

**A BÉKE-BARLANGBAN VÉGREHAJTOTT SZÉN-DIOXID
CSÖKKENTŐ MŰSZAKI BEAVATKOZÁSOK HATÁSA A
BARLANGI KLÍMA VISSZARENDEZŐDÉSÉRE**

**THE IMPACT OF TECHNICAL INTERVENTION ON CARBON-
DIOXIDE REDUCTION IN THE BÉKE CAVE TO REDUCE THE
CAVE CLIMATE**

STIEBER JÓZSEF¹ - DR. LEÉL-ŐSSY SZABOLCS²

¹STIEBER Környezetvédelmi Kft., 1181 Budapest, Nyerges u. 6.,

stieber@stieber.hu

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

losz@geology.elte.hu

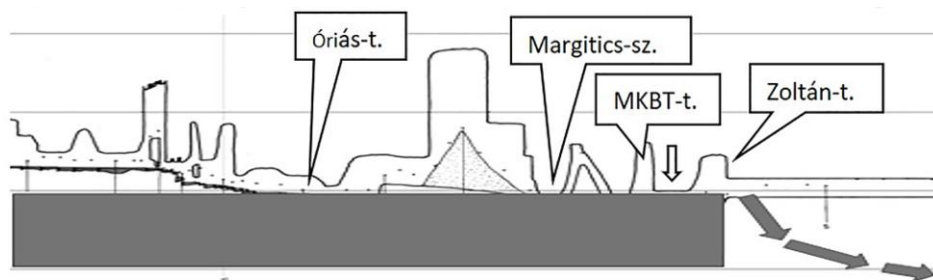
Abstract: In the summer of 2010, the entrance to the "Exploration Branch" of the Béke Cave collapsed, then from February 2013, the end siphon of the cave was blocked, so that only 3 of the known entrances through May 2015 were air traffic through the "Main Entrance". After the "Exploration Branch" was cleaned up in the spring of 2015, a perceptible draft appeared and within a few hours the air pressure-difference leveled and the draft stopped. Given the exploration entrance and the "Staircase Entrance" (Mount of Szomor Entrance), nearly the same altitude, there was no air-flow that would have ventilated the cave. Temperature and humidity values have not changed over the last 50 years, however, the infiltrated carbon-dioxide could no longer vent out of the cave, its concentration showed a seasonal variation (closely correlated with the amount of precipitation), because the carbon-dioxide content of the infiltrating water determined the degree of enrichment. Concentration increased steadily inward in the "Main Branch" and exceeded ten times its previous values, which resulted in bat deaths, drastic decline of bat population, slowing of stalactite formation, acceleration of stalactite degradation, and cure visitation and therapeutic use. As the siphon clogging and evolved water levels proved to be durable, the Aggtelek National Park Directorate carried out technical interventions to drain most of the water out of the cave and to dry out the floodplains, except for the "Pink-Tufa Corridor". Ventilation of the cave started, which, justifying the above described, was slowly, after almost 1 year, returned to its original state. Researchers approached the blocked siphon from both sides, while assessing the cave's climate reversal. As the water receded, the previously closed crevices opened and the atmosphere of the cave also changed. The cave has undergone unprecedented dehydration, resulting in the appearance of new types of mineral deposits. The newly published results also close the 5-year observation series, summarizing our experience in observing this rare natural phenomenon.

Keywords: Dripstone cave, Speleotherapy, cave wind, changable CO₂ level, cave syphon, cave stream

1. Bevezetés

2013 és 2016 között havi rendszerességgel végeztünk vízkémiai és klimatológiai vizsgálatokat 2 napon keresztül a Béke-barlangban, melynek keretében 1520 m-nél („Buzogány”) szén-dioxid loggert helyeztünk el 24 órára.

Munkánkat az elnyert OTKA- 101 664 sz. „*Hazai szárazföldi karbonát-képződmények 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 végeztük. A 2013. év első felében lezajlott hóolvadás, majd eső következményében a barlangban árvizek uralkodtak, a Kőhorog-oldali „*Margitics-szifon*” vízzel elzáródott és (már korábban) 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. ábrák). Az árvizekkel együtt kritikus szén-dioxid emelkedés mutatkozott, mely több órás barlangtűrák alatt akár mérgezést is okozhatott volna. A kockázat miatt az Aggteleki Nemzeti Park Igazgatósága a barlang látogatását 2013 májusától felfüggesztette.



1. 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 nyílak az elfolyás irányát mutatják a „*Zoltán-terem*” gyűjtő csövéen keresztül a szabadba.

Fig. 1. The shaded area around the "Margitics-siphon" 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 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 vezetésével a közel 100 fős kutató brigád, mely korábban el volt zárva a külvilágtól (JAKUCS, 1959). Jakucs Lászlónétól (szóbeli közlés, 2015) tudjuk, hogy a napjainkban használt, az aggteleki „*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-röptető nyíláson keresztül történik a légcsere. 2015 májusában a denevér-röptető nyílást a kétszeresére tágitották. A Jósavfői „*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 (6. ábra).

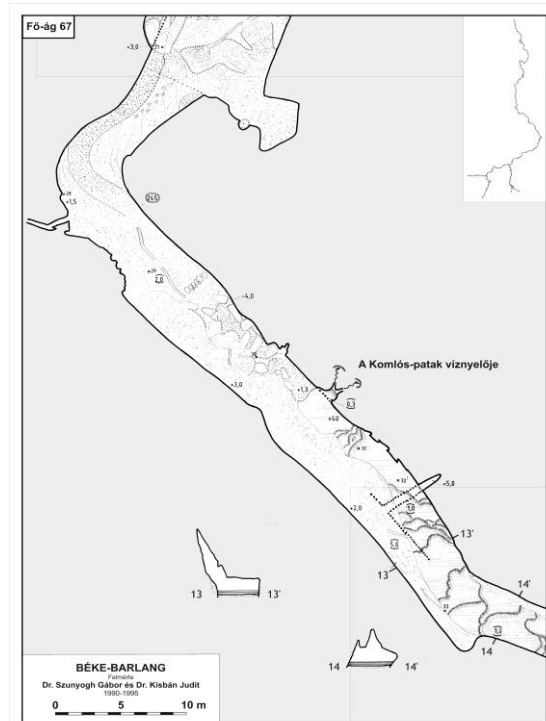


2. ábra: Az „MKBT-terem” víz alatt.
Fig. 2. "Chamber MKBT" under water

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



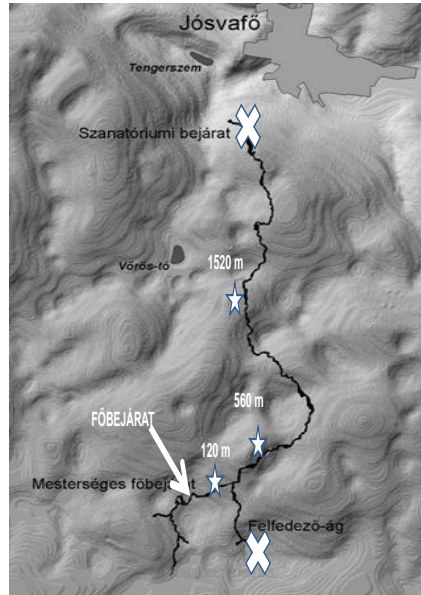
3. ábra: A túlfolyó víz a "Zoltán-terembe" jut, innen túlfolyó-csővön át távozik.
Fig. 3. The overflowing water reaches "Chamber Zoltán" and leaves this place through a decantation tube



4. ábra: A Rózsaszín-tufagátak folyosójának vízzel elöntött szakasza, benne a Komlós-patak eltömődött víznyelőjével
 Fig. 4. Water-flooded section of the Pink Tufa Corridor, with its clogged sinkhole in the Komlós Creek



5. ábra: A Rózsaszín-tufagátak folyosójának szifonban végződő végpontján, 3,8 tf% szén-dioxidban, 2015 februárban
 Fig. 5. At the end of the Pink Tufa Corridor siphon end, 3.8 vol% carbon dioxide, February 2015



6. ábra: 2013 és 2015 között, a Szanatóriumi bejárat és a Felfedező-ág között sem volt légforgalom, egyedül a Mesterséges főbejáraton közlekedett levegő a barlangba

Fig. 6. Between 2013 and 2015, there was no air traffic between the Sanatorium entrance and the Exploration Branch, only the artificial main entrance air to the cave

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 Jósvalói 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.

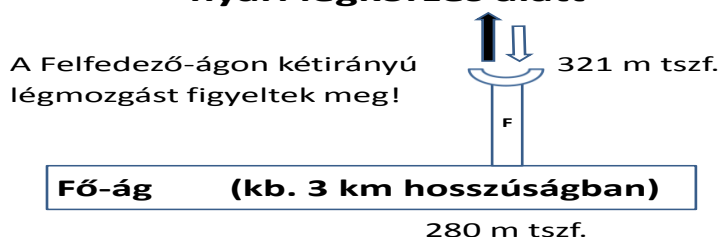
3. Eredmények

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 két-

irányú 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 7. ábrán a barlang áramlási modelljét mutatjuk be, 1952-1953 között, téli-nyári légkörczés alatt.

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



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

Fig. 7. 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.

Szén-dioxid-adatok az 1952-1953 közötti időszakból

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.

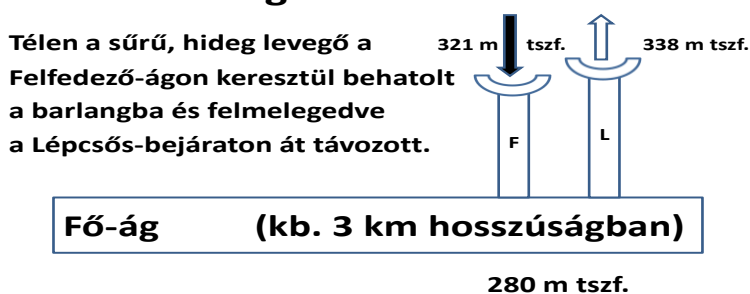
Szén-dioxid-adatok az 1953-1964 közötti időszakból

A Béke-barlang gyógyhatásának hasznosítása című kéziratban olvashatjuk, hogy a kutatók a barlangi levegő szén-dioxid tartalmának 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).

Az 1953-1964 közötti téli rekonstruált áramlási modellt a 8. ábrán mutatjuk be. Ezen időszakban, nyári légkörczés 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 un. 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



8. ábra: 1953-1964 közötti téli rekonstruált áramlási modell bemutatása.
Fig. 8. Presentation of winter flow model reconstructed from 1953 to 1964.

Szén-dioxid-adatok az 1964-2013 közötti időszakból

Jakucs László mérései alapján (1965) tudjuk, hogy 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 szén-dioxid tartalmát 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 9. ábrán mutatjuk be. Ezen időszakban, nyári légkörzés esetén a légáramlás iránya fordított volt.

tapasztaltuk. Változás az eredményekben a nagymennyiségű csapadék le-
hullásával párhuzamosan volt tapasztalható, amikor 2013 februárjában (25-
26-án 24 órán keresztül) elvégzett vizsgálatunk alkalmával a „*Buzogánynál*”
(1520 m-nél) 8000 – 10000 ppm (0,8 - 1,0 tf. %) körüli értékeket regisztrál-
tunk, melyek ötszörösen meghaladták a korábban itt mért adatokat. Ekkor
még bizonyosan nyitva lehetett a „*Margitics-szifon*”, mert a felszíni lég-
nyomás változásait 3 óras késéssel követte a szén-dioxid koncentráció vál-
tozása (10. ábra).

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 kon-
centrációra. 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
(10. 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 zsáksze-
rűvé változott, ahol a szén-dioxid fokozatos emelkedésére lehet számítanunk.

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 ép-
pen úgy, mint a várható nyári légközítésre is megszerkesztettük (11, 12. ábrák).

Új áramlási modell jelent meg 2013 telén

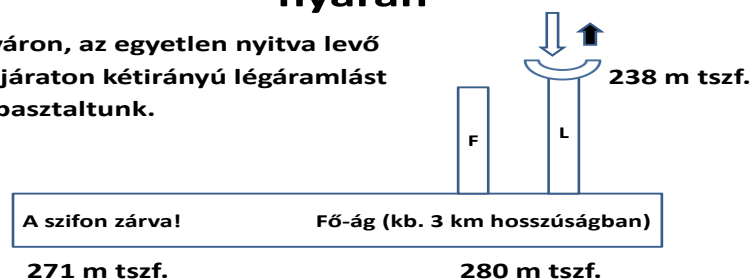
A kőzetpedéseken beáramló kismennyiségű hideg levegő felmelegedve, a kéményhatás törvényszerűségeinek megfelelően a Lépcsős-bejáraton keresztül távozik.



11. ábra: Téli légkörzésre készített modell 2013 márciusában
Fig. 11., Winter atmosphere-life model set up in March 2013

Új áramlási modell jelent meg 2013 nyarán

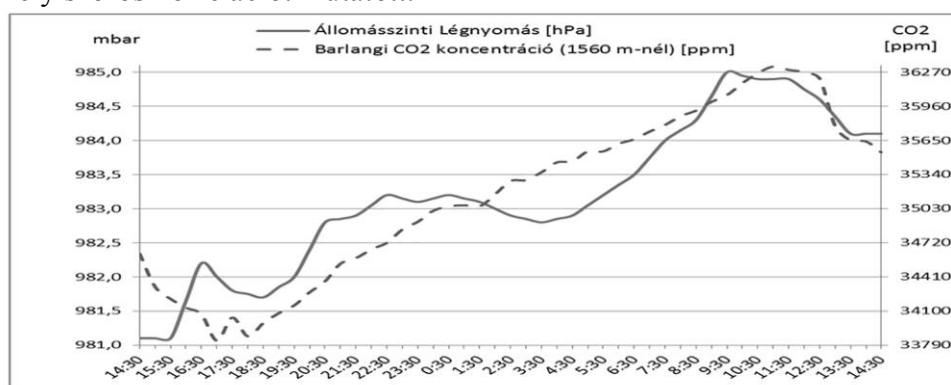
Nyáron, az egyetlen nyitva levő bejáraton kétirányú légáramlást tapasztaltunk.



12. ábra: A téli légkörzési modellből levezetett nyári légkörzési modell
Fig. 12. Summer atmosphere-life model deducted from winter atmosphere-life model

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 (13. 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 gyülemlt fel. Mivel a „Felfedező-ág” bejárata már 2010-ben beomlott, ezért a barlang légköre kizárólag a „Lépcsős-bejáratra” korlátozódott. A hatalmas szén-dioxid tömegre ismét a felszíni légnyomás gyakorolt hatást, annak parciális nyomását emelve a koncentrációja is emelkedett, mely szoros korrelációt mutatott.



13. ábra: Az eddig mért legmagasabb szén-dioxid koncentráció napi menete a „Buzogánynál” (1520 m-nél).
 Fig. 13. The highest measured carbon dioxide concentration in the daily course rated “Buzogány” (1520 m).

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 13. 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 (15. 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. 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 bejárati 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.

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 ismételtelen elzáródott.

Számításaink szerint a 3 km hosszúságú, átlagosan 4 m széles „Fő-ágban” nyári időszakban, 2 méter magasságig (tehát 24 000 m³-ben), 3 tf^o koncentráció esetén kb. 1400 kg szén-dioxid halmozódik fel, melyet nyitott bejáratokon keresztül 2013 előtt mért kb. 500 Nm³/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 járatszervény 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 kiegyenlítődött, 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 Nm³/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^o koncentrációjú, 12 000 m³ térfogatú, 470 kg tömegű szén-dioxid réteget 100 óra alatt szellőztetné át. Mindez akkor teljesülne, ha feltételezzük, hogy az átáramló levegő csak a járatszervény 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 ha-

tékonyságát, így a szén-dioxid koncentráció csökkenésében érezhető változás nem történik. Utolsó mérésünkre 2015 júniusában került sor, mely alkalmával a felszínen tartósan rossz idő, hűvös, szeles, csapadékos időjárás volt tapasztalható. Ekkor, a felszín és a barlang közötti kis hőmérsékletkülönbségnek köszönhetően a „*Felfedező-ágban*” föliával elszűkített szelvényen, mérőperem beiktatása mellett sem sikerült légforgalmat kimutatnunk.

A végső döntés meghozatala

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 légszere 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 vízelvezetési 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 átha-

tolni 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 cseréjére 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 Esztar mosi Földvári Aladár-barlangban). A terápiás tevékenység újraindítása ilyen körülmények között lehetetlen, akárcsak a barlangban történő túrázás, mely veszélyes.



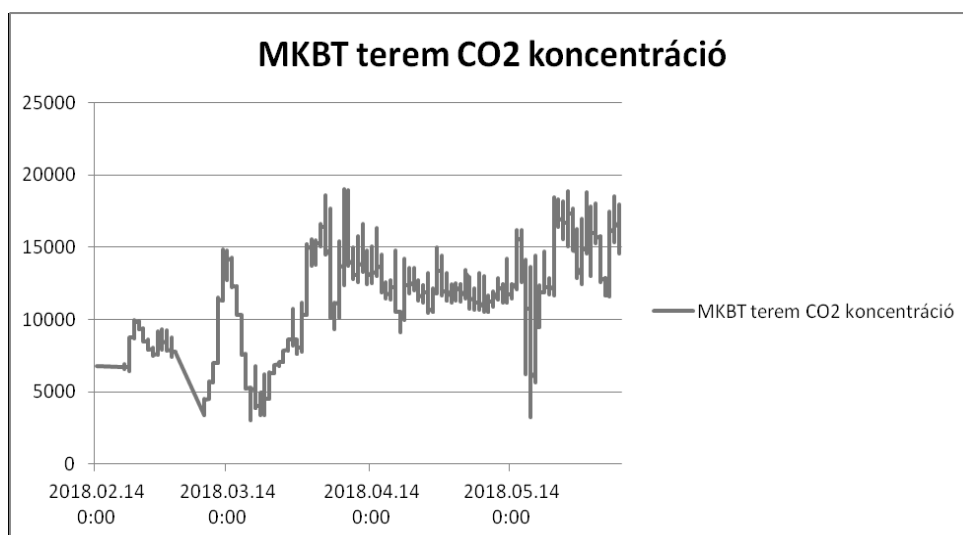
14. ábra: A nagy mennyiségű hordalékot és a meder mélyítésből felszabadult kőzetanyagokat ideiglenes sín pár kiépítésével, kézi erővel történő mozgatóssal juttatták a felszínre
Fig. 14. Arge amounts of sediment and rock material released from the dredging have been brought to the surface by the construction of a temporary shingle, manually moved

Mivel az állapot lassan 4 éve fenn áll, világossá vált, hogy csak a műszaki beavatkozás segíthet a Béke-barlang klímájának helyreállításában. Az ANPI, mint vagyongekezelő, a természetvédelmi értékek megóvására és a barlang szén-dioxid mentesítésére közbeszerzési eljárást folytatott le, melyet 2017-ben az „ESZTRAMOS” Konzorcium nyert el. Az Európai Unió pályázati forrás a „KEHOP – 4.1. Élőhelyek és fajok természetvédelmi helyzetének javítása, a természetvédelmi kezelés és bemutatás infrastruktúrájára

„*fejlesztése*” felhívás keretében került leállításra. A több mint egy évig tartó nagy szabású munkálatok során lecsapolták és folyamatosan elvezetik a Margitics-szifon vizét, megtisztították a Gyógytermeget és a szifon kényelmes elérése érdekében egy ember által könnyen járható betonozott alagutat építettek ki az MKBT-terem és a Margitics-szifon közé (14. ábra).

A szén-dioxid lassú távozása a barlangból

Számításaink szerint a „*Fő-ágban*” kb. 1400 kg szén-dioxid halmozódott fel, melyet nyitott bejáratokon keresztül 2013 előtt mért 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, ez az időtartam jelentősen megnövekedhet. Ez így is történt: csaknem 6 hónap kellett a felgyülemlött szén-dioxid távozásához (15. ábra).



15. ábra: 2018 tavaszáig az egykori gyógy-termek víz alatt álltak, nem volt légmozgás. Áprilistól leszivattyúzták a szifont és megindult az átszellőzés. A mérési ponton folyamatos levegőbefújás mellett is hónapokig magas értéket regisztráltunk.

Fig. 15. Until spring 2018, the former spa facilities were under water, with no air movement. From April, the siphon was pumped out and the venting started. At the measurement point, even with continuous air supply, high values were recorded for months.

4. Összefoglalás

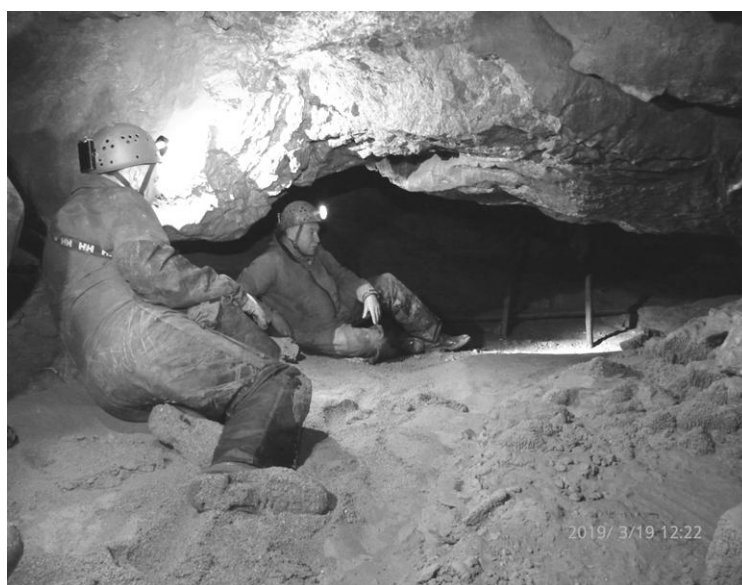
A 2013-tól végzett rendszeres vízkémiai vizsgálataink és klimatológiai méréseink alapján jelentős változás következett be (elsősorban a levegő CO₂ tartalmának tekintetében) a Béke-barlang korábbi, 1952-es felfedezés kori, ill. a jelenlegi főbejárat megnyitása után kialakult légkörzési állapotokhoz képest.

Ennek két oka is volt: 2010 nyarán beomlott a Béke-barlang "*Felfedező-ágának*" bejárata, majd 2013 februártól eltömődött a barlang végponti szifonja, így a 3 ismert bejáratból 2015 májusáig csak a "*Főbejáraton*" keresztül történt légforgalom. A Felfedező-ág 2015 tavaszán történt kitakarítását követően érzékelhető huzat jelent meg, majd néhány órán belül megtörtént a légnyomás-különbség kiegyenlítődése és a huzat leállt. Tekintettel a Felfedező-bejárat és a Lépcsős-bejárat (Szomor-hegyi-bejárat) közel azonos tengerszint-feletti magasságára, nem tudott kialakulni akkora légforgalom, mely a barlangot átszellőztette volna. Irodalmi adatok alapján áramlási modelleket készítettünk mind a felfedezés utáni, mind az új bejáratok megnyitását követő, és a szifon eltömődés után kialakult helyzetről. Elméletünk szerint a hőmérsékleti- és páratartalom-értékek az elmúlt 50 évben nem változtak, azonban a beszivárgással bejutó szén-dioxid a szifon eltömődése után már nem tudott kiszellőzni a barlangból, koncentrációja évszakos változást mutatott (szorosan korrelálva a felszínre hulló csapadék mennyiségével), mivel a beszivárgó víz szén-dioxid tartalma határozta meg a feldúsulás mértékét. A koncentráció a "*Fő-ágban*" befelé haladva folyamatosan emelkedett, és meghaladta a korábbi értékek tízszeresét, mely denevérpusztulásokat, denevér populáció drasztikus csökkenését, a cseppkőképződés folyamatának lelassulását, a cseppkődegradáció felgyorsulását és a barlang látogatásának valamint gyógyászati célú hasznosításának korlátozását eredményezte. Mivel a szifon eltömődése és a kialakult vízszint tartósnak bizonyult, így az Aggteleki Nemzeti Park Igazgatósága műszaki beavatkozásokat hajtott végre, mellyel a víz nagy részét levezette a barlangból, és a Rózsaszín-tufagátak folyosó kivételével (16. ábra) az addig elöntött járatok szárazra kerültek. Megindult a barlang átszellőzése, mely a korábban már leirtakat igazolva, igen lassan, közel 1 év után került az eredeti állapotba. A kutatók mindkét oldalról megközelítették az elzáródott szifont és közben felmérték a barlangi klíma visszarendeződését. A víz elvonulásával megnyíltak korábban elzárt hasadékok és a barlang légkörzésében is változás állt be. A barlang talán eddig nem látott mértékű kiszáradáson ment keresztül (17, 18. ábra), mely új ásványkiválások megjelenését eredményezte.



16. ábra: A rózsaszín-tufagátak folyosója mindkét irányból átjárhatatlan. A képen az Óriás-terem felől próbálkoztunk, sikertelenül.

Fig. 16. The corridor of pink tuffs is impassable in both directions. In the picture we tried from the Giant's Hall, unsuccessfully.



17. ábra: A szerzők a kiszáradt „Rumos-szifonban” ülnek 2019. március 19.-én.

Fig. 17. The authors sit in the dried-out "Rumos siphon" on March 19, 2019



18. ábra: 2019 márciusában Stieber József száraz lábbal áll az un. „kútban”, ahol korábban mellig érő víz felett kellett átkelni, éveken át.

Fig. 18. In March 2019, József Stieber stands with his dry feet in the so-called. In a "well" where they had to cross the breast water before, for years.

A 2450 m körüli sziklagát felrobbantása, átvésése stb. esetén talán magától lecsapolódik a tó. Viszont itt ránézésre minimális a patak lejtése, nem biztos, hogy teljesen le tudja vezetni a tavat. Dugulás itt máskor, már a történelem előtti időkben is előfordulhatott: ezt bizonyítja, hogy az egész Óriás-teremben mennyezetig (közel 10 méteres magasságig) csúszós, maszszív, vastag vörös agyag borítja a terem oldalát, ami a gyakori és hosszan tartó vízzel való feltöltődésre, és az abból történt leülepedésre utal. A tó leszívása után a Komlós-patak víznyelőjének kitisztítása következik. Ez viszont lehet, hogy technikailag nehéz feladatnak bizonyul: nem tudni milyen mélyen töltődött fel a víznyelő és ki vagyunk téve az újabb és újabb eltömődésének. Ha nem oldjuk meg véglegesen az új szifon felszámolását, majd az eredeti állapot visszaállítását, újra bekövetkezhet a légcserre leállása, a barlang szén-dioxiddal való ismételt feltöltődése. Ebben az esetben viszont lehetetlenné válik a tervezett terápia-visszaállítása.

A most megjelentetett eredmények egyben lezárják az 5 éves észlelési sorozatot, összefoglalva e ritka természeti jelenség megfigyelésével szerzett tapasztalatainkat

Köszönetnyilvánítás

A barlangtérképek és hossz-szelvények rendelkezésre bocsátásáért szeretnénk köszönetet mondani Szunyogh Gábornak és Kisbán Juditnak. 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-ŐSSY SZ., STIEBER J.* (2014): Különös szén-dioxid szintek a Béke-barlangban. – Karsztfejlődés XIX. pp. 225 – 230.
- STIEBER J., LEÉL-ŐSSY SZ.* (2015): Megváltozott vagy csak visszaváltozott a Béke-barlang klímája? – Karsztfejlődés XX. pp. 225 – 230.
- SZUNYOGH G., KISBÁN J.* (2004): A Béke-barlang. – A Komlós-patak felszín alatti útja – Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság Jósvalő, 140 p.