosszabb idejű lent tartózkodás alatt sem jelentkeztek a szén-dioxid ismert tünetei (fejfájás, gyengeség, szapora légzés...stb.). Karbidlámpáik fényét nem találták narancssárgásnak vagy kormozónak, még a végponton sem, vagyis a szén-dioxid tartalom bizonyosan 2 tf. % (20000 ppm) alatt volt.

### 3.3. Klíma-adatok az 1953-1964 közötti időszakból

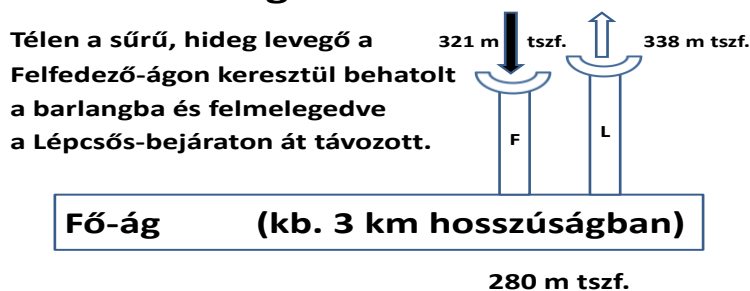
A Béke-barlang gyógyhatásának hasznosítása című kéziratban olvashatjuk, hogy a kutatók a léghőmérséklet éves átlagát 10,44 °C-ra, a relatív nedvesség éves átlagát 99,9 %-ra mérték. A barlangi levegő szén-dioxid tartalmá-

nak éves átlagértékét 1959-ben 0,3 tf. % (3000 ppm), 1961-ben 0,08 tf. % (800 ppm), 1962-ben 0,06 tf. % (600 ppm)-ben határozták meg (KERÉNYI *et al.* 1966).

Fontos itt megemlíteni Jakucs László észrevételeit a barlangi széndioxiddal kapcsolatban: „Megjegyezzük, hogy 1961 és 1962 száraz időjárású években találtunk alacsonyabb széndioxid-tartalmat, amikor a barlangban nem folyt a patak, mintegy igazolva Cauer vizsgálatát, mely szerint a barlangban döntően a patak vize a széndioxid-szállító.”

Az 1953-1964 közötti téli rekonstruált áramlási modellt a 5. ábrán mutatjuk be. Ezen időszakban, nyári légkörzés esetén a légáramlás iránya fordított volt. Meg kell említenünk, hogy a „Fő-ág” és a felszín között kb. 40 m a szintkülönbség, mely a „Felfedező-ág” és a „Lépcsős-bejárat” esetében is jelentős ún. kéményhatást eredményez. Az áramlás alapja a két bejárat közötti 17 m szintkülönbség, mely jelentős nyomás és sűrűségkülönbséggel jár együtt.

### Áramlási modell 1953-1964-között, téli légkörzés esetén



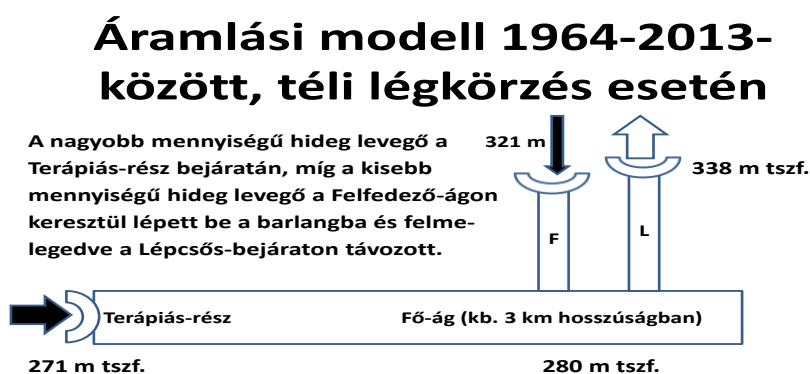
5. ábra: 1953-1964 közötti téli rekonstruált áramlási modell bemutatása.  
Fig.5. Presentation of winter flow model reconstructed from 1953 to 1964.

#### 3.4. Klíma adatok az 1964-2013 közötti időszakból

Jakucs László mérései alapján (1965) tudjuk, hogy a léghőmérséklet a „Lépcsős-bejárat” alatt a „Fő-ágban” 10,4 °C, míg a „terápiás-részben” 10,9 °C volt. A relatív nedvességet a barlang teljes területén 95 - 100 % között észlelte. A szén-dioxid tartalmat a „Lépcsős-bejárat” alatt a „Fő-ágban” 0,12 tf. % (1200 ppm), míg a „terápiás-részben” 0,14 - 0,38 tf. % (1400-3800 ppm) mérte (KERÉNYI *et al.* 1966).

Stieber József a fokozottan védett barlangok állapot-felvételezése kapcsán a Béke-barlang klímaadatait 2000-ben és 2010-ben újra megmérte és átszámolta. A barlangi levegő hőmérsékletét 9,4 - 10,2 °C között mérte, a relatív nedvesség-tartalmat 98 %-os átlagértékben határozta meg. A barlangi szén-dioxid tartalmat több ponton történő mérés alapján 0,2 tf. % (2000 ppm) átlagértékben rögzítette (a „terápiás-részben” 0,3 tf. % (3000 ppm)-et mutatott ki).

Az 1964-2013 közötti téli rekonstruált áramlási modellt a 6. ábrán mutatjuk be. Ezen időszakban, nyári légkörzés esetén a légáramlás iránya fordított volt.



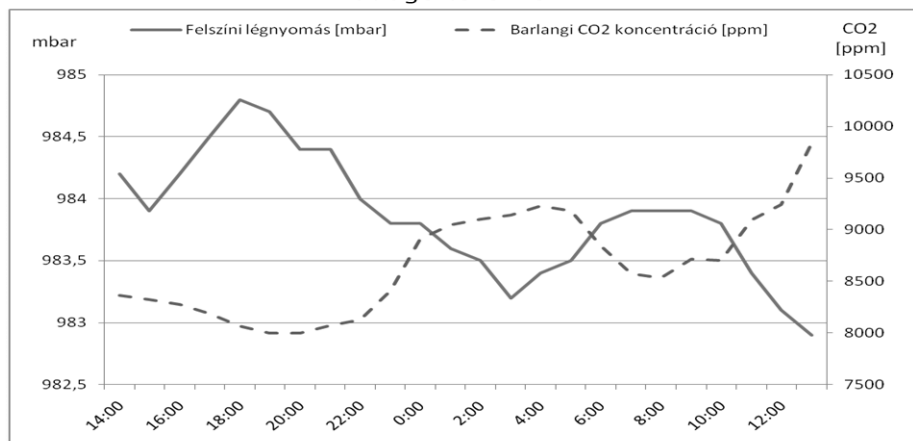
6. ábra: 1964-2013 közötti téli rekonstruált áramlási modell bemutatása.  
Fig. 6. Presentation of winter flow model reconstructed between 1964-2013.

### 3.5. A barlang légkörzésének megváltozása

2013 januárjában még száraz időszakban kezdtük meg vizsgálatainkat, a 2012 őszén 2 alkalommal elvégzett elővizsgálatok eredményeire támaszkodva. Az elővizsgálatokon kiválasztott helyszíneken a barlang klímájában (különösen szén-dioxid viszonyaiban) a korábbi évtizedek eredményeit tapasztaltuk. Változás az eredményekben a nagymennyiségű csapadék lehelésével párhuzamosan volt tapasztalható, amikor 2013 februárjában elvégzett vizsgálatunk alkalmával a „Buzogánynál” (1520 m-nél) 8000 – 10000 ppm (0,8 - 1,0 tf. %) körüli értékeket regisztráltunk, melyek ötszörösen meghaladták a korábban itt mért adatokat. Ekkor még bizonyosan nyitva lehetett a „Margitics-szifon”, mert a felszíni légnyomás változásait 3 órás késéssel követte a szén-dioxid koncentráció változása (7. ábra).



2013.02.25-26.-án 24 óra alatt rögzített  $\text{CO}_2$  értékek, melyek 3 órás késleltetéssel követik a felszíni légnyomás ingadozásait. A  $\text{CO}_2$  maximuma ötszöröse a barlangban általában mérhető átlagértékeknek.

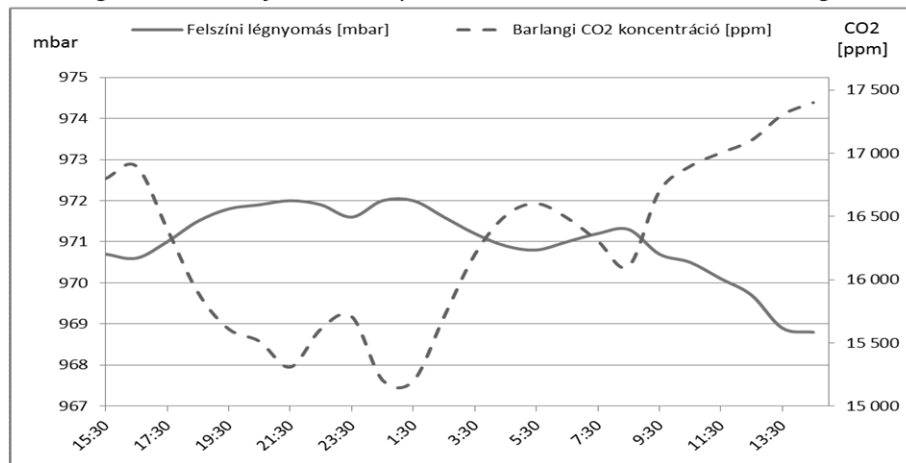


7. ábra: A barlangi levegő szén-dioxid értékeinek változására a felszíni légnyomás-változása még közvetlen hatással bírt 2013 februárjában a „Buzogánynál” (1520 m-nél).

Fig. 7. The cave air of carbon dioxide changes in the values of surface air pressure changes have had a direct effect in February 2013, "Buzogány" (1520 m).

2013 márciusában elvégzett vizsgálatunk alkalmával tapasztaltuk először, hogy a „Buzogánynál” (1520 m-nél) a felszíni légnyomás változása már csak 12 órás késéssel fejtette ki hatását a regisztrált szén-dioxid koncentrációra. Mindkét oldalon nyitott barlang esetében ez nem, – vagy max. 1-2 órás késleltetéssel - tapasztalható. A barlangban mért téli szén-dioxid-koncentráció értékei sokszorosára emelkedtek a korábban mért értékeknek (8. ábra). Ebben az időszakban a 120 m-nél és az 560 m-nél mért szén-dioxid koncentrációkban nem mutattunk ki jelentős emelkedést, vagyis a lejtésviszonyoknak megfelelően a szén-dioxid a végpont felé vándorolt, légmozgás hiányában ott gyűlt össze és ott koncentrált. A szén-dioxid értékek a „Buzogánynál” (1520 m-nél) meghaladták a 20000 ppm-et (2,0 tf. %-ot), a végpont felé haladva valószínűleg ennél jóval magasabb értékeket mérhettünk volna. Az eredmények bebizonyították számunkra, hogy a „Margitics-szifon” eltömődött, az emelkedő vízszint pedig feltöltötte az „MKBT-terem” felé vezető átjárót, elzárva a levegő útját. A barlang zsákszerűvé változott, ahol a szén-dioxid fokozatos emelkedésére lehet számítanunk.

2013.03.20-21.-én 24 óra alatt rögzített  $\text{CO}_2$  értékek, melyek már nem követik a felszíni légnyomás ingadozásait. A  $\text{CO}_2$  maximuma megközelíti a 2 tf%-ot, melyben lehült testtel kritikus a mozgás.



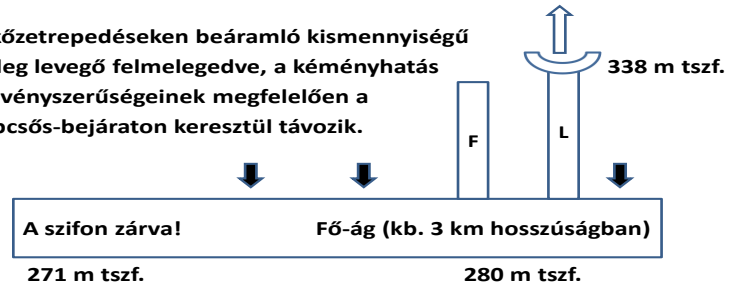
8. ábra: 2013 márciusában a barlangi levegő szén-dioxid értékeinek változása 12 óra késleltetéssel követte a felszíni légnyomás-változását a „Buzogánynál” (1520 m-nél)  
 Fig. 8. In March 2013 the change in the cave air of carbon dioxide values 12 hours delay following the change in surface air pressure "Buzogány" (1520 m)

Új áramlási modellt kellett felállítanunk, mivel a 3 bejáratból ismét csak 1, a „Lépcsős-bejárat” maradt nyitva. A vízszint és a beszivárgás mennyisége is fokozatosan emelkedett, akárcsak az általuk bejuttatott szén-dioxid mennyisége a barlangban. Az új áramlási modellt a téli légközítésre éppen úgy, mint a várható nyári légközítésre is megszerkesztettük (9. ábra).

2013 nyarán a tartósan barlangi levegő hőmérséklete fölött maradó felszíni hőmérséklet hatására a „Lépcsős-bejáraton” kifelé áramlott a barlangi levegő, melynek mennyiségét a felszíni légnyomás is erőteljesen szabályozta. A beszivárgó és a bent rekedt víz mennyisége egyaránt elérte a maximumot, akárcsak a szén-dioxid értéke (10. ábra). Már 120 m-nél és 560 m-nél is jelentős emelkedés mutatkozott a szén-dioxid koncentrációkban, vagyis a lejtésviszonyoknak megfelelően a szén-dioxid a végponton gyülemllett fel. Mivel a „Felfedező-ág” bejárata már 2010-ben beomlott, ezért a barlang légközítése kizárólag a „Lépcsős-bejáratra” korlátozódott. A hatalmas szén-dioxid tömegre ismételen a felszíni légnyomás gyakorolt hatást, annak parciális nyomását emelve a koncentrációja is emelkedett, mely szoros korrelációt mutatott.

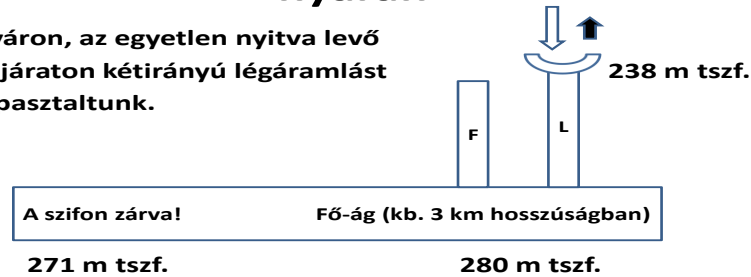
## Új áramlási modell jelent meg 2013 telén

A kőzetrepedéseken beáramló kismennyiségű hideg levegő felmelegedve, a kéményhatás törvényszerűségeinek megfelelően a Lépcsős-bejáraton keresztül távozik.



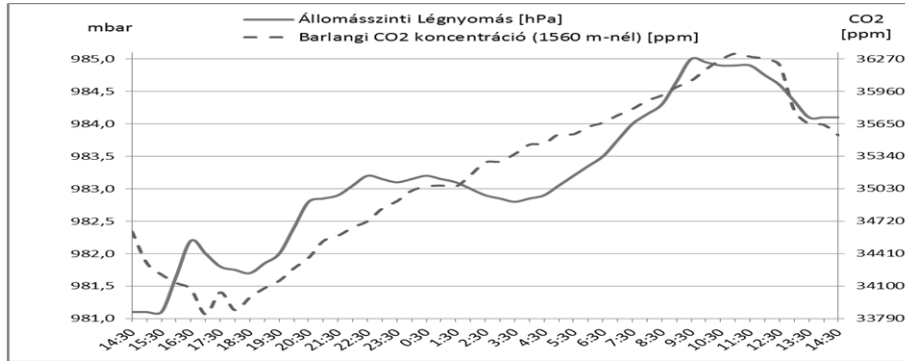
## Új áramlási modell jelent meg 2013 nyarán

Nyáron, az egyetlen nyitva levő bejáraton kétirányú légáramlást tapasztaltunk.



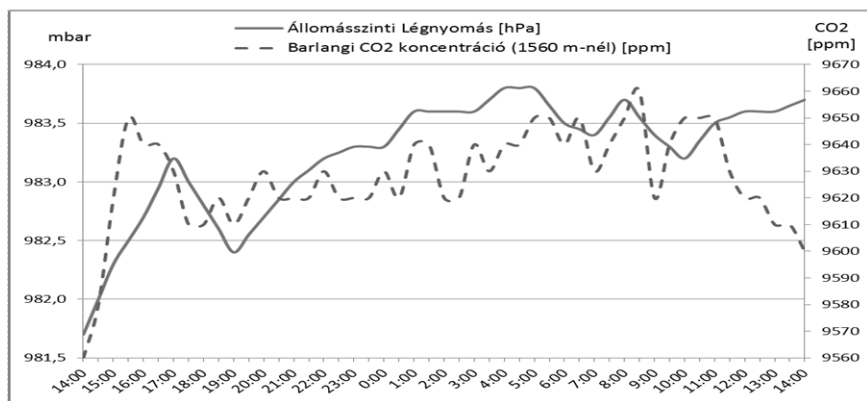
9. ábra: A 2013 márciusában felállított új téli légkörzési modell és az abból levezetett nyári légkörzési modell bemutatása  
Fig. 9. The new winter atmosphere-life model set up in March 2013 and the summer atmosphere derived from life models Presentation

2013.07.04-05. között regisztrált adatok ismételten jól korrelálnak a légnyomással, de a **CO<sub>2</sub>** értéke eléri a 3,6 tf%-os (36 000 ppm) eddig mért maximumot



10. ábra: Az eddig mért legmagasabb szén-dioxid koncentráció napi menete a „Buzogánynál” (1520 m-nél).  
Fig. 10. The highest measured carbon dioxide concentration in the daily course rated "Buzogány" (1520 m).

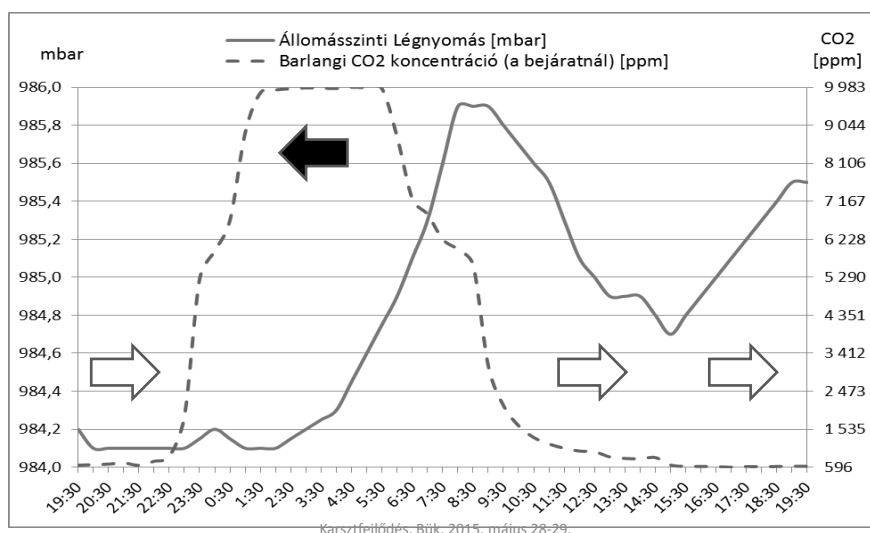
2014.01.03-04.-én 1 tf%-ra (10 000 ppm) esett vissza a **CO<sub>2</sub>** értéke, de ez sem tartott sokáig...



11. ábra: 2014 januárjában a téli szén-dioxid értékek és a felszíni légnyomás szoros korrelációt mutattak a „Buzogánynál” (1520 m-nél).

Fig. 11. In January 2014 in the winter of carbon dioxide and surface air pressure values showed a strong correlation with "Buzogány" (1520 m).

A bejáraton átáramló levegő irányváltása korrelál a felszíni levegő hőmérsékletével és légnyomásával, azonban ez a légkörzés nem érinti a belső járatrészeket.



12. ábra: A bejáratnál mérhető szén-dioxid koncentráció jól mutatja a bejáraton létrejött légáramlás irányváltását, mely a hőmérséklet-különbség és a légnyomás-különbség hatására jön létre. A fehér színű nyilak a felszíni levegő beáramlását, a fekete színű nyilak a barlangi levegő kiáramlását szemléltetik.

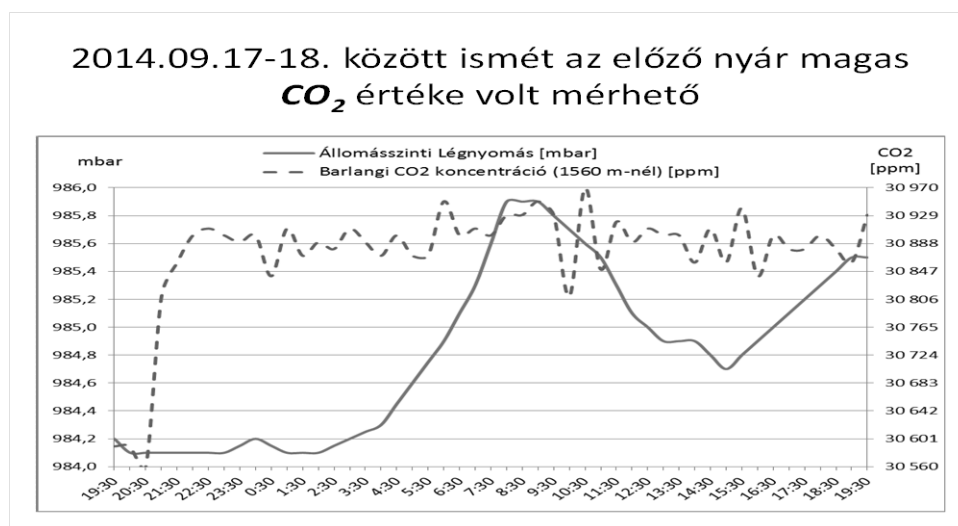
Fig. 12. The entrance can be measured carbon dioxide concentration shows the entrance to the establishment airflow direction change, which is created by the temperature difference and the difference in air pressure causes. The white arrows on the air intake surface, the black arrows illustrate airflow out of the cave.

2014 januárjában ismét „*alacsony*” értékeket észleltünk, melyek így is ötszörösen haladták meg a korábbi évtizedekben rögzített adatokat, és megegyeztek a 2013 januárjában rögzített értékekkel. A 11. ábrán látható, hogy a „*Buzogánynál*” (1520 m-nél) rögzített szén-dioxid koncentráció értékei jól korrelálnak a felszíni légnyomás-változással, vagyis még mindig zárva van a „*Margitics-szifon*”, csak a téli intenzív felszíni levegő beáramlás és a további szén-dioxid bejutásának hiánya hígítja a felgyülemlt szén-dioxid tömeget.

A nagyon meleg nyári napokat kivéve tavasztól-őszig kétirányú légáramlás tapasztalható a „*Lépcsős-bejáraton*”, mely 24 órán belül többször vált irányt (12. ábra). Az irányváltást a hőmérséklet-különbség és a légnyomás-változás befolyásolja. Amikor éjszaka a felszíni hőmérséklet 10 °C alá csökken, megindul a barlangi levegő kiáramlása a szabadba, mely a bejáraton a szén-dioxid növekedését okozza. Az ábrán látható, hogy most a hőmérséklet-különbség okozza az irányváltást, a légnyomás még nyugalmi

helyzetben van. A hirtelen és meredeken emelkedő felszíni légnyomás még napkelte előtt megfordítja a légáramlás irányát, és megindul a felszíni levegő beáramlása, mely a bejárat térség szén-dioxid koncentrációját csökkenti. A nap további részében a 10 °C feletti felszíni levegő hőmérséklete okozza a légáramlást, mely napnyugtáig befelé áramló marad. Ez az állapot azonban nem teszi lehetővé a belső járatrészek leszellőzését, ezért ott a szén-dioxid koncentrációja továbbra is magas marad.

2014 szeptemberében nyári légkörzés mellett ismét a 2013-as nyár magas szén-dioxid értékeit észleltük, melyben életveszélyes lett volna tovább mennünk a barlangban (13. ábra).



13. ábra: A „Buzogánynál” (1520 m-nél) mérhető szén-dioxid koncentráció nyáron meghaladja a 3 tf. %-ot.  
Fig. 13. The “Buzogány”(1520 m) to measure carbon dioxide concentration in the summer exceeds 3 vol. % respectively.

Tudnunk kellett, hogy milyen szén-dioxid koncentráció értékek várhatóak a „Margitics-szifon” környékén, ezért megvártuk 2015 februárjának azon időszakát, amikor a barlangban a legalacsonyabb szén-dioxid értékek uralkodtak, és ekkor bejártuk a belső részeket is. Az az alábbiakban közöljük a mérési eredményeket a távolság függvényében:

- a. CO<sub>2</sub> koncentráció 540 m-nél (Tündér-kapu előtt) 0,5 tf. %  
292 m tszf. m.
- b. CO<sub>2</sub> koncentráció 1520 m-nél (Buzogány) 1,6 tf. %  
285 m tszf. m.
- c. CO<sub>2</sub> koncentráció 2700 m-nél (Nagy-omlás lába) 3,3 tf. %  
268 m tszf. m.

- d.  $CO_2$  koncentráció hányados:  $c/b = 2,062$   
 $b/a = 3,2$
- e. Távolság hányados:  $c/b = 1,73$   
 $b/a = 2,88$
- f. Magasság hányados:  $c/b = 1,063$   
 $b/a = 1,024$
- g. Távolság-magasság szorzat:  $e \times f = 1,839$   $e \times f = 2,95$
- h. Kapott eredmény:  $a/g = 1,121$   
 $a/g = 1,084$   
 Konstans átlagértéke:  $(h_1 + h_2) / 2 = 1,103$
- i. Ismeretlen koncentráció meghatározása ismert mérési eredmény felhasználásával:

$$i \text{ CO}_2 \text{ (tf. \%)} = \text{CO}_2 \times \left( \frac{\text{Távolság2}}{\text{Távolság1}} \times \frac{\text{Magasság2}}{\text{Magasság1}} \right) \times 1,103$$

A fenti számítással a bejáratától mért távolság és a tengerszint feletti magasság ismeretében a kapott eredményre vonatkoztatott  $\pm 10$  %-os hibával megállapítható egy barlangrész várható szén-dioxid koncentrációja, ha 560 m után ismert távolságban és tengerszint feletti magasságon rendelkezünk pontos mérési eredménnyel. Mindez csak a zsákszerű állapot fenn állása alatt és kizárólag a Béke-barlangra érvényes, de nagy segítséget nyújthat a vagyonekezelő ANPI túraszervezői számára.

A Nagy-omlás után már nem folytattuk tovább utunkat, hiszen a barlangban eltöltött hosszú expozíciós idő a magas koncentráció értékekkel veszélyes feldúsulást okozhat vérünkben, ezért megelégedtünk az itt kapott mérési eredménnyel. Abban viszont biztosak vagyunk, hogy nyári légkörzés esetén ugyanezen aránypár mellett a belső részek szén-dioxid koncentrációi meghaladják a 5 - 7 tf. %-ot, mely súlyos oxigén-hiányos állapotot okoz, tehát az ott történő barlanglátogatás egészségre ártalmas (HERCZEG L. 2008), akár halálos is lehet!

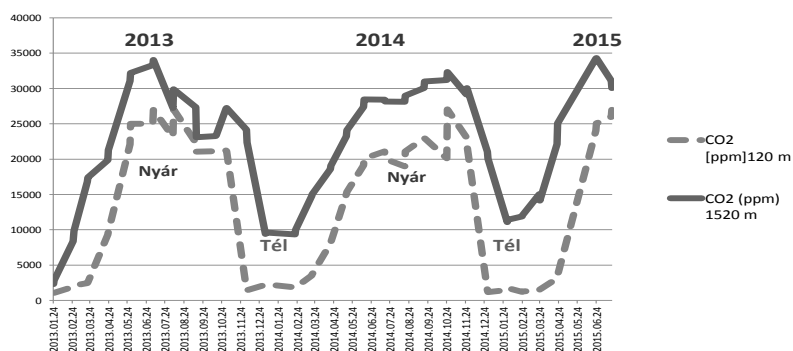
2015 májusában az ANPI megbízására a NOVA-ALPIN Kft. leszivattyúzta az „MKBT-terem” vizét és a „Margitics-szifont”, valamint eltávolította az omlási dugót a „Felfedező-ág” bejáratából. Berczik Páltól (NOVA-ALPIN Kft.) tudjuk (szóbeli közlés, 2015), hogy a „Margitics-szifonban” dolgozók erős fejfájásra, rosszullétre panaszkodtak, ami megerősíti korábbi észleléseinket. A víz azonban néhány órán belül visszatöltődött, így a szifon ismételen elzáródott.

Számításaink szerint a 3 km hosszúságú, átlagosan 4 m széles „Fő-ágban” nyári időszakban, 2 méter magasságig (tehát 24 000 m<sup>3</sup>-ben), 3 tf% koncentráció esetén kb. 1400 kg szén-dioxid halmozódik fel, melyet nyitott bejáratokon keresztül 2013 előtt mért kb. 500 Nm<sup>3</sup>/h térfogatáramot feltételezve is legalább 48 óra kell az eltávolításához. Figyelembe véve azonban a felhalmozódott szén-dioxid tömegének kezdeti tehetetlenségét, valamint azt, hogy az átáramló levegő nem csak a járatszelvény alsó szakaszában fog közlekedni és a „Terápiás-bejárat” valamint a „Lépcsős-bejárat” közötti kb. 3 km-es távolságot, a „Fő-ágban” kialakuló 10 cm/s-os maximális légáramlat is legalább 80 óra elteltével érkezik meg az egyik pontból a másikba. Látható, hogy ideális állapotot feltételező számításaink is több napon át tartó, intenzív szellőztetés esetére lettek átszámolva, mely néhány órás szivattyúzás alatt nem teljesülhetett.

Berczik Pál (NOVA-ALPIN Kft.) megerősítette (szóbeli közlés, 2015), hogy a „Felfedező-ágon” mért kezdeti légáramlás 12 órán belül kiegyenlítődt, leállt. A „Felfedező-ág” és a „Lépcsős-bejárat” közötti 17 méteres szintkülönbség kéményhatása jelentősebb helyi légkörzés kialakulását nem teszi lehetővé. Jelen állapotban a „Lépcsős-bejáraton” keresztül 10°C-os hőmérsékletkülönbség esetén 130 Nm<sup>3</sup>/h légforgalom mérhető, aminek csak elenyésző része áramlik át a „Felfedező-ágon”, 90%-a a „Fő-ágban” közlekedik, kevesebb mint 1 cm/s áramlási sebességgel. 1450 m-nél érezhető a felszint megközelítő felső járatok felé áramló intenzív légáramlat, ha azonban a két pont közötti útra számolunk, akkor kiderül, hogy a levegő ezt az utat több mint 40 óra alatt teszi meg és a közte lévő 2 méter vastag, átlagosan 2 tf% koncentrációjú, 12 000 m<sup>3</sup> térfogatú, 470 kg tömegű szén-dioxid réteget 100 óra alatt szellőztetné át. Mindez akkor teljesülne, ha feltételezzük, hogy az átáramló levegő csak a járatszelvény alsó 2 méterét használja és a barlang légterébe további szén-dioxid nem jut be. Az eredmények azonban ezt megcáfolják, vagyis a felszabaduló szén-dioxid és az áramlási viszonyok meghaladják a jelenlegi térfogatáram által kifejtett szellőzés hatékonyságát, így a szén-dioxid koncentráció csökkenésében érezhető változás nem történik. Utolsó mérésünkre 2015 júniusában került sor, mely alkalmalmmal a felszínen tartósan rossz idő, hűvös, szeles, csapadékos időjárás volt tapasztalható. Ekkor, a felszín és a barlang közötti kis hőmérsékletkülönbségnek köszönhetően a „Felfedező-ágban” fóliával elszűkített szelvényen, mérőperem beiktatása mellett sem sikerült légforgalmat kimutatnunk. A barlang jelenlegi állapota tehát 2013 tavasza óta változatlan, melyet a 14. ábrán látható szén-dioxid diagramok is szemléltetnek.



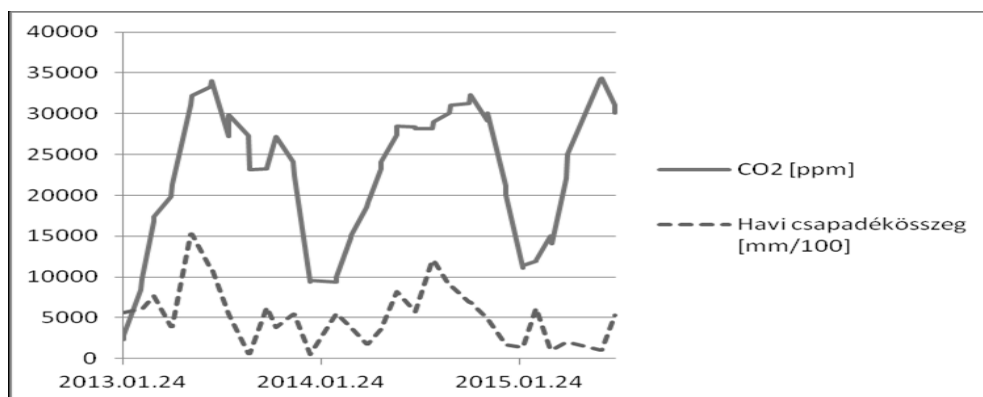
### A barlangi CO2 koncentrációk évszakos változása 2 ponton regisztrálva, 3 éves időszakra kivetítve



14. ábra: A „Lépcsős-bejárat” közelében és a „Buzogánynál” rögzített szén-dioxid értékek egymással jól korrelálnak és évi menetük prognosztizálható.

Fig. 14. The "Step-entrance" near and recorded "Buzogány" carbon values correlate well with each other and projected annual procession.

Ismeretes, hogy a barlangokba beszivárgó vizek oldott szén-dioxid tartalma elsősorban a talajréteg mikrobiológiai aktivitásától függ, mely szoros összefüggést mutat a környezeti hőmérséklettel. Télen minimális a talaj mikrobiológiai aktivitása és a hóréteg alatt csekély a beszivárgás mennyisége (JAKUCS 1971). A felszíni csapadék havi összesített adatait a barlangi szén-dioxid koncentrációjának változásával összehasonlítva azt tapasztaljuk, hogy szoros korreláció mutatható ki a kettő között, vagyis az elmúlt 3 évben a szén-dioxid koncentráció elsősorban a lehullott csapadék és csak másodsorban a hőmérséklet-különbség mértékében változik, ami egy mindkét oldalon nyitott barlang esetében fordítottan lenne érvényes (15. ábra). 2013-óta télen  $70 \text{ Nm}^3/\text{h}$ , nyáron  $130 \text{ Nm}^3/\text{h}$  a „Lépcsős-bejárat” denevér-röptető nyílásán átáramló levegő mennyisége, mely a fentiekben levezetett összefüggések miatt nem szállítja ki megfelelő mértékben a szén-dioxidot a barlangból. 1964 és 2013 között a levegő akadálytalanul áramolhatott a „Főágbán,” télen és nyáron  $500 \text{ Nm}^3/\text{h}$  maximummal. Ezen értékek mellett is megfigyelhető volt évszakos változás, csak a hígulás mértéke volt lényegesen nagyobb, így a szén-dioxid koncentrációk kisebb határok között, lényegesen alacsonyabb amplitúdóval változtak.



15. ábra: A felszíni csapadék havi összesített értéke szoros összefüggést mutat a barlangi szén-dioxid (1520 méternél) koncentráció-változásával.

Fig. 15. The total amount of monthly rainfall is closely related to the surface of the cave of carbon dioxide (1,520 meters) concentration changes.

#### 4. Összefoglalás

Nincs adatunk róla, hogy a felfedezés előtt milyen volt a Béke-barlang klímája, de azt követően nyitva volt a Felfedező-ág, kiszellőzött a barlangi szén-dioxid, mivel rendelkezésre álló információink annak jelenlétét nem erősítették meg. 1954-2013 között a barlangi szén-dioxid átlagértéke télen 1000 ppm (0,1 tf. %), nyáron 3000 ppm (0,3 tf. %) között mozgott, értéke a felszíni hőmérséklettel és a légnyomással korrelált. A hőmérséklet és a relatív-nedvesség adatokban az elmúlt 60 évben nem mértek változást.

2013-tól a barlangi szén-dioxid értéke 1520 m-nél télen 10000 ppm (1 tf. %), nyáron 30000 ppm (3 tf. %) körül mozog, értéke a felszíni hőmérséklettel és a légnyomással csak kis mértékben korrelál. Téli időszakban a beszivárgás mennyisége jelentősen csökken, a beszivárgó vizek oldott szén-dioxid tartalma pedig elsősorban a talajréteg mikrobiológiai aktivitásától függ, amely szoros összefüggést mutat a környezeti hőmérséklettel. Télen az amúgy is lecsökkent beszivárgással még kevesebb szén-dioxid jut be. A lehullott csapadék mennyisége szoros korrelációt mutat a barlangi szén-dioxid koncentrációjával. A „Lépcsős-bejárat” denevér- röptető-nyílása és a kőzet-repedések közötti légcserre sem elegendő ahhoz, hogy a lecsökkent szén-dioxid mennyiségét a belső járatrészekből kiszellőztesse.

1520 méterhez képest 2900 méternél a barlangi szén-dioxid tartalom megduplázódik, vagyis a barlang egy lejtős zsákként működik. A vízszint az elmúlt 2 évben a szifon környékén nem csökkent, a leszivattyúzást követően néhány órán belül visszatöltődött, vagyis a Komlós-forrás vízvezetési útvonala tartósan leszűkült.

Boldogh Sándor (ANPI) tájékoztatott bennünket (szóbeli közlés, 2015), hogy a jelentősen megnövekedett szén-dioxid koncentráció és a „*Felfedező-ág*” elzáródásának következtében a barlang több pontján a denevér populáció egyedszáma a tizedére csökkent és a „*Felfedező-ágból*” 30 elpusztult egyed tetemét gyűjtötték be. Biztonsági okokból korlátozni kellett a barlang látogatását, ami évente több száz barlangászt és turistát érint. A barlang gyógytermei jelen állapotban teljesen alkalmatlanok mindenfajta hasznosításra, hiszen a korábban kimutatott gyógyhatású levegő nem tud áthatolni a víz alatt lévő szifonon a gyógytermekbe. A „*Zoltán-teremben*” 30 cm-es vízben kell járnunk, míg az „*MKBT-terem*” elzáródott a külvilágtól. A villamos berendezések teljes cserére szorulnak! Lelassult a cseppkőképződés folyamata, mivel a kőzetnyomás alól kikerülő telített oldat szén-dioxid leadó képessége is lecsökken, így az telítetlen oldatként tovább oldja a már kirakódott cseppkőképződményeket. Csepegővíz-kémiai vizsgálataink az oldatban maradó kalcium-ionok kb. 25%-os növekedését mutatják, mely nem válik ki a cseppkőképződés során. A lecsöppenéskor képződő aeroszol is jelentős szénsavat tartalmaz, így részt vesz a felgyorsult cseppkődegradációban, mely néhány évtized alatt a barlang képződményeinek visszaoldódásához vezet (hasonló jelenséget figyelhetünk meg az Esztarmosi Földvári Aladár barlangban).

Feltesszük a kérdést, hogy ha a jelenlegi állapotot vizsgáljuk, az vajon megegyezik az 1954 előtti állapottal? Válaszunkban határozottan állíthatjuk, hogy nem, mert a most mérhető barlangi szén-dioxid koncentráció megakadályozta volna a végponti kutatást.

Joggal kérdezhajjuk, hogy helyre áll vajon a barlang szellőzése műszaki beavatkozás (drain-cső behúzás, meder-mélyítés, vízelvezetés) nélkül? Mivel az állapot lassan 3 éve fenn áll, azt a határozott választ adhatjuk, hogy csak a műszaki beavatkozás segíthet a Béke-barlang klímájának helyreállításában.

### **Köszönetnyilvánítás**

A barlangtérképek és hossz-szelvények rendelkezésre bocsátásáért szeretnénk köszönetet mondani Szunyogh Gábornak és Kisbán Juditnak, a vizsgálati eredmények feldolgozásában nyújtott segítségéért pedig Bukri Gergelynek és Gallasz Alexandrának. A vizsgálatok nem jöhettek volna létre Kiss Klaudia, Sztratiev Balázs, Leél-Őssy Zsolt és Stieber Bence aktív részvétele nélkül.

## IRODALOM

- FODOR I.* (1984): A barlangok éghajlati és bioklimatológiai sajátosságai. – Akadémiai kiadó, Budapest, 190 p.
- HERCZEG L.* (2008): A szén-dioxid koncentráció hatása az ember közérzetére és az irodai munka teljesítményére. – Doktori értekezés, BME Gépészmérnöki kar
- JAKUCS L.* (1953): A Béke-barlang felfedezése. – Művelt Nép Könyvkiadó, Budapest, 94 p.
- JAKUCS L.* (1959): Felfedező utakon a föld alatt. – Gondolat kiadó, Budapest, 254 p.
- JAKUCS L.* (1971): A karsztok morfogenetikája. - A karsztfejlődés variációi. – Akadémiai kiadó, Budapest, 310 p.
- KERÉNYI B. – BÍRÓ ZS. – KIRCHKNOPF M.* (1966): A Béke-barlang gyógyhatásának hasznosítása, kézirat, 100 p.
- LEÉL-ŐSSYSZ. – STIEBER J.* (2014): Különös szén-dioxid szintek a Béke-barlangban. – Karsztfejlődés XIX. pp. 225 – 230.
- SZUNYOGH G. – KISBÁN J.* (2004): A Béke-barlang. – A Komlós-patak felszín alatti útja – Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság Jósvafő, 140 p.