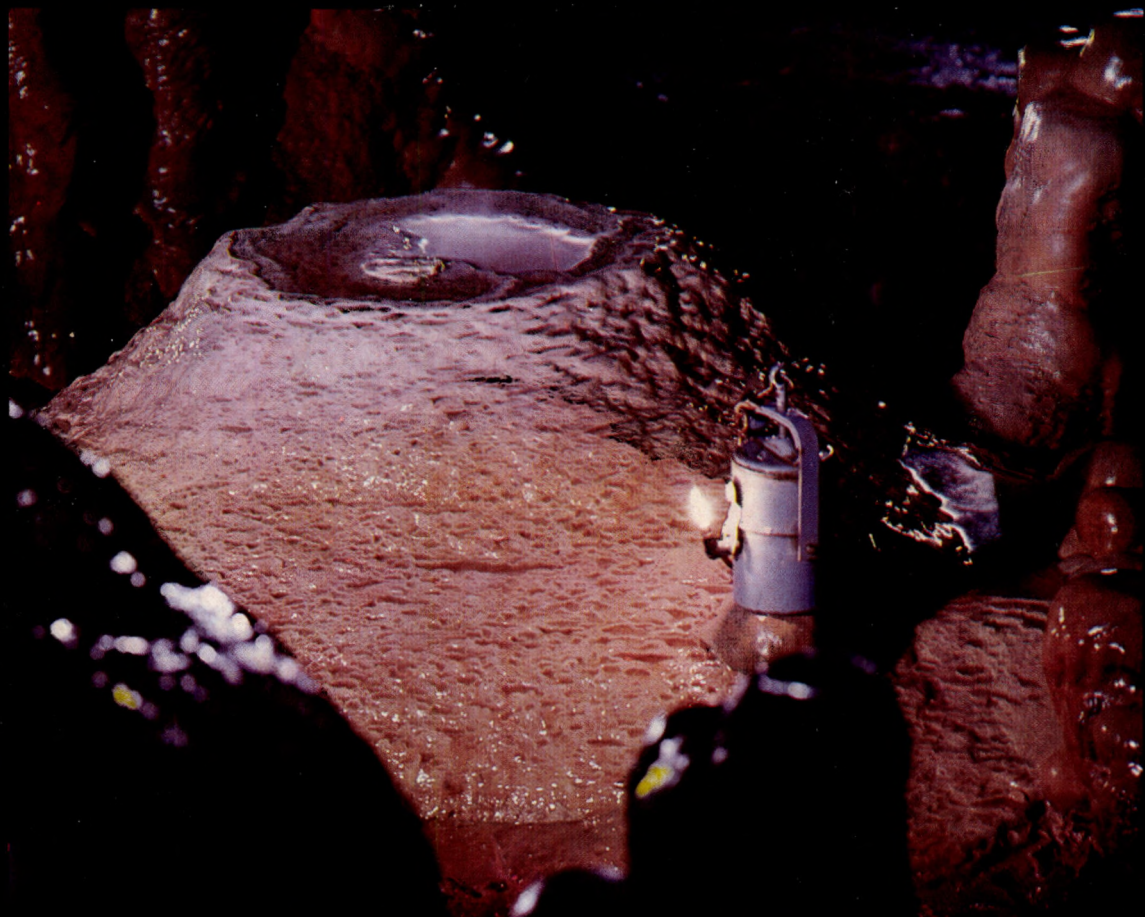


Fodor István

A BARLANGOK ÉGHAJLATI ÉS BIOKLIMA- TOLÓGIAI SAJÁTOSSÁGAI



Akadémiai Kiadó, Budapest

Fodor István

A BARLANGOK ÉGHAJLATI ÉS BIOKLIMA- TOLÓGIAI SAJÁTOSSÁGAI

A barlangokban — az ember számára is járható természetes föld alatti terekben — uralkodó klíma-viszonyok a felszíni klímától jelentősen különböznek. Jellemző sajátosságuk: a levegő tisztasága, kedvező kémiai összetétele, magas nedvességtartalma, a napsugárzás teljes hiánya, a hőmérséklet kis változékonysága.

Mindezen tényezők erőteljesen befolyásolják a barlangban rövidebb vagy hosszabb ideig tartózkodó ember közérzetét. Ennek felismerése alapján a barlangok klímájának részletes feltárása a barlangokra vonatkozó általános ismereteink gyarapításán túl elősegítheti azok gyógyászati alkalmazását is. A gyógybarlangok jelentőségét napjainkban mind szélesebb körben ismerik fel Európa-szerte, ugyanakkor hazánkban ma még inkább csak potenciális lehetőségként kezelik.

A szerző komplex megközelítésben vizsgálja a barlangok klimatikus rendszerét, nélkülözhetetlen információkat szolgáltatva földrajzi ismereteink bővítéséhez éppen úgy, mint a barlangterápia továbbfejlesztéséhez.

A mű a speleológusok és a barlangterápiával foglalkozó orvosok érdeklődésére egyaránt joggal tart számot.



AKADÉMIAI KIADÓ · BUDAPEST

A BARLANGOK ÉGHAJLATI
ÉS BIOKLIMATOLÓGIAI
SAJÁTOSSÁGAI

A BARLANGOK ÉGHAJLATI ÉS BIOKLIMATOLÓGIAI SAJÁTOSSÁGAI

Írta

FODOR ISTVÁN



AKADÉMIAI KIADÓ · BUDAPEST 1981

ISBN 963 05 2669 7

© Akadémiai Kiadó, Budapest 1981 · Fodor István

Printed in Hungary

TARTALOMJEGYZÉK

| | |
|---|----|
| Előszó | 9 |
| I. A barlangklíma-kutatás története | 11 |
| II. A barlangok bioklimatológiai rendszere | 23 |
| 1. A barlangi szubsztrátum és az ember | 23 |
| 2. A barlangok bioklimatológiai rendszere | 25 |
| 2.1. A melegérzetet keltő barlangtípus | 26 |
| 2.2. A komfortérzetet keltő barlangtípus | 26 |
| 2.2.1. A tapolcai barlangok | 26 |
| 2.3. A hűvösérzetet keltő barlangtípus | 27 |
| 2.3.1. A Baradla-Domica-barlangrendszer | 29 |
| 2.3.2. Az Abaligeti-barlang | 29 |
| 2.4. A hidegérzetet keltő barlangok | 30 |
| 2.4.1. A Telkibányai-jegesbarlang | 31 |
| 2.4.2. A Dobsinai-jegesbarlang | 32 |
| 3. A vizsgált barlangok felszínére jellemző néhány éghajlati sajátosság | 32 |
| III. A barlangok levegőjének hőmérséklete | 36 |
| 1. A hűvösérzetet keltő barlangok | 36 |
| 1.1. A Baradla-barlang | 37 |
| 1.1.1. A léghőmérséklet térbeli elrendeződése | 37 |
| 1.1.2. A bejárati vagy kiegyenlítődesi zónák hőmérsékleti viszonyai | 37 |
| 1.1.3. A Baradla-Domica-rendszer belső légterének hőmérsékleti viszonyai | 40 |
| 1.1.4. A léghőmérséklet függőleges eloszlása | 41 |
| 1.1.5. A léghőmérséklet időbeli változásai | 41 |
| 1.1.6. A Domica-szakasz néhány léghőmérsékleti sajátossága | 43 |
| 1.2. Az Abaligeti-cseppkőbarlang | 44 |
| 1.2.1. A hőmérséklet térbeli eloszlása az Abaligeti-cseppkőbarlangban | 44 |
| 1.2.2. A hőmérséklet függőleges eloszlása az Abaligeti-cseppkőbarlangban | 47 |
| 1.2.3. A barlanghőmérséklet időszakos változásai az Abaligeti-cseppkőbarlangban | 48 |
| 1.2.4. A hőmérséklet valószínűségi sűrűségfüggvényei az Abaligeti-cseppkőbarlangban | 50 |
| 2. A komfortérzetet keltő barlangok hőmérsékleti viszonyai | 53 |
| 2.1. A Tavasbarlang hőmérséklete | 53 |
| 2.1.1. A léghőmérséklet térbeli eloszlása a Tavasbarlangban | 56 |
| 2.1.2. A léghőmérséklet időbeli változásai | 57 |
| 2.2. A Kórház alatti barlang (Tapolca) hőmérsékleti viszonyai | 60 |
| 2.2.1. A léghőmérséklet térbeli eloszlása a Kórházbarlangban (Tapolca) | 60 |
| 2.2.2. A hőmérséklet évi menete | 60 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.3. A léghőmérséklet empirikus valószínűségi sűrűségfüggvénye a Kórházbarlangban (Tapolca) | 61 |
| 3. A hidegérzetet keltő barlangok hőmérsékleti viszonyai | 61 |
| 3.1. A Telkibányai-jegesbarlang léghőmérsékleti viszonyai | 62 |
| 3.1.1. A téli időszak hőmérsékleti viszonyai | 62 |
| 3.1.2. A nyári időszak hőmérsékleti jellemzői | 63 |
| 3.1.3. A levegő hőmérséklet szerinti rétegződése | 63 |
| 3.2. A Dobsinai-jegesbarlang hőmérsékleti viszonyai | 64 |
| 3.2.1. A hőmérséklet térbeli profilja | 64 |
| 3.2.2. Lehülési és felmelegedési folyamatok | 68 |
| 4. A víz szerepe a barlangklíma alakításában | 73 |
| 5. A hordalék és a kőzet hőmérséklete a barlangokban | 75 |
| IV. A barlangok légterének nedvességviszonyai | 78 |
| 1. Hűvösérzetet keltő barlangtípus | 79 |
| 1.1. A Baradla-Domica-barlangrendszer | 79 |
| 1.1.1. A párányomás alakulása a Baradla-Domica-barlangrendszerben | 79 |
| 1.1.2. A párányomás függőleges elrendeződése a Baradla-Domica-barlangrendszerben | 82 |
| 1.1.3. A párányomás időbeli változásai | 82 |
| 1.1.4. A párányomás abszolút szélsőségei a Baradla-barlangban | 83 |
| 1.1.5. A párányomás valószínűségi sűrűségfüggvénye | 83 |
| 1.1.6. A relatív nedvesség jellemzői a Baradla-Domica-barlangrendszerben | 84 |
| 1.1.7. A relatív nedvesség térbeli változásai a Baradla-Domica-barlangrendszerben | 86 |
| 1.1.8. A relatív nedvesség időbeli változása a Baradla-Domica-barlangrendszerben | 87 |
| 1.1.9. A relatív nedvesség sűrűségfüggvénye a Baradla-Domica-barlangrendszerben | 88 |
| 1.2. Párányomás-viszonyok az Abaligeti-barlangban | 88 |
| 1.2.1. A párányomás térbeli változásai az Abaligeti-barlangban | 88 |
| 1.2.2. A párányomás időbeli változásai az Abaligeti-barlangban | 90 |
| 1.2.3. A párányomás empirikus valószínűségi sűrűségfüggvényei az Abaligeti-barlangban | 91 |
| 1.2.4. A levegő relatív nedvessége az Abaligeti-barlangban | 95 |
| 1.2.5. A relatív nedvesség térbeli eloszlása az Abaligeti-barlangban | 95 |
| 1.2.6. A relatív nedvesség időbeli változásai az Abaligeti-barlangban | 95 |
| 2. Komfortérzetet keltő barlangok | 98 |
| 2.1. Párányomás-viszonyok a Tapolcai-tavasbarlangban | 98 |
| 2.1.1. A párányomás térbeli változásai a Tapolcai-tavasbarlangban | 99 |
| 2.1.2. A párányomás időbeli változásai | 100 |
| 2.1.3. A párányomás alakulása a Kórházbarlangban (Tapolca) | 101 |
| 2.1.4. A relatív nedvesség jellemzése a Tapolcai-tavasbarlangban | 101 |
| 2.1.5. A relatív nedvesség térbeli változásai a Tapolcai-tavasbarlangban | 103 |
| 2.1.6. A relatív nedvesség időbeli változásai | 103 |
| 2.1.7. A relatív nedvesség alakulása a Kórházbarlangban | 104 |
| 3. Hidegérzetet keltő barlangok | 105 |
| 3.1. A párányomás alakulása a Telkibányai-jegesbarlangban | 105 |
| 3.1.1. A relatív nedvesség alakulása a Telkibányai-jegesbarlangban | 106 |
| 3.2. A párányomás alakulása a Dobsinai-jegesbarlangban | 107 |
| 3.2.1. A párányomás térbeli elrendeződése januárban a Dobsinai-jegesbarlangban | 107 |
| 3.2.2. A párányomás térbeli elrendeződése augusztusban a Dobsinai-jegesbarlangban | 108 |
| 3.2.3. A relatív nedvesség jellemzése a Dobsinai-jegesbarlangban | 108 |
| 3.2.4. A relatív nedvesség térbeli eloszlása januárban és augusztusban a Dobsinai-jegesbarlangban | 109 |

| | |
|---|-----|
| V. A barlangok légáramlása | 114 |
| 1. A barlangi légáramlások kialakulásának fizikai törvényszerűségei | 114 |
| 2. A különböző barlangtípusok áramlási rendszerei | 120 |
| 2.1. A Baradla–Domica-barlangrendszer | 120 |
| 2.1.1. Az áramlás irányai a Baradla–Domica-barlangrendszerben | 120 |
| 2.1.2. A légáramlás sebessége a Baradla–Domica-barlangban | 121 |
| 2.2. Az Abaligeti-barlang áramlási rendszere | 123 |
| 2.3. A Tapolcai-barlangrendszer légáramlási viszonyai | 126 |
| 2.3.1. A barlangi légáramlás irányának és sebességének jellemzői a Tapolcai-tavasbarlangban | 126 |
| 2.3.2. A tapolcai Kórházbarlang légáramlási viszonyai | 127 |
| 2.4. A Telkibányai-jegesbarlang áramlási viszonyai | 127 |
| 2.5. A Dobsinai-jegesbarlang légáramlási viszonyai | 128 |
| 3. A barlangok levegőforgalma | 132 |
| VI. A barlangi levegő minősége és a morfológia szerinti változásai | 136 |
| 1. A barlangi levegő kémiai összetétele | 136 |
| 2. A barlangi levegő aeroszol-tartalma | 138 |
| 3. A barlangi levegő tisztasága | 141 |
| VII. A barlang-formák és a klíma kapcsolata | 146 |
| 1. A barlangok klímájának változékonysága a bejárattól mért távolságtól függően | 146 |
| 2. A barlangklíma elemeinek függőleges változásai | 149 |
| 3. A barlangok formakincsének és klímájának összefüggései | 151 |
| VIII. A klimatikus barlangtípusok összehasonlító értékelése | 168 |
| 1. A különböző barlangok néhány klímaelemének összehasonlítása | 170 |
| 2. A klimatikus barlangtípusok modelljei | 170 |
| Irodalom | 175 |
| Tárgymutató | 183 |

ELŐSZÓ

Ez a könyv a barlangok klímáját humáncentrikus szempontok szerint elemzi, hiszen kutatásainak egyik sarkalatos kiinduló pontja annak vizsgálata, hogy a barlangok milyen közérzetet biztosítanak a bennük tartózkodó ember számára. A könyvben felsorakoztatott hatalmas eredeti megfigyelési anyag ugyanakkor jelentős mértékben előreviszi a barlangi környezet legfontosabb hatótényezőinek tudományos megismerését.

A karsztok elemző kutatásai korábban elsősorban geológiai, morfogenetikai, valamint hidrológiai oldalról közelítették meg a jelenségeket és az azokat létrehozó folyamat-tényezőket. Kézenfekvő tehát, hogy a tárgykör komplex tükrözéséből nem maradhatnak ki a klimatológiai korrelálások sem. Már csak azért sem, mert a földalatti légköri hatások specifikumainak megértése újabb lépést jelenthet pl. a barlangokban rejlő természeti potenciálok céltudatosabb hasznosításához is.

A barlangok meteorológiai elemzése feltétlenül elősegíti a természeti összefüggések sokirányú feltárását, közelít az általános szpeleogenetikai kérdések szélesebb alapú értelmezéséhez, adalékokat nyújt a földalatti oldáselméletek, a cseppkőképződés kémiai, fizikai és klimatikus problémái, továbbá a szpeleológia számos más, még le nem zárt szakkérdése megoldásához.

E könyv úttörő kísérlettel a barlangokon belüli, továbbá a barlang, illetve természetes környezete klímajelenségei és folyamatai közötti okozati összefüggések komplex feltárására.

A rejtett földalatti világ az élőlények számára sajátos miliót biztosít. A fajfejlődés szempontjából az ilyen térségeket erősen körülhatárolt biotópoknak tekinthetjük, amelyek a bennük élő szervezetek fejlődését hosszú generációkon át speciálisan determinálják. A szpeleobiológiai bűvárkodások nem nélkülözhetik a leglényegesebb környezeti meghatározó tényezőknek, az üreg hőmérsékletének, légnedvességének, légmozgásának, a fényhatár megjelölésének, valamint a víz és talajviszonyok kapcsolatainak részletes megfogalmazását. A barlangklimatológiának azonban mindezek feltárásán túl még a további szpeleo- és bioökológiai programok kidolgozásában is fontos szerepe van.

Az utóbbi időben egyre jobban kibontakozó lehetőséggé vált a természetes üregrendszerek gyógyászati, egészségügyi célú hasznosítása. A téma jelentősége a környezeti ártalmak rohamos növekedése idején szinte felmérhetetlen. Az ipar fejlődésével mindinkább gyarapodnak Földünkön a szennyezett levegőjű munkahelyek, és ha nem is „hal meg a Nap”, ahogy ezt *Oriana Fallaci* vetíti előre, mégis feltétlenül figyelmet érdemel, hogy világméretben a lakosságnak több mint 50%-a városban, illetve ipari településen él, ahol a szennyezettebb levegő következtében fokozott mértékben

kell számolni a légúti megbetegedések elterjedésével. A szakorvosi kutatások számszerűen bizonyítják, hogy a speleoterápia, a chronicus bronchitis és az asthma bronchiale esetében oly mértékű javulást és gyógyulást idézhet elő, amelyet gyógyszeres eljárással az orvostudomány eddig nem tudott produkálni (Klutert-barlang NSZK-ban, Béke-barlang Aggteleken, Gombaszögi-barlangban végzett kísérletek Csehszlovákiában, a Wieliczкаи és Aknaszlatinai – Szolotvino – sóbánya-szanatóriumok eddigi eredményei). Ennek ellenére a barlangok egészségügyi hasznosíthatóságának kutatása pl. a nyersanyagkutatásokhoz képest világviszonylatban eltörpül, ámbar e téren hazai eredményeink a nemzetközi élvonalba sorolhatók.

Fodor István könyve rengeteg új értékes információt nyújt, amelyből nemcsak a speleológusok, de a geográfusok, klimatológusok és az orvostudományok szakemberei is hasznos ismeretanyagot meríthetnek.

Dr. Jakucs László

egyetemi tanár

I. A BARLANGKLÍMA-KUTATÁS TÖRTÉNETE

A speleoklíma vagy barlangklíma a szilárd földkéreg közeteiben természetes úton létrejött üregek légterének sajátos klímája. Ezek a felszín alatti légterek olyan összefüggő rendszerek, amelyeknek levegője jellegzetes légellenállás leküzdésével évszakosan változó intenzitással cserélődik a külső légtérrel, de ez a légcseré nem akadályozza meg a sajátos barlangklíma kialakulását.

Ez magyarázza, hogy a barlangoknak a föld felszín felettől sajátosan elütő klímájuk van. Az itt végbemenő mozgási, hőtani folyamatokat és a víz halmazállapot-változásait már többnyire nem az általános légkörzés nagy energiaforrása, a nap-sugárzás irányítja. A légkör energia-folyamatai a légcserén, az átáramló vadózus vizek és a külszínről bekerülő hordalék révén azonban jelentősen befolyásolják a barlangok klímáját.

A barlangi levegő fizikai állapotában bekövetkező változásoknál ugyanazon sztatikai és dinamikai törvények érvényesek, mint a földi légkör egészében, csupán ezek a változások sokkal lassúbbak, mérsékeltebbek. A barlangok belső légterében lejátszódó fizikai folyamatoknál ki vannak zárva a váratlan, gyors, egyik percről a másik percre bekövetkező időjárási hatások, de az esetleges árvizek miatt mégis lehetnek hirtelen változások.

A barlangok éppen a zárt vagy részben zárt geomorfológiai felépítésükkel olyan természetes környezetet nyújtanak a különböző éghajlati elemek, természeti jelenségek kutatásához, ahol a vizsgálatok ugyanazon feltételek mellett, sokszor megismételhetők, és lehetővé teszik tudományos törvényszerűségek megállapítását.

A hazai barlangok klímájára vonatkozó megfigyelések és a sporadikus adatgyűjtések nagy múltra tekintenek vissza.

A Baradla-cseppkőbarlang tudományos kutatásának kezdete a XVIII. sz. végére és a XIX. sz. elejére tehető. TOWNSON (1797) munkájában többek között a Styx-patak hőmérsékletére konkrét mérések alapján találunk adatokat. RAISZ Keresztély 1801. július 6-án kezdte meg a Baradla feltérképezését Gömör vármegye megbízásából, a barlangról készített leírásában megemlítette a patak hőmérsékletét is, amely $9^{\circ}\text{R} = 11^{\circ}\text{C}$ -nak adódott. VASS Imre kutatásaival új fejezetet nyitott a Baradla tanulmányozásának történetében. 1825-ben felfedezte a vaskapui átjárót és új hatalmas barlangszakaszt tárt fel. A ma már tudománytörténeti szempontból is értékes „Az aggteleki barlang leírása” című művében (1831) sok, ma is helytálló megjegyzést tesz. Figyelmét nem kerüli el a barlang klímája sem. „... a barlang nem mindenkor egyforma meleg, változást okozhat benne a végig folyó víz, amely az esztendő külön részeiben más és más hőértékű...”

FÉNYES Elek (1851) későbbi leírásában szubjektív megfigyelései alapján értékeli

a barlang klímáját: „Ami a barlang meleg mérsékletét illeti, ez körülbelül hétszer hidegebb, mint a külső levegője.” Ez a nagyon szubjektív értékelés még a nyári viszonyokra sem áll.

Adolf SCHMIDL (1856) ugyancsak értékes adatokat közöl a barlang hőmérsékletére. Megállapítja például, hogy az álló tavacsók hőmérséklete a barlang előterében hidegebb ($6,2^{\circ}\text{R}$ a Csontház és Teknősbéka környékén), mint ugyanott a folyó víz hőmérséklete, amelynek átlagos értéke $7,7^{\circ}\text{R}$, augusztusban. Ezek a megfigyelések azért jelentősek, mert több mint 100 év távlatából igen pontosan kísérhetjük figyelemmel a Baradla-barlang hőmérsékleti viszonyainak alakulását és a későbbi kutatásokkal, valamint saját vizsgálataimmal egybevetve, fontos következtetéseket vonhatunk le a barlangok klímájára.

Hasonló, mintegy 100 éves irodalmi anyag van az Abaligeti-barlangról is. A források szerint az Abaligeti-barlang főágának felfedezése MATTENHEIM József nevéhez fűződik 1768-ból, de a barlang bejárata már korábról is ismert. Első részletes leírását KÖLESY Vince Károly (1820) adja, aki a korabeli viszonyok megrajzolása mellett, érdekes megállapításokat tesz a barlang klímájára vonatkozóan is. 1830-ban a Geographiai Szókönyv már Európa nevezetességei közé sorolja az Abaligeti-barlangot.

A XIX. században a barlangkutatás szélesebb alapokon folyt. A barlangok már nemcsak természeti szépségük, hanem gazdasági értékeik alapján is kihasználásra kerültek. Egyre szélesebb körben figyeltek fel a sajátos barlangklíma adta lehetőségekre, amint arra számos példát említettünk.

KOSSUTH Lajos már 1871-ben tapasztalta a monsummanói barlang gyógyhatását (1894).

A barlangklíma vizsgálatok a XIX. sz. végén, ill. a XX. sz. elején még többségükben a hőmérséklet időszakos megfigyelését jelentették (PENCK, A. 1889), illetve a rendkívül érdekes természeti jelenségek, a jegesbarlangok klímájának vizsgálatára irányultak (FUGGER, E. 1888, KRENNER J. S. 1874, OEDL, R. 1923, STEINER L. 1922b). *Egyre több kutató foglalkozott már a barlangok kialakulásával, fejlődésével, általános leírásával és osztályozásával.*

FUGGER, E. (1888) hosszan tartó jégmegfigyeléseket végzett és hőmérsékleti feljegyzéseket készített 1876–1887 között az untersbergi barlangban. Munkájában a valódi jegesbarlangok hőmérsékleti viszonyait magyarázza.

A barlangklíma-kutatás első szakaszát A. PENCK munkásságával zárhatjuk le. PENCK 1889-ben teszi közzé a St. Canziani barlang hőmérsékleti viszonyainak vizsgálati eredményeit. Munkája azért jelentős, mert a barlangra vonatkozó értékes hőmérsékleti tényanyag mellett HANKE, MARINICS, MÜLLER és PAZZE feljegyzéseiben leírt tapasztalatokat, valamint RICHTER és FUGGER tanulmányait is figyelembe véve, a barlangok első jelentős osztályozását végzi el klimatikus alapon.

A századforduló táján és a XX. század első évtizedeiben a barlangklíma-kutatáson belül elsősorban a jégbarlangok viszonyainak vizsgálata került előtérbe. Köztük mindjárt felfedezésétől kezdődően igen nagy figyelemben részesült a Dobsinai-jegesbarlang, amely a szakemberek sokaságát vonzotta. A tudományos vizsgálatok és adatgyűjtések különös érdeklődéssel irányultak a barlang klímájára. Maga a felfedező RUFFINYI J. is végez meteorológiai megfigyeléseket. FEHÉR N. (1872), KRENNER J. S. (1874), SCHWALBE, H. (1887), KRIEG O. (1883), PELLECH E. J. (1884), FISCHER M. (1888) és mások munkáiban is találunk adatokat a barlang hőmérsékletére (DÉNES Gy. 1970a, 1971). Azonban STEINER L. (1922a, b) az első, aki a korábbi szórványos és rövidebb

időtartamú feljegyzésekkel szemben évekre terjedő folytonos adatokat gyűjt és mély tudományossággal elemzi a barlang hőmérsékleti viszonyait.

A Dobsinai-jegesbarlangot STEINER L. felső és alsó emeletre osztotta. A felső emelethez tartozik az úgynevezett „Kis Terem” és a mélyebben fekvő „Nagy Terem”, amelyben az Országos Meteorológiai Intézet 1911. novemberében angol hőmérőházikót állított fel. STEINER L. munkásságával kezdetét vette a hosszantartó megfigyeléseken alapuló rendszerező barlangklíma-kutatás.

R. OEDL hivatkozva STEINER (1922a), CRAMER (1890), BOCK (1913), FUGGER (1888), PENCK (1889), ROSCHKOTT (1921), valamint saját ausztriai, svájci és felső-bajorországi kutatásaira, a barlangok új felosztásával kísérletezik (1923). W. GRESSEL (1958) a légáramlás alapján a barlangok három fő csoportját különbözteti meg: a dinamikus barlangokat, a sztatikus barlangokat és a sztatodinamikus barlangokat.

A barlangklíma-kutatás magyarországi kibontakozása a jégbarlang-típust kutató STEINER L. mellett, az 1930-as években BERÉNYI D., DUDICH E. és GEBHARDT A. munkásságához fűződik. BERÉNYI D. (1943a) a révi Zichy-barlang és környékének hőmérsékleti viszonyait kutatva, összehasonlító elemzést végez a Zichy-barlang és az aggteleki Baradla között.

A barlangklíma-kutatásban más oldalról a bioszpeleológiához kapcsolódó kutatások jelentenek minőségi változást, amikor is a barlangok klímáját egy sajátos biotóp részeként vizsgálják, azaz a barlangklíma állandóságának, ill. változékonyságának a barlangi állatvilágra kifejtett hatását kutatják.

A bioszpeleológiai kutatási irány megalapozása E. RACOVITZA (1907) nevéhez fűződik, de nemzetközileg is kimagasló eredményeket ért el e témakörben DUDICH E. A barlang élővilágának vizsgálatához 1928–1929-ben részletes meteorológiai megfigyeléseket végzett a Baradla hőmérsékletére, légnedvességére, légmozgására, a fényhatár megjelölésére, a víz- és talajviszonyokra vonatkozólag (1932). DUDICH sem a barlang főágában, sem a mellékágában nem talál olyan helyet, amely termikusan erősen eltérő, különös sajátságú lenne. A barlang tehát az oligoterm és sztenoterm, vagyis a pszichoterm állatok számára kedvező életteret képez. Az élővilág számára érdekes fényhatárokat DUDICH a Baradla bejáratainál 60–100 m-ben jelöli meg.

A barlang ökológiáját és a barlangi szervezetek életét és szokásait kutatja GEBHARDT A. az Abaligeti-barlang példáján (1934). Tanulmánya a felkutatott barlangfauna rendszerbe foglalásán kívül kiterjed a földfelszín alatti térség speciális életviszonyainak vizsgálatára, amely a barlangklíma további kutatásához értékes anyagot tartalmaz.

A második világháborút követően a nemzetközi és hazai barlangklíma-irodalom is új vonásokkal gazdagodik. A karszt általános problémáin belül számos kérdést sikerült megmagyarázni, illetve egy sor még tisztázatlan problémát a megoldás útjára vinni.

A természetes földfelszín alatti térségek klímájának kutatásában az utóbbi időben tapasztalható lendület a karszt széles körű vizsgálatának új eredményei mellett különösen három tényezőnek köszönhető. Ezek:

1. a meteorológiai műszer-park nagymértékű fejlődése, korszerűsödése, amelynek következménye a kutatás tárgykörének bővülése is,
2. új szempontok érvényesülése a barlangok hasznosítását illetően,
3. ezek következményeként a kutatás metodikájának tökéletesítése, jelentős új vonásokkal való gazdagodása.

1. *A barlangklíma-vizsgálatok általános problémája, hogy a külső klimatikus elemek napi és évi változékonysága sokkal nagyobb, mint a természetes földalatti üregek megfelelő klímaelemeié.* Ez igazolja a nagy érzékenységet, közöttük elektromos műszerek beállításának szükségességét, bár, ha nagyon érzékeny műszereket használunk a méréstechnikai gondosság növelése nélkül, ronthatjuk a mérés értékét, mert a másodlagos jelenségek befolyásolhatják az elsődlegest.

E fejlődéssel a barlangklíma kutatása kiterjedt a levegő hőmérsékletének, nedvességviszonyainak, a légmozgásnak, a légnyomásnak, a talaj, a szikla és a víz termikus, illetve biológiai és kémiai tulajdonságainak kutatásán kívül a barlangi levegő összetételének, szennyezettségének, elektromos állapotának, radioaktivitásának, biológiai szempontból érdekes baktériumtartalmának és egyéb tulajdonságainak vizsgálatára. Ezeknek a szükségességét a második világháború után jelentkező új alkalmazási lehetőségek is igazolták.

2. A barlang légzőszervekre gyakorolt kedvező fiziológiai hatását az orvostudomány a második világháború után véletlenül fedezte fel a Német Szövetségi Köztársaságban. A Klutert-barlangban az asthma bronchialeban és a chronicus bronchitisben szenvedő betegek maguk figyeltek fel először a barlang kedvező hatására a betegség lefolyásánál. E. SCHULZ összegezte és hozta nyilvánosságra az első orvosi vizsgálat eredményét (1952). A megvizsgált 130 beteg közül 66-nál tiszta asthma bronchiale fordult elő, és 80%-uk a barlangban tartózkodás következtében igen jól gyógyult. SCHULZ és SPANNAGEL tanulmányának eredményeként megállapították, hogy az asthmát, az asthma bronchialet, a bronchitist, a bronchitis utáni emphysemát (tüdőtágulás vagy légdaganat-felfúvódás) az orvos által előírt barlangban való tartózkodás rendkívül kedvezően befolyásolta. Felvetődött a kérdés, hogy szerepet játszanak-e egyes bioklimatológiai faktorok a gyógyhatásban, egyáltalán vannak-e a levegőben olyan anyagok, amelyek kedvezően befolyásolják a gyógyulást, vagy a térmilió azáltal tűnik-e ki, hogy a kedvezőtlenül ható, izgató ingeranyagok hiányoznak.

H. CAUER (1954) a Klutert-barlang bioklimatológiai hatását vizsgálta. A barlang átlaghőmérsékletét a bejárat kivételével 9,5 °C-ban jelöli meg. A hőmérsékletnek csekély ingása van. A nedvességviszonyok azt mutatták, hogy a levegő gyakorlatilag vízgőzzel telített. Érdekes a barlang elektromos viszonyainak vizsgálata. Eszerint a barlang – kőzetfalának jelentős vastagsága következtében – gyakorlatilag Faraday-ketrecnek tekinthető. A szerző valamennyi külső elektromos természetű biológiai ingert kizár a barlangból. SPANNAGEL a korábbi Klutert-barlangra vonatkozó kutatásokból kiindulva orvosi leírást ad a kúra vételére vonatkozóan (1961). Ez rendszeren egy-egy órai reggeli és délutáni barlangi tartózkodással kezdődik, amit mindjárt ágynyugalom követ. A barlangi tartózkodás a kúra folyamán napi kétszer két óráig emelkedik. A betegek kényelmes székeken és heverőkön ülnek vagy fekszenek, és nyugodtan kell lélegezniük. A teljes kúra időtartama 28 nap. A kúra alatt semmiféle gyógyszert nem kapnak, csak akkor, ha a roham vagy az asthmikus állapot miatt ez szükséges, esetleg a gyakran másodlagosan beteg szív esetében.

A klímaterápia alkalmazása az utóbbi időben egyre szélesebb teret nyer. Csehszlovákiában a Gömör–Tornai-karszt Gombaszögi-barlangjában folynak kísérletek légzőszervi betegek gyógykezelésének lehetőségére.

A klímaterápiás kísérletekhez szükséges tudományos vizsgálatokat a Gombaszögi-barlangban L. RAJMAN, S. RODA és K. KLINCKO végezték el. A szerzők összefoglalták a legújabb csehszlovák kutatások eredményeit is (1971).

Magyarországon az aggteleki Béke-barlangban JAKUCS L. kezdeményezésére (1953, 1959a) indultak meg az orvosi kísérletek. 1969 óta Jósvafőn szanatórium működik. Abaligeten ugyancsak 1959-ben kezdődtek az első orvosi megfigyelések, ugyanitt 1970 óta orvosi ellenőrzés mellett újból folynak kísérletek. Hazánkban emellett rendszeresek a barlangterápiás kísérletek a Tapolcai-barlangrendszer kórház alatti részében, ill. történtek ilyen kísérletek a Tavasz-barlangban is. A Béke-barlang gyógyhatás-vizsgálatának első eredményeit JAKUCS L. (1959a) közli. A szerző nem csupán az orvosi eredményekről számol be, hanem a Magyarországon először végzett barlangi aeroszol vizsgálatainak részletes eredményeiről és a kutatás módszeréről is. Az első 100 fős betegstatisztika kedvező eredményei alapján a kísérletek tovább folynak, illetve kiszélesednek.

A barlangot a betegek számára új bejárat megnyitásával könnyebben hozzáférhetővé teszik. A Béke-barlang jósvafői bejáratának megépítésével nagy lehetőség nyílt a klímaterápia alkalmazására. A barlangszanatórium komplex leírását adja KERÉNYI B., BIRÓ Zs. és KIRCHKNOPF M. munkája, amely ismerteti a Béke-barlang feltárásának körülményeit, összefoglalót ad a légzőszervi betegségek előfordulásáról és gyógyításáról, valamint a barlang klímájáról. Az első orvosi vizsgálatok eredményei igen kedvezően alakultak. Az 1965-ig kezelt 133 asthmás beteganyag 87%-a, a 197 idült hörghurutban szenvedő beteganyag 89%-a a kezelés befejeztével javulást mutatott, mégpedig az esetek 60%-ában, ill. 53%-ában a javulás jelentős volt.

A barlangi miliónek az idült légúti betegségekre kifejtett hatását elméletileg értékeli ÁGOSTON B.–BIRÓ Zs.–HAJÓS K.–KIRCHKNOPF M.–VADÁSZ Gy. (1968) tanulmánya, amely szerint a hideg barlangok (saját rendszeremben az ún. hűvös klímájú barlangok) a légzőszervi, a meleg barlangok pedig a mozgásszervi megbetegedések kezelésében jelentenek értékes segítséget.

A szerzők véleménye a barlangterápiával kapcsolatban: „...Nem az allergiás betegségek vagy az asthma bronchiale speciális kezeléséről van szó. Az eddigi megfigyelésekből csupán azt szűrhetjük le, hogy a barlangok egyetemes hűvös levegője, hőmérséklete és párával telített légköre bizonyos akut és chronikus bántalmakban jótékony hatást fejt ki. A hatás magyarázata fizikális és fizikokémiai elváltozásokon alapul. A földrajzi és meteorológiai viszonyok hatásai egyénileg különbözők.”

E megállapítások szerint a gyógytényezők közül a legfontosabbak:

- a) a magas nedvességtartalmú (95%) barlangi levegő,
- b) a 10 °C körüli, alig változó hőmérséklet.

A barlangban való tartózkodás megnyugtatja a vegetatív idegrendszert és a lobos, izgalmi stádiumban levő nyálkahártyát, a váladékot felhígítja és elősegíti kiürítését.

Az állandóan egyenletesen hűvös, magas páratartalmú környezet edző hatású és védelmet nyújt a későbbi hurutos, fertőző bántalmak keletkezése ellen; ezért hatásos lehet gyermekkori bronchitis esetében is.

A magas CO₂ széndioxid koncentráció a pormentes levegő, toxikus izgató anyagtól mentes levegőben a légzőközpontot ingerelve mélyebb belélegzést és kilélegzést vált ki.

Az 1960-as évek elejéig végzett megfigyelések konzekvenciája az, hogy nincs szó az asthma bronchiale gyógyulásáról, de bizonyított a kísérő, vagy az esetleges következményes hurutos tünetek átmeneti, rövidebb-hosszabb ideig tartó javulása. A barlangban való tartózkodás tehát nem tekinthető egyedüli asthma terápiának.

A fenti megállapításokat tovább fejlesztik a későbbi kísérletek eredményei. A hűvös és nedves barlangi levegő hatását nem vitatva az a véleményünk, hogy a komplex hatásmechanizmus bonyolult összefüggés-rendszerét igazolja az a körülmény, hogy a sóbánya-szanatóriumokban hasonló betegségeket kezeltek igen kedvező eredménnyel (PÁLFI M. 1972, PÁLFI M.–GRISCSENKO, M.–SZABÓ L. 1974). A sóbányák hatékonysága az egyéb barlangterápiás eredményeket jóval meghaladja, 20–24 °C-os léghőmérséklet és 81–91%-os relatív nedvesség (Wieliczka), illetve 16–19 °C-os léghőmérséklet és 31–47%-os relatív nedvesség (Szolotvino) mellett. Ugyanakkor a szolotvinói sóbánya-szanatóriumban az idült légúti betegek kezelése a következő eredményt hozta:

a felnőttek közül a betegek 84%,

a gyermekek közül 96% állapota javult.

Tapasztalatok szerint jelentős az ún. tartós javulás (ahol a tünetmentesség 1 évnél tovább tart), az összes eseteknek mintegy 74%-a. Kevésbé javultak azok az esetek, ahol a betegség hosszan tartó (több mint 10 év) volt.

E tapasztalatok alapján a komplex hatásmechanizmus elemeként a földalatti gyógyhelyek (barlangok, sóbányák stb.) kedvező klímahatását arra vezethetjük vissza, hogy a barlangi klíma segít helyreállítani a felborult biológiai ritmust. A neuroendokrin szabályozás, a vegetatív idegrendszer tónusának kiegyensúlyozásában rejlik tartós áthangoló hatása. Az ártalmas, gyors légköri (elektromos, barometrikus stb.) változások, a levegőt szennyező irritatív, allergiás, bakteriális-virális, valamint pszichés stresszogen tényezők hiányából adódóan kiküszöbölődnek, illetve csökkennek a szervezetet terhelő, arra káros tényezők okozta légzőszervi panaszok. A tömeginhalációs, óriási kamraként felfogható barlangok folyamatosan reprodukálódó és öntisztuló elektroaeroszolja oldott ionjai és egyéb fizikokémiai tulajdonságai folytán görcsoldó, nyákkoldó, fertőtlenítő hatást fejt ki.

Mindez több irányból javíthatja tehát az alapvetően vegetatív idegrendszer labilitásán alapuló, pszichoszomatikus, polietiológiájú kórképeket. Ezért hasznosan illeszthető be a komplexgy (ógyszeres, fizioterápiás, pszichoterápiás) kezelésbe (HORVÁTH T. 1980).

A szepeleoterápia fejlődésének fontos feltétele a tapasztalati megfigyelések minél több bázison történő kiszélesítése, ebben fontos szerepet vállalt KESSLER H. is.

A Béke-barlangban az orvosi vizsgálatokat KRASZKÓ P.–SZOBOSZLAY F.–JÓNÁS J. folytatták tovább, akik arra az eredményre jutottak, hogy a barlangterápia „hasznos chronicus obstruktív bronchitis és chronicus asthma bronchiale esetén, ha az adott időszakban nem áll fenn status asthmaticus, purulens superinfectio, cardialis decompensatio vagy más organikus tüdőbetegség” (1972).

Az Abaligeti-barlangban a klímát és annak gyógyhatását URBÁN A. (1964), SZABÓ L.–KOVÁCS I.–NOSSMÜLLER S. (1963), PÁTER J.–PINTÉR E.–SOMOGYI I.–TÓTH E.–TIMÁR K.-né (1974) és FODOR I. (1969, 1970a, 1972, 1973) tanulmányozták. A klímára vonatkozó eredményeket az egyes kérdések részletes elemzésénél tárgyaljuk. A barlangterápia eredményeit KÖVESI Gy.–HÁBER J.–BORSICZKY M.–ÁTS L. (1978) foglalta össze.

A Tapolcai-tavasbarlang bioklimatológiai viszonyaira KESSLER H.–MÓRIK J.–MORLIN Z.–VÁRKONYI T. (1973) munkája tartalmaz tudományos megfigyelési anyagot. Vizsgálták a levegő tisztaságának állapotát, a léghőmérséklet, a nedvesség, a légáramlás viszonyait és a párakondenzátum aeroszol összetételét.

Az eddigi kutatások eredményeként megállapítható, hogy a barlangok gyógyászati, egészségügyi célú hasznosítása Magyarországon szinte kimeríthetetlen lehetőségeket tartogat. Fontosságát aláhúzza, hogy az ipar fejlődésével növekednek a szennyezett levegőjű munkahelyek és a lakosságnak több mint 50%-a városban, illetve ipari településen él, ahol a szennyezettebb levegő következtében fokozottan kell számolni a légúti megbetegedések elterjedésével (KERÉNYI B.–BIRÓ Zs.–KIRCHKNOPF M. és SZABÓ L.–SZENTIVÁNYI M. (1967).

Az orvosi kutatások számszerűen bizonyítják, hogy a szpeleoterápia chronicus bronchitis és asthma bronchiale esetében jelentős mértékű javulást, illetve gyógyulást idéz elő.

A barlang gyógyhatása eddigi ismereteink szerint többek között levegője tisztaságában, sajátos nedvességi viszonyaiban és egészségileg kedvező aeroszolösszetételében rejlik. A kedvező eredményeket azonban mindenképpen olyan komplexhatás folyamat eredményeként kell értelmeznünk, amelynek összetevői a barlangklíma klasszikusan vizsgált elemein kívül még számos tényezőt tartalmaznak.

A földfelszín alatti szanatóriumok létesítésénél nagy jelentősége van annak is, hogy pl. a fronthatások érvényesülését a barlangokban minden vonatkozásban tisztazzuk.

3. A mesterséges és természetes földfelszín alatti rendszerek klímakutatásának új szemléletű megközelítését adja BÉLL B. (1945), aki bányákban vizsgálta a levegő áramlását, és a kérdéskört – elsőként – energetikai oldalról is megközelítette. A tanulmány a bányák légáramlási viszonyain keresztül megvilágítja azokat az elméleti megállapításokat, amelyeket a barlangokra is alkalmazhatunk, de rámutat azokra a különbségekre is, amelyek a bányák mesterséges jellegéből adódnak, és amelyeket a bányákba mesterségesen bevitt energiák idéznek elő.

A barlangok légáramlás viszonyainak tisztázását jelentős mértékben elősegítette JAKUCS L. (1953), JAKUCS L.–MARKÓ L. (1956). A barlangi légáramlás keletkezésének fizikai körülményeit magyarázzák és az áramlást létrehozó légnyomáskülönbséget elsődlegesen a léghőmérséklet különbségére vezetik vissza. BALÁZS D. (1969), a korábban megállapított összefüggések és saját kutatásai alapján, a légáramlást kiváltó okot a felszíni és barlangi levegő sűrűségkülönbségét elsősorban előidéző hőmérsékletkülönbségben találja.

V. Sz. LUKIN (1965) a barlangok energiaforgalmára vonatkozóan végzett méréseket a Kunguri-jegesbarlangban (Elő-Ural) abból a célból, hogy megkapja a karszthegységek üregeiben történő meleg- és hidegfelhalmozódás mennyiségi mutatóit. A hővesztéség a téli időszakban $8,96 \cdot 10^9$ J/nap nagyságú. A nyári időszakban pedig a hőbevétele $6,28 \cdot 10^9$ J/nap. A szerző szerint a téli hideg levegőnek és a nyári meleg levegőnek a hegyi kőzetekben való ilyen nagymértékű természetes felhalmozódása felhasználható mélyhűtők építésére és levegő kondicionálására is.

BERÉNYI D.–JUSTYÁK J. (1960) részletesen vizsgálták a Baradla-barlang bejárati szakaszának klímáját és elsőnek mutatták ki, hogy a barlangra a vízszintes hőmérsékletkülönbségek mellett, a függőleges hőmérsékleti gradiens is jellemző.

A szerzők érdekes összehasonlítást tesznek a pince és a barlang klímájára. „Általában a hőmérsékleti különbségek kisebbek a pincejáratokban mért értékeknél.”

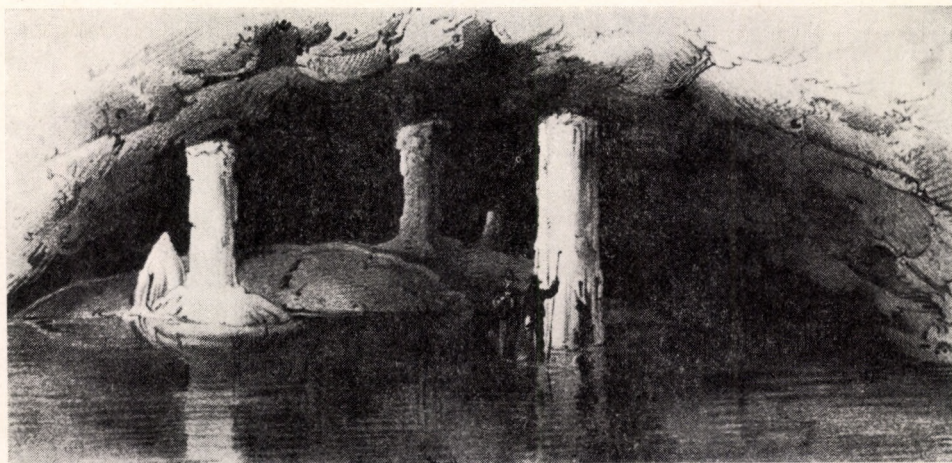
Az aggteleki barlangok meteorológiai viszonyainak részletesebb megismerését értékes megfigyelésekkel segítette CSOMOR M.–ZALAVÁRI L. (1964). A Baradla- és Béke-barlangban végzett megfigyeléseknél elsősorban öniró műszereket alkalmaztak.

Bár a szerzők is megállapítják, hogy „a használt öniró műszerek nem teljesen alkalmasak barlangklimatológiai vizsgálatok végzésére, mert a tényleges változásokhoz képest igen nagy a mérési tartományuk”, ill. kicsi az érzékenységük. Megfelelő öniró műszerek alkalmazása a barlangok bejárati vagy kiegyenlítődési szakaszaiban mégis célszerűnek tűnik. A tapasztalatok azt is bizonyítják, hogy az öniró műszereket nem kell teljesen elvetni, mint azt S. POLLI teszi (1956), hisz érzékenyebb műszerekkel terminus időszakonként együtt használva esetleg olyan törvényszerűségek megfigyelése válik lehetségessé, amelyeket ezek mellőzéseivel sokkal hosszabb idő alatt lehetne felismerni.

A barlangok gyakorlati célú hasznosítására — éppen sajátos klímájuk révén — az elmondottakon kívül R. GEIGER több példát hoz. A Kaltenhausen hercegségi serfőzdek sörpincéi 6 méteres táróval természetes szélaknákhöz vezettek, amelyek biztosították a söröspincékben a levegő cirkulációját és megfelelő hőmérsékletét. A barlangklíma adta az egész helységnek a nevét (Kaltenhausen). Ugyancsak GEIGER-től tudjuk Lautensach megfigyelései alapján, hogy Koreában a lakosság a tavaszi felmelegedés alkalmával a selyemhernyó tojásokat barlangszerű, hideg, levegős aknában tárolja, hogy a hernyók ne keljenek ki addig, míg az eperfák lombosodása a szükséges táplálékot nem biztosítja.

Alagút-építésnél két oldalon nyitott „barlangokat” létesítenek, amelynek cirkulációs és hőmérsékleti viszonyai a vasúti közlekedés szempontjából fontosak (GEIGER, R. 1961).

A Föld barlangjai jellegzetes klímájukkal a felsoroltakon kívül még számos gyakorlati hasznosítási lehetőséget nyújtanak az ember számára (PETROVIĆ, S. 1952, LAWRENCE, E. N. 1955, FODOR I. 1969 stb.).



1. kép. Részlet a Dobsinai-jegesbarlangból Krenner J. S. rajza után (1874) (A szerző felvétele)



2. kép. Asztmás betegek légzőkúrája az aggteleki Béke barlangban (Fotó: Jakucs L.)



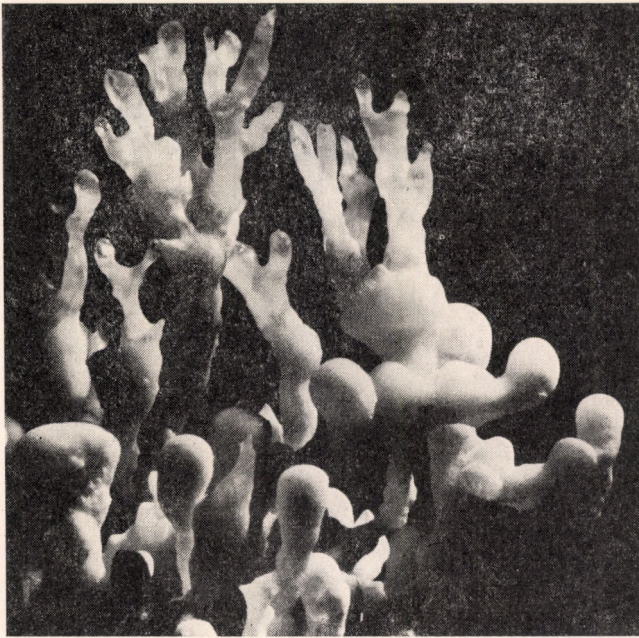
3. kép. Asztmás betegek légzőkúrája az Abaligeti-barlangban (Fotó: Borzsák P.–Prágai A.)



4. kép. A barlangterápiához hasonló hatásmechanizmussal gyógyítanak légzőszervi betegeket sóbányákban is. Részlet a Szolotvinói (Aknaszlatinai)-sóbánya földalatti szanatóriumából (A szerző felvétele)



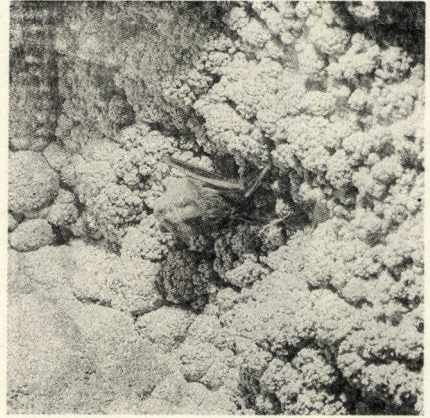
5. kép. Aragonit-kristályok a Tokod altárói-barlangból (Fotó: Borzsák P.–Prágai A.)



6. kép. Aragonit-kristályok a Rókahegyi-barlangból (Fotó: Borzsák P.–Prágai A.)



7. kép. Részlet a Szemlőhegyi-barlangból
(Fotó: Borzsák P.-Prágai A.)



8. kép. Részlet az Anna-barlangból
(Fotó: Borzsák P.-Prágai A.)



9. kép. Részlet a Baradla-barlangból
(Fotó: Borzsák P.-Prágai A.)

II. A BARLANGOK BIOKLIMATOLÓGIAI RENDSZERE

1. A BARLANGI SZUBSZTRÁTUM ÉS AZ EMBER

A barlangok korábbi klimatikus csoportosításai (PENCK, A. 1889, OEDL, R. 1923, GRESSEL, W. 1955, 1958) egy vagy több éghajlati elem, mint pl. a hőmérséklet vagy légáramlás érvényesülését vették figyelembe a barlang légterében.

A barlangok azonban olyan természetes földalatti üregrendszerek, amelyeknek sajátos topoklimáját egy-egy meteorológiai paraméterrel nem jellemezhetjük. A bennük lejátszódó légköri folyamatoknak meghatározott tendenciával meghatározott karaktert szab a kőzet, a víz, a morfostruktúra stb. Ezek együtteseként értelmezhető az az élőlények szempontjából erősen körülhatárolt élettér, amelyet a mai kor embere egyre sokoldalúbban hasznosít. Mindezeket figyelembe véve a barlangok klimatikus viszonyait olyan rendszerben kíséreltem meg elemezni, amely a barlangban tartózkodó ember közérzetét objektív alapon veszi figyelembe. E humáncentrikus osztályozás abból a tényből indul ki, hogy a különböző barlangok milyen közérzetet biztosítanak a benne tartózkodó ember számára.

Az eltérő barlangtípusok klímájának sajátossága az, hogy az időjárás elemeknek a felszínen általánosan érvényesülő gyors és nagyméretű változásai a barlangokban egyáltalán nem, vagy csak oly csekély mértékben éreztetik hatásukat, hogy az ott fellépő változások vonatkozásában a barlangot mind az egészséges, mind a beteg ember számára meteorológiailag ingermentes térségeknek tekinthetjük. Miután a barlangokból az erős biológiai és kémiai ingerkeltő elemek is hiányoznak, azokat az emberi szervezet szempontjából, *ún. kímélő klímájú helyekként* kezelhetjük. Kivételt képeznek ez alól a jegesbarlangok.

A fenti megállapításon kívül figyelembe kell venni, hogy a barlangban tartózkodó ember közérzetét erőteljesen befolyásolja az úgynevezett biológiai hőmérséklet, amely a különböző hatások komplex eredője, és amelynek többféle mérőszáma ismert (BÉLL B. 1956, BRADTKE, F.–LIESE, W. 1937, LINKE, F. 1957, PÁTER J. 1955, PÁTER J.–RÓNA SZ. 1971, POPOVIĆNÉ GUBOLA M. 1965).

Ezek egyike a Linke-féle úgynevezett érzet hőmérséklet:

$$L_t = t - 4 \cdot \sqrt{v} + 12 J,$$

ahol t = a levegő hőmérséklete ($^{\circ}\text{C}$),

v = a szélsébség (m/s),

J = a sugárzás.

A barlangban a sugárzás és a szélsébség elhanyagolható, ellenben a felszíni viszonyoknál sokkal jellemzőbb a párateltség. Így bioklimatológiai rendszerünk megalkotásához a barlangokra alkalmazhatóbbnak tűnik a BRADTKE-féle közérzeti

index, amely magában foglalja a környezet hőmérsékletét, nedvességi viszonyait és a légáramlást:

$$B_i = \frac{te}{A},$$

ahol B_i = a Bradtke-féle közérzeti index,
 te = a levegő hőmérséklete a barlangban ($^{\circ}\text{C}$),
 A = a száraz kataérték a barlangban.

F. BRADTKE az általa meghatározott index alapján három zónát különböztet meg (1937):

| | <u>B_i értéke</u> |
|--------------|--------------------------------|
| meleg zóna | >5 |
| komfort zóna | $2-5$ |
| hűvös zóna | <2 |

A különböző barlangokra részben irodalmi adatok, részben saját méréseim alapján meghatároztuk a BRADTKE-féle index értékeit.

Az Abaligeti-barlangban a B_i értékek adatai alapján a következő hőérzeti számokat kapunk:

A B_i átlagértéke: 1,8; minimuma: 1,5; maximuma: 2,3. PÁTER J. et al. megállapítása szerint (1974) az Abaligeti-barlangban a Bradtke-féle index értékei kevés szórással a komfort zóna alsó határán voltak.

A B_i átlagértéke a Tapolcai-tavasbarlangban 3,5; a legalacsonyabb érték 2,8; a legmagasabb érték 3,8 volt. Az indexek a komfort zóna határain belül mozogtak.

A Baradla-barlangban az átlagos B_i index 1,5-nek adódott, az egyes értékek 1,0 és 2,1 között változtak. A fentiekből látható, hogy az ún. hűvös karsztbarlangok B_i indexei többnyire a hűvös zónában vannak (az átlagértékek minden esetben), a Tapolcai-tavasbarlang B_i értékei pedig a komfort zónában.

A jegesbarlangokban — ahol a léghőmérséklet átlaga 0°C alatt marad — a B_i negatív értéket vesz fel. Ugyancsak elméleti úton és más jellegű tapasztalati vizsgálatok eredményeként következtethetünk arra (PÁTER J. et al. 1971, JAKUCS L. 1970), hogy a trópusi barlangok nagy része a meleg zónába esik: magas hőmérséklet és páratartalom, valamint a gyenge légáramlás következtében a B_i értékek itt 5,0 fölött vannak.

A fenti megfontolások alapján a Bradtke-féle közérzeti zónákat a hideg zónával ($B_i \leq 0,0$) kibővítve olyan felosztást kaptam, amelyben Földünk valamennyi barlangtípusa elhelyezhető.

2. A BARLANGOK BIOKLIMATOLÓGIAI RENDSZERE

| Barlang-típus | BRADTKE-féle közérzeti index | A típusba tartozó barlangok |
|-----------------------------------|------------------------------|---|
| 1. Melegérzetet keltő barlangok | >5,0 | A trópusi barlangok és azok a termálbarlangok, amelyekben a B_i 5 fölött van |
| 2. Komfortérzetet keltő barlangok | 2,1–5,0 | Meleg-mérsékelt éghajlatok területén található barlangok és azok a termálbarlangok, amelyekben a B_i tartósan 5 alatt marad, de nem süllyed 2,1 alá |
| 3. Hűvösérzetet keltő barlangok | 0,1–2,0 | Hűvös-mérsékelt éghajlatok területén található barlangok 0,1–2,0 közötti B -indexszel |
| 4. Hidegérzetet keltő barlangok | <0 | Jég- és jegesbarlangok nulla vagy negatív B -indexszel |

A következőkben bemutatandó típus-példákat a Közép-Európában megtalálható barlangrendszerek közül választottam (1. ábra).



1. ábra. A tipizálás alapjául szolgáló klimatikus barlanttípusok

2.1. A MELEGÉRZETET KELTŐ BARLANGTÍPUS

E típus kategóriáját elméleti úton határoztam meg. A fülledt trópusi és termál-barlangok tartoznak ide, amelyekben a magas hőmérséklet (az évi középhőmérséklet 20°C fölött van) magas nedvességtartalommal párosul, és az egészséges ember számára is nehezen elviselhető, terhelő trópusi klímát jelent.

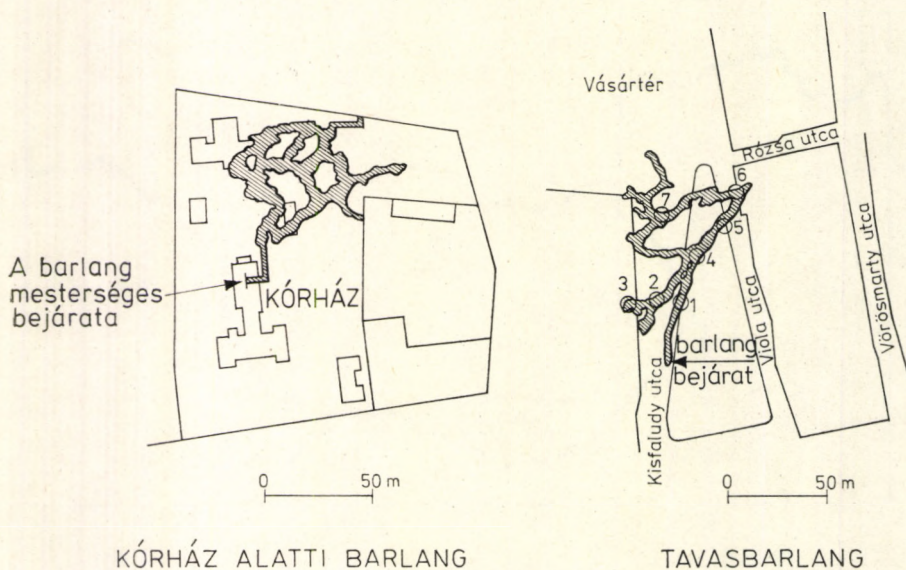
2.2. A KOMFORTÉRZETET KELTŐ BARLANGTÍPUS

Ebbe a csoportba soroljuk azokat a barlangokat, amelyeknek a Bradtke-féle index átlaga 2,1–5,0 között változik. Ez a típus a barlangban tartózkodó ember számára kellemes. Klímája nem terhelő, ugyanakkor tartósabb igénybevétel esetén sem jelentkeznek a meghűléses (reumatikus) megbetegedések.

A komfortérzetet keltő barlangtípus a mérsékelt éghajlati zónában még ritka (csak a termálbarlangok között található), a mediterrán és szubtrópusi övben gyakoribb. A Magyarországon található barlangok közül a komfortérzetet keltő típusba tartoznak a termálvizes tavasbarlangok (Miskolc-Tapolca és Balaton-Tapolca). Modellként a tapolcai barlangrendszert választjuk.

2.2.1. A TAPOLCAI BARLANGOK

A Tavasz-barlang vagy Tó-barlang és a kórház alatti barlang genetikailag összefüggő rendszernek (Tapolcai-barlangrendszer) tekinthető (2. ábra) a Tapolcai-medencében. Jellegzetességét az adja, hogy a medencében jól érvényesül a hidroszféra (Balaton), az atmoszféra, a bioszféra és a változatos kőzetmorfológia sokrétű kölcsönhatása (LÁNG S. 1971).



2. ábra. A tapolcai barlangok térképvázlata

A Tapolcai-barlangrendszer körül a természeti tájon belül egy kisebb városi település található. Tapolca város alatt húzódik végig és forrása a Malom-tónál 119,9 m t.sz. f.-i magasságban tör a felszínre.

A barlang földrajzi koordinátái (a Tavas-barlanghoz levezető mesterséges bejárat): t.sz.f.-i magasság: 130 m, 46°53' N, 17°27' E.

A két barlangrész eddig feltérképezett térsége közel egyenlő.

a) A Tavas-barlang felmért hossza: 340 m.

b) A kórház alatti barlangrész felmért hossza: 360 m.

Az egész barlangrendszer szarmata mészkőben alakult ki (LÓCZY L. 1913). Genetikáját illetően a karsztbarlang-típusba soroljuk. A barlang belső formakincsében – különösen a barlang mennyezetén – uralkodnak az érdekes félgömb alakú képződmények, amelyek a víz oldó munkájáról tanúskodnak.

A két barlangrész közül a Tavas-barlangban kevésbé, a kórház alatti barlangrészben határozottabban érvényesülnek a felszíni éghajlati elemek, így a barlangrészek klimatikus viszonyait külön-külön tárgyaljuk. Annál is inkább célszerűnek ígérkezik e szétválasztás, miután a jövőben a Tavas-barlangban egyre inkább az idegenforgalom, a kórház alatti barlangban pedig a gyógyítás kerül előtérbe.

A Tapolcai-barlangrendszer klímáját illetően sajátos típust képvisel a Magyarországon található barlangok között. Különösen a Tavas-barlang tűnik ki szokatlannul meleg, páradús klímájával, amelynek kialakításában döntő szerepe van a Föld belső energiáinak is.

LÓCZY adatai szerint a Tavas-barlang vízének hőmérséklete 19–22 °C, a Malom-tó forrásánál pedig 16–18 °C. A két vízhőmérsékleti érték egybevetését azért tartjuk fontosnak, mert kitűnik belőle, hogy a vízhőmérséklet a patak utolsó 200 méterén mintegy 2–3 °C-t hűl, tehát valószínű, hogy itt keveredik a mélyből feláramló melegvíz és hideg karsztvíz. Ez a folyamat a hévforrásos típusú barlangok üregeedésének egyik fontos feltétele.

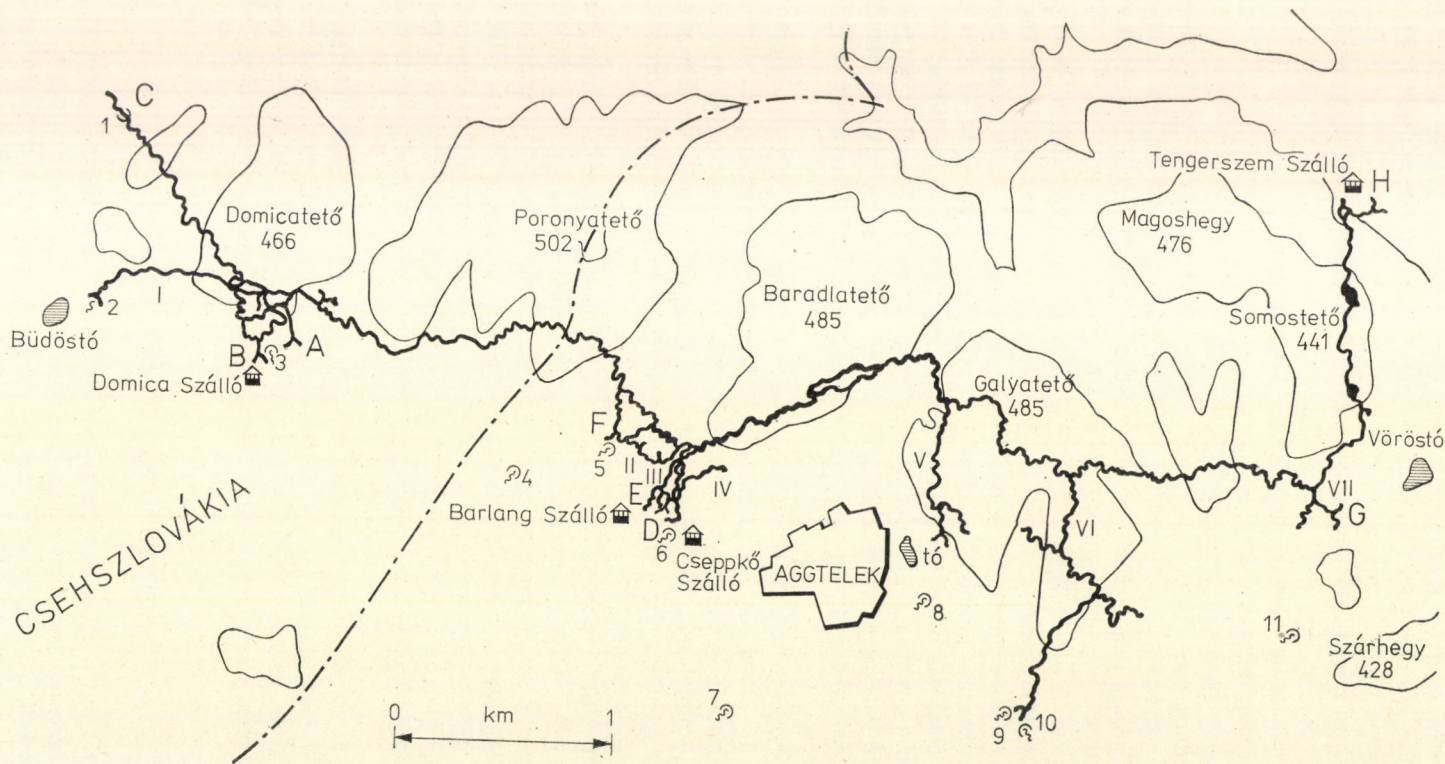
A kórház alatti barlangrész geológiai szerkezeti viszonyai azonosak a Tavas-barlangéval. Azonosak a felszín természeti viszonyai, teljesen megegyező a külszín éghajlata is. Közös a két barlangrész morfogenetikája. Bár cirkulációs rendszerük önálló, a két barlang ma is kapcsolatban van egymással. Az összekötő járat szűk és eltömődött volta miatt a kapcsolat igen kis mértékű, így a két rész egymás klímájára minimális hatással van. Ez is magyarázza, hogy a Tapolcai-barlangrendszer kórház alatti részének hőmérsékleti viszonyai lényegesen eltérnek a Tavas-barlangban tapasztaltaktól.

Az eltérésnek az az oka, hogy az ún. Tavas-barlang jelentős részét földfelszín alatti langyos vízfolyás tölti ki, amely egyben meghatározza a barlang légterének termikus viszonyait is. Ezzel szemben a kórház alatti barlangrész száraz, így a melegvíznek, mint közvetlen energiaforrásnak a hiányából adódóan ez utóbbi térség jóval hűvösebb.

2.3. A HŰVÖSÉRZETET KELTŐ BARLANGTÍPUS

A hűvösérzetet keltő barlangok közé azokat sorolom, amelyeknek a klíma által meghatározott közérzetet kifejező Bradtke-féle indexe 0,1–2,0 között változik.

A hűvösérzetet keltő típus jellemző a hűvös–mérsékelt éghajlatok területén található barlangok döntő többségére. Ide tartozik hazai barlangjaink legnagyobb része.



3. ábra. A Baradla-Domica-barlangrendszer térképvázlata

Barlangbejáratok: A = Domica természetes bejárata; B = Domica mesterséges bejárata; C = ördöglyuki bejárata; D = Aggteleki főbejárata; E = Denevér-ági bejárata; F = Felszabadulási-ág bejárata (két mesterségesen bontott bejárata, jól záró ajtókkal); G = vöröstói bejárata; H = jósfafői mesterséges bejárat. **Víznyelők:** 1 = ördöglyuk víznyelője; 2 = Büdöstői víznyelő; 3 = Domicai víznyelője; 4 = Csennai-tó víznyelője; 5 = „Kis Baradla” víznyelője; 6 = Acheron víznyelője; 7 = „Bábaluk”; 8 = „Zomborluk”; 9 = Kis Ravaszlyuk víznyelője; 10 = Nagy Ravaszlyuk víznyelője; 11 = Névtelen víznyelő. **Oldalágak:** I = Büdöstői-ág; II = Paradicsom-ág; III = Denevér ág; IV = Rókalyuk; V = Törökmeccset-ág; VI = Retek-ág; VII = Vöröstói-ág; -.-.- országhatár

Közülük a jelentősebbek: a Baradla, a Béke-barlang, a Vass Imre-barlang, a Kossuth-barlang, a Meteor-barlang, az István-barlang, a Pálvölgyi-barlang, a Mátyás-hegyi-barlang, az Abaligeti-barlang stb. Modellként a Baradla–Domica-rendszert és az Abaligeti-barlangot választottuk.

2.3.1. A BARADLA–DOMICA-BARLANGRENDSZER

Közép-Európa nagyterjedésű karsztos térségét alkotja a szerkezetileg összefüggő, barlangokban gazdag Aggteleki- és Dél-Szlovák-karszt. A terület geomorfológiai problémáival JASKÓ S. (1933), LÁNG S. (1955), JAKUCS L. (1968), DÉNES Gy. (1970b, 1971, 1973), összefoglaló munkájában PÉCSI M. (1969) foglalkozott. A Baradla–Domica-barlangrendszer az Aggteleki-karszton alakult ki, amely az említett nagy karsztos terület déli részén található. Ezt a térséget zömében a triász ladini és karni emeletének karsztosodó wettersteini mészköve építi fel vastagpados és lemezes guttensteini mészkővel együtt.

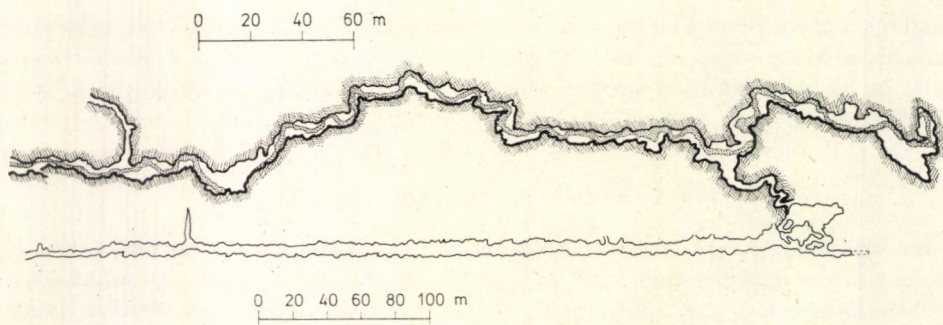
A Baradla–Domica rendszer 22,0 km-es hosszával a világ legnagyobb barlangjai közé sorolható. Földrajzi koordinátái: $48^{\circ} 28' - 29' N$ és $20^{\circ} 29' - 33' E$ (3. ábra). Legmagasabban fekvő nyílása, a főág kezdőpontja Csehszlovákiában – az Ördöglyuk (t.sz. f.-i magassága 375 m). Legalacsonyabb bejárható pontja a 261 m magasságban létesült jósvafői mesterséges bejárat, bár ma már a 224 m magasságban eredő Jósva-forrás mentén nyíló alsóbarlang egy rövid szakasza is ismert. Átmenő barlang, amelynek Magyarországon és Csehszlovákiában összesen 9 jól kiépített bejárati nyílása van, amelyek az utóbbi évektől fogva többé-kevésbé jól záró vasvagy faajtóval védettek.

Az óriási barlangrendszer a bejárati nyílásokon kívül 11 jól vagy kevésbé jól szelhető víznyelőn keresztül is kapcsolatban áll a külvilággal. Két legjelentősebb, állandó vizű patakja közül a Styx a nagyobb, a csehszlovák Domica-ágon át érkezve felveszi az Acheron vizét, majd a barlang belső víznyelőin keresztül fokozatosan eltűnik és az alsóbarlangban folytatja útját.

2.3.2. AZ ABALIGETI-BARLANG

A mecseki karszton, Abaliget község határában található. Bejárata $18^{\circ} 7'$ Ki-hosszúságon és $46^{\circ} 8'$ É-i szélességen fekszik, 207 m magasságban. A barlang a középsőtriász anizuszi mészkövében alakult ki. A mecseki karszt legnagyobb természetes földalatti üregrendszere, amelynek legjelentősebb geomorfológiai, sztratigráfiai és feltárás történeti leírását BOKOR E. (1925), SZABÓ P. Z. (1961) és VASS B. (1960) adják. Szerkezetében hasonló vonása van a Baradlával (4. ábra), eltérő jegyei között, környezetén kívül leginkább méretei említhetők. A főág 466,8 m és oldalágaival együtt is csupán 1300 m hosszú. Átlagosan 2,5 m magas és 2–3 m széles. A főfolyosó többnyire tágas, helyenként azonban alig 1 m széles és 1,5 m magas. A barlangnak 3 oldalága van, amelyekben légmozgás tapasztalható, de az első és második mellékág alig 35–40 méternyi szakaszon nehezen járható. A harmadik oldalág nemcsak méreteiben különbözik az előző kettőtől, de a légáramlás szempontjából is jelentős a különbség.

Az aggteleki-barlangrendszer, az abaligetinél lényegesen magasabba (502 m) kiemelt karsztplató alatt terül el. A platók térbeli különbségei többek között jelentős



4. ábra. Az Abaligeti-barlang hosszmeteszetének vázlatá

tényezőként jönnek számításba a két karsztos térség formakincsének eltérő fejlődésében (víznyelők, zombolyok, dolinák, karrmezők stb.). Általános barlangfejlődési szempontból lényeges különbség, hogy az aggteleki karszt fedő talajban szegényebb. A felszínen sok a köves, sziklás, kopár rész, amelyet csak itt-ott takar vékony rendzina takaró. STEFANOVITS P. (1963) vizsgálatai szerint a cserjecsoportok és molyhos tölgy sávok előfordulása mentén a mészkő hasadékaiban vagy mélyedéseiben vörösgyag maradványok találhatóak, amelyen barnaföldek képződtek. A Vörös-tó környékén ez a vörösgyag vastagabb rétegben halmozódott fel, mely pl. a Baradla-barlang Arany utcai oldalágának teljes eltömődését okozta.

Az Abaligeti-karszton vastag talajtakarót találunk, amely a rendzinák fekete, barna és vörösgyagos változatai (ezek mellett lösz is található).

2.4. A HIDEGÉRZETET KELTŐ BARLANGOK

A hidegérzetet keltő típus kategóriájába az olyan jegesbarlangok tartoznak, amelyekben a jég az év jelentős részében vagy egész éven át megmarad. A léghőmérséklet évi átlaga 0°C alatt van, és a Bradtke-féle index átlagos értéke is 0 alatt marad.

A hidegérzetet keltő barlangok a mérsékelt éghajlati öv középhegységeiben ritkábban, magas hegységekben a tengerszint feletti magasság növekedésével arányosan sűrűbben fordulnak elő, és a földrajzi szélesség növekedésével ugyancsak gyakoribbak. Az előfordulási területként megjelölt klímazónákban meglehetősen gyakori képződmények nagysága igen változó, a kis jeges üregektől egészen az óriási barlangokig, mint pl. a Telkibányai-jegesbarlang vagy az Eisriesenwelt (Ausztria, Dachstein-hegység).

E ritka természeti jelenségek sajátos mikroklímájukkal más barlangok közül is kitűnnek. Mikroklímájuk kialakításában – közös jellemvonásként – döntő szerepet játszik a különböző módon és eltérő mennyiségben felhalmozódó jég. A szakirodalomban JAKUCS L. (1963) a jegesbarlangokat – amelyekben csupán a kitöltés anyaga jég – megkülönbözteti az ún. jégbarlangoktól, amelyek teljes egészükben jégben képződtek.

A jégbarlangok és a több-bejárátú, ún. dinamikus jegesbarlangok klímájának karakterét a felszíni éghajlati viszonyok az év minden részében megszabják. Ezzel szemben az egy-bejárátú – cirkulációs rendszerük alapján nyáron sztatikus – jegesbarlangok mikroklímája jelentősen eltérhet az adott terület felszíni éghajlati viszo-

nyaitól. Vizsgálatainkhoz modellként a Telkibányai- és Dobsinai-jegesbarlangokat választottuk.

Miután a Telkibányai-jegesbarlang megítélésével kapcsolatban vita folyik, meg kell jegyeznünk, hogy a Telkibányai jeges üreg genetikája ismeretlen. Természetes vagy mesterséges volta tisztázatlan. Klímájának vizsgálata szempontjából a következőkben periódusos jegesbarlangnak tekintem.

A Telkibányai-jegesbarlang nemcsak magyarországi, de európai viszonylatban is természeti ritkaság, miután hozzá hasonlóan ilyen csekély tengerszint feletti magasságon (296 m) és vele azonos földrajzi szélességen hasonló természetes eredetű jégfelhalmozódást – bár a jég az utóbbi években végzett mesterséges beavatkozás óta nem marad meg egész éven át –, nem ismer a szakirodalom.

A Dobsinai-jegesbarlangot pedig azért vizsgáltam, mert jól mutatja a jegesbarlangtípusok mikroklimájának törvényszerűségeit, így a Telkibányai-barlang mellett számos új összefüggés feltárására nyújt módot, és lehetővé teszi megállapításaim általánosítását a hasonló morfogenetikájú jegesbarlangokra.

2.4.1. A TELKIBÁNYAI-JEGESBARLANG

Magyarország egyetlen jegesbarlangja a Zempléni-hegység északi részén a Nagykirályhegy (395 m) északi lejtőjének aljában található 296 m t.sz. f.-i magasságban. A barlang bejárata alatt 6 m-rel tör felszínre Magyarország leghidegebbnek mondott forrása, az úgynevezett Királykút. Az északi hegylábánál, ahol a barlang fekszik, GYÖRFFY I. (1957), KOL E. (1957) és CSAPODY V. gyűjtései és megállapításai szerint a ritkán előforduló alacsonyabb hőmérsékletet kedvelő mohák mellett a *Betula pubescens*, *Sorbus aucuparia*, *Prunus padus*, *Ribes alpinum*, a barlang bejáratánál közvetlenül pedig *Cardaninopsis arenosa* települt meg. Saját klimatológiai vizsgálataim ugyancsak a hegyoldal helyenként feltűnően hideg voltát állapítják meg. A Királykút-forrás és a barlang nyílásától a Telkibánya felé húzódó északi lejtő átlagosan 5–10 °C-szal hidegebb a völgytalpnál, és mintegy 10–15 °C-szal a délies kitétségű lejtőnél. FERENCZI I. (1939) hasonló jelenséget figyelt meg a Bózsva völgyében Mikóháza község területén. A község déli oldalán északi nyílással horzsa-köves riolittufában kisebb jeges üregeket talált, amelyeket nem árnyékolnak fák vagy más növényzet.

A telkibányai kis jegesüreg riodacitban alakult ki, eredete ismeretlen, az utóbbi időben mesterségesen tágított. 1954 előtt mintegy 10–12 m hosszúságú, 1,0–1,2 m széles és kb. 1,7 m magas barlangocska volt. Telkibánya környékén a középkorban jelentős arany- és más színesfém-bányászat folyt, a legújabb geológiai vizsgálatok azonban kimutatták, hogy a jegesbarlang környékén érclelereknek nyoma sincs, és e térségben bányatárókat sem építettek. A barlang genetikájának kérdése tehát továbbra is nyitott. Mai méretei: 23,35 m-es rövid főág, amely zárt; a bejáratról 6–7 m között jobb oldalra elágazó mellékág hossza 5,6 m. A főág magassága 2,0–2,1 m, átlagosan 2,2 m széles, ajtóval lezárt. A barlang talaja a legutóbbi mesterséges beavatkozás óta a legbelsőbb pontjától az ajtó felé néhány fokos lejtéssel esik, amely a hideg felhalmozódásának nem kedvez. Ennek következményeként a barlang mikroflórája elpusztult és a korábbi adatokat az újakkal egybevetve megállapíthatjuk, hogy a barlang mikroklimája valóban, főleg a nyári időszakban jelentősen megváltozott, melegebb lett.

A Dobsinai-jegesbarlang bejárata Csehszlovákiában a „Szlovák paradicsom” területén a Hernád–Gölnici-mészköhegységben található, a Duca-hegy északi oldalán 971 m t. sz. f.-i magasságban. A barlang földrajzi koordinátái: 48° 52' 2 N, 20° 18' 6 E (alaprajzát bemutatják a 21. és 22. ábrák).

A barlangot RUFFINYI J. és társai fedezték fel 1870-ben. A barlang egy szűk nyílásból meredeken zuhan le déli irányban kb. 100 métert. Legalacsonyabb térségei pedig omladékkal zárulnak le (DÉNES Gy. 1970a, 1971).

A barlang középsőtriász (anizuszi) mészkőben alakult ki (DROPPA, A. 1960, PETROVIĆ, S. 1952). A légcirkuláció alapján sztatodinamikus rendszernek tartjuk, amelynek sztatikus részében mintegy 125 000 m³ jég halmozódott fel. A rendszerhez tartozik – de attól természetes úton elzáródva – egy melegebb cseppkőbarlang. A kettőt 1947-ben mesterségesen egybenyitották, amelynek eredményeként egy dinamikus barlangtípus alakult ki, megélnkülő téli–nyári cirkulációval, amelynek eredménye – egyéb antropogén behatásokkal erősítve – a barlang jégállományának rohamos olvadása (PETROVIĆ 1952). Maga a jeges barlangrész természetes állapotában jól körülhatárolt ún. „hidegszák”. A felhalmozódott hatalmas jégtömeg az év minden időszakában jellemző kitöltőanyag, amely döntően befolyásolja az üreg mikroklímáját, így az lényegesen eltér a felszínre jellemző éghajlattól.

A bejárat évi középhőmérséklete 4,8 °C, amely – különösen az enyhe nyári hónapok során – nem kedvez a jég megmaradásának. A barlang sajátos morfológiájának, jég létrejöttére és fennmaradására kedvező egyéb feltételeknek együttes eredménye a Dobsinai-jegesbarlang kialakulása.

3. A VIZSGÁLT BARLANGOK FELSZÍNÉRE JELLEMZŐ NÉHÁNY ÉGHAJLATI SAJÁTOSÁG

A vizsgált barlangok feletti külső térszín éghajlati áttekintése nem csupán karsztgenetikai szempontból fontos, hanem a barlangok belső klímaviszonyainak részletes kutatása során is jelentős segítséget ad a belső összefüggések megvilágításához.

BERÉNYI Dénesnek (1943b) Magyarországról elkészített Thornthwaite-rendszerű éghajlati térképe és a szerzőnek a vizsgált karsztos területekhez közel eső klímaállomásokra számított érték-indexei alapján valamennyi – Magyarországon található – típus barlangfelszíni környezetét a CC'rb tartományba helyezhetjük. Bár a Thornthwaite-féle éghajlati rendszer a csapadéknak és a hőmérsékletnek a növényzetre gyakorolt hatását veszi alapul, a rendszert karsztgenetikai szempontból is érdemes vizsgálat alá venni. Ezt bizonyítja, hogy az általunk vizsgált karsztbarlangok felszínén a csapadék és hőmérséklet hatékonyságában kiemelkedő eltérés nincs. A különböző klímaelemek tényleges értékei azonban számos kisebb-nagyobb eltérést mutatnak, mind az országos helyzethez viszonyítva, mind egymáshoz hasonlítva. Ez megmutatkozik Magyarország éghajlatának BACSÓ-féle felosztásában is (BACSÓ N. 1959), mely Abaliget környékét a III/b, Tapolca és Aggtelek–Jósvafő vidékét pedig a IV. körzetbe sorolja. A be- és kisugárzásból adódó külszíni hőmérsékletingadozásnak különösen az évi ingás tekintetében van jelentős befolyása az Abaligeti- és a Baradla-barlang klímájára, ott is különösen a bejárat régiókra.

KAKAS J. (1960) éghajlati körzetbeosztása alapján az Abaligeti-barlang hűvös, mérsékelt nedves, enyhe telű tájban, a Baradla–Domica-rendszer és a Telkibányai-jegesbarlang hűvös, mérsékelt nedves, hideg telű tájban, a tapolcai-barlangrendszer mérsékelt meleg, mérsékelt nedves, enyhe telű tájban fekszik.

A havi középhőmérsékletek alapján megállapított évi ingás Abaliget környékén $20,0^{\circ}\text{C}$, a Tapolcai-medencében $22,0^{\circ}\text{C}$, Aggtelek és Telkibánya vidékén $24,0^{\circ}\text{C}$ körüli érték. A terület barlangjainak belsejében maximálisan $2-3^{\circ}\text{C}$ -os az évi ingás, ugyanakkor a bejáratok környékén gyakran találkozunk $10-12^{\circ}\text{C}$ -os ingással, amelynek szélsőségesen változó alsó határai a téli időszakra esnek.

A mészkőplatók mikroklímájának vizsgálata szempontjából figyelmet érdemelnek O. JAAGnak az Alpok különböző típusú kőzeteiben végzett felszínhőmérsékleti megfigyelései (1945), amelyek azt igazolják, hogy a mészkő felszínén kisebbek a szélsőséges ingások, mint a magmatikus kőzetek vagy a homokkő esetében. Az egyes karsztformák azonban így is különösen alkalmasak a sajátos mikroklímák kialakítására. W. KÖPPENTŐL tudjuk SCHMIDT M. megfigyelései alapján, hogy egy mély dolina Ny–DNy-i lejtőjén 31°C -os eltérés, ugyanazon dolina magasabb É–ÉK-i lejtőjén pedig 27°C -os hőmérsékletkülönbség alakult ki a legmagasabb és legalacsonyabb pontok között 1930. január 21-én reggel, amikor az É–ÉK-i lejtőn gyenge szél, a dolina alján és Ny–DNy-i lejtőjén pedig szélcsend uralkodott (1931).

BACSÓ N. és ZÓLYOMI B. (1934) az Aggteleki-karszttól mintegy 30 km-rel délebbre elterülő Bükk-fennsíkron végzett hasonló megfigyeléseket. A szerzők 1934. augusztus 17-én éjjel töbörfenéken $-3,0^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletet mértek. Ezen a napon a bányászati meteorológiai állomáson $18,4^{\circ}\text{C}$ legmagasabb és $8,2^{\circ}\text{C}$ legalacsonyabb hőmérsékletet észleltek.

A karsztra jellemző mikroklímák megismerését nagymértékben elősegíti WAGNER R. gazdag megfigyelési anyaga (1954a, 1960).

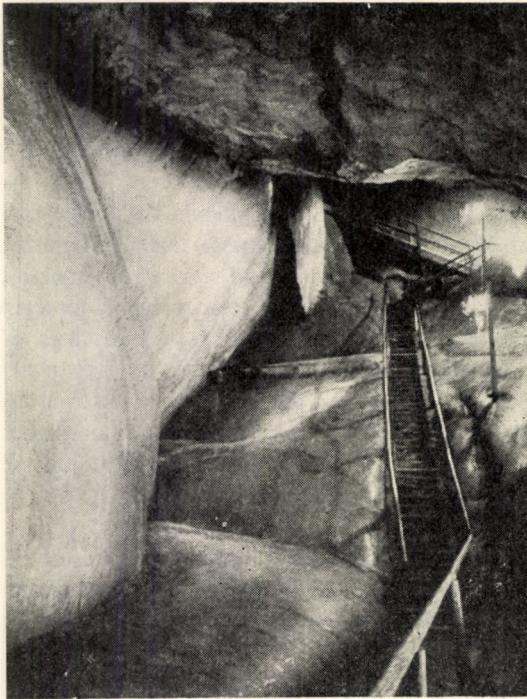
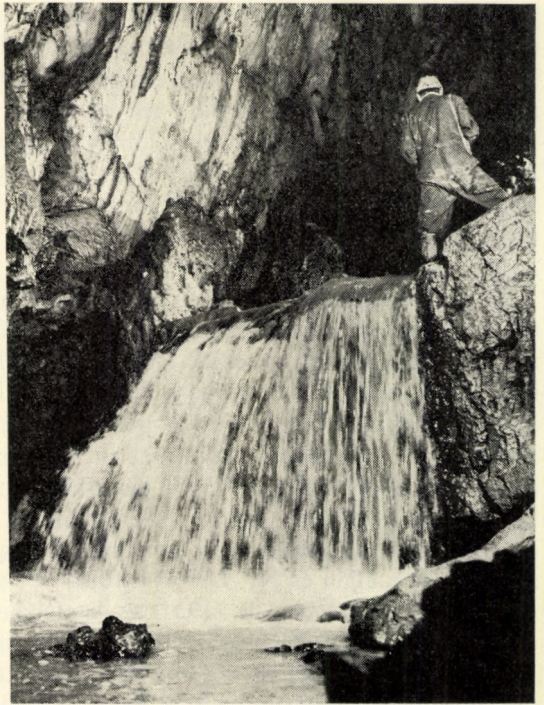
A Tornai-karszton JAKUCS P. végzett mikroklímavizsgálatokat (1954, 1955), az abaligeti térségben pedig LEHMANN A. (1970). Ezek a felszínre jellemző klímaviszonyok megismeréséhez fontos adalékkul szolgálnak. A mikrotérségek talajklíma-sajátosságainak karsztmorfológiai szerepét általánosítva JAKUCS L. fogalmazta meg (1971).

Az említett sajátos klímaviszonyok együtt jelentősen befolyásolták a terület felszíni és földfelszín alatti karsztos formáinak fejlődését, jelenlegi térbeli állapotát. Különösen gyorsan érvényesül a csapadék hatása, amely a mindenkori hőmérsékleti, légáramlási és beszivárgási viszonyoktól függően meghatározza a belső térségek nedvességi viszonyait. Valamennyi karsztos terület az év minden szakában elegendő csapadékot kap. A téli, viszonylag kisebb értékeket ellensúlyozza az ugyancsak kicsi párolgás. Sőt, a szilárd alakban lehulló csapadék a barlangok vízgyűjtő területein felhalmozódva a kora tavaszi időszakban gyakran okoz hideg barlangi árvizeket.

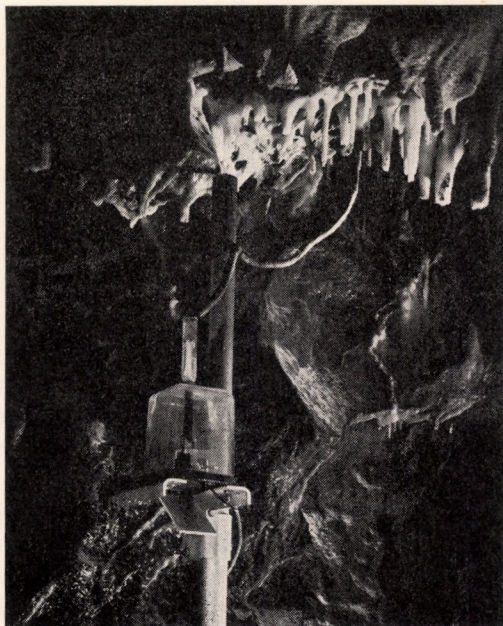
Abaliget környezetének csapadékviszonyai az egész év során kiegyenlítettebbek. Az Aggteleki-karszt csapadékának szélsőségesebb megoszlása időben és térben egyaránt követhető.

A szélsőségek nem olyan nagyok, hogy megakadályozták volna a karszt felszíni és földalatti formakincsének intenzív kifejlődését. Sőt, a csapadékviszonyok szerencsés polarizálódása (téli minimum még a szükséges igényhatáron belül, és a nyári maximum) éppen gyorsítja a folyamatot.

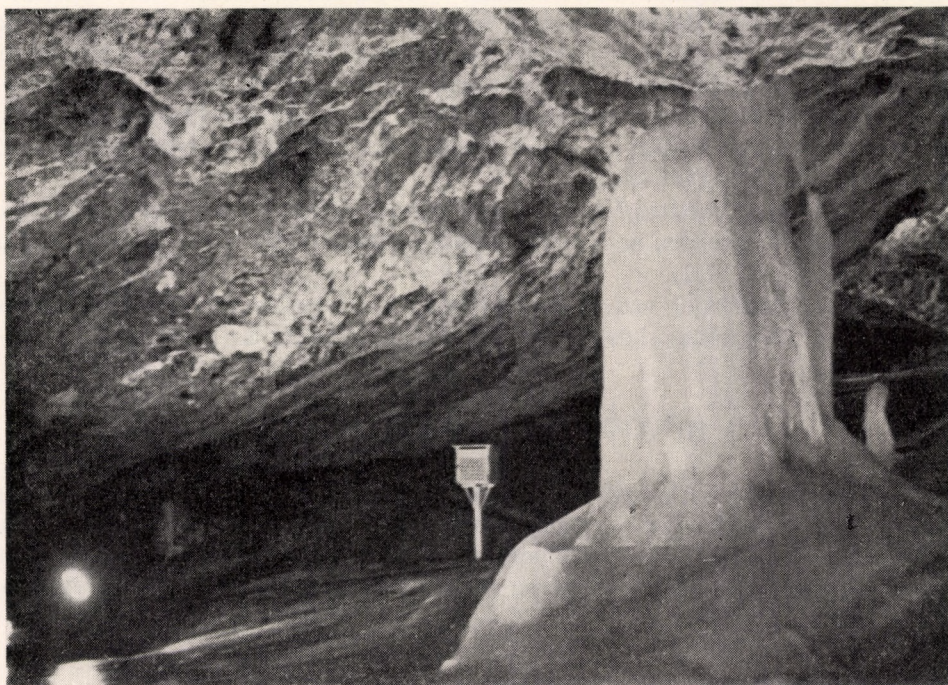
10. kép. A hűvösérzetet keltő barlangok gyakran megfelelnek a szpelleoterápia követelményeinek. Baradla-barlang. Vizesés a főágban (Fotó: Borzsák P.–Prágai A.)



11. kép. A jegesbarlangokban egész évben megtalálható jég fontos szerepet játszik a hidegérzet kialakításában. Részlet a Dobsinai-jegesbarlangból (Fotó: Jakucs L.)



12. kép. Csepegés-hozam mérőműszer a Vass Imre-barlangból (Fotó: Borzsák P.-Prágai A.)



13. kép. Nagy-terem a Dobsinai-jegesbarlangból a Steiner-féle hőmérőházikóval (A szerző felvétele)

III. A BARLANGOK LEVEGŐJÉNEK HŐMÉRSÉKLETE

A levegő-hőmérsékletnek jelentős szerepe van a barlangok klímájának alakításában. A természetes földalatti üregek hőmérsékletének változása egyben mutatója a barlangokra jellemző energiaforgalom alakulásának is. A léghőmérséklet jól tükrözi a külső légtérből a barlangokba (nyári évszak), illetve innen a külső légtérbe irányuló (téli évszak) levegőtranszportot.

A barlangok belső hőmérséklete döntően befolyásolja a levegő nedvességtartalmát. A léghőmérsékletnek és a levegő párafogadó-képességének összefüggése ismert. Miután a barlangokban a telítettség, illetve a telítettséghez közeli állapot feltételei adóttak, így a jelenlevő vízgőz mennyisége (abszolút nedvesség) a hőmérséklet függvénye.

A hőmérséklet a barlangok gyakorlati hasznosítása szempontjából is fontos, bioklimatológiai szempontból részletesen kutatott tényező. A földfelszín alatti szanatóriumok komfort-klímájának kialakításában is meghatározó szerepe van. A hőmérséklet nem megfelelő alakulása minden barlangot kizár a természetes gyógyhelyek köréből, azokat is, amelyekben a szpeleoterápiához szükséges összes egyéb természeti feltétel megtalálható (itt elég a jegesbarlangokra utalnunk). Mindemellet nem hagyhatjuk figyelmen kívül, hogy a hőmérséklet fontos bioklimatológiai faktor, amelynek az emberre gyakorolt hatását az orvostudomány évezredek óta kutatja (AUJESZKY L. 1949, KÉRDŐ I. 1955, 1961 stb.).

A jegesbarlangok gazdasági hasznosítását viszont éppen alacsony hőmérsékletük teszi megfelelővé speciális, nem bioklimatológiai felhasználás révén (LUKIN, V. Sz. 1965, PETROVIĆ, S. 1952).

A magas hőmérsékletű, nedves, meleg klímájú barlangok pedig ismét más, sajátos arculatú gazdasági hasznosítás lehetőségét kínálják (JAKUCS L. 1970).

1. A HÚVÖSÉRZETET KELTŐ BARLANGOK

E típusba tartozó barlangok évi közepes hőmérséklete $0,1-12,0^{\circ}\text{C}$ között van. Miután hazánk barlangjainak legnagyobb része a bioklimatológiai paraméterek alapján a hűvösérzetet keltő barlangok csoportjába tartozik, a típus modelljeiként szolgáló Baradla- és Abaligeti-barlang léghőmérsékletét részletesebben tárgyalom.

1.1. A BARADLA-BARLANG

A tárgyalt összes többi barlanghoz képest a Baradla–Domica-rendszer a léghőmérséklet vonatkozásában lényeges eltéréseket mutat hatalmas kiterjedéséből adódóan is. Egy-egy kifejezetten hűvös (Csontház, Felszabadulási-ág) vagy melegebb szakasz (Denevér-ág) nagyságát illetően számos kisebb, önálló barlanghoz hasonlítható, ebből következik, hogy a Baradla–Domica-barlangrendszer a léghőmérsékletet illetően változatos képet nyújt.

Ugyancsak figyelembe kell venni e nagy kiterjedésű földalatti rendszernél a jelentős méretű idegenforgalmat (a csehszlovák és magyar szakaszok látogatóinak száma megközelíti a 200 000-et), az idegenforgalom következményeként bevitt elektromos hőenergiát, továbbá azokat a mechanikus beavatkozásokat is, amelyek a barlang klímáját megváltoztatják (pl. bejáratok, nagyobb nyílások légmentes elzárása, újabbak nyitása stb.).

A Baradla–Domica-rendszer léghőmérséklete az 1959–1973 között elvégzett mérések alapján $9,5^{\circ}\text{C}$, a szórás értéke $1,7^{\circ}\text{C}$. Ez az érték jól megközelíti a korábbi vizsgálati eredményeket (VASS I. 1831, DUDICH E. 1932a, b, JAKUCS L. 1957). Az átlag konfidencia-intervallum 99,9%-os megbízhatósági szinten:

$$\mu = 9,5 \pm 0,1 (^{\circ}\text{C}).$$

Természetesen az óriás barlangrendszernek számos olyan része van, amelynek hőmérséklete többé-kevésbé eltér az átlagtól. A léghőmérséklet térbeli alakulása viszont azt tanúsítja, hogy néhány közvetlen bejárati nyílást leszámítva a barlangrendszer valamennyi része jól megközelíti a tapasztalati átlagot.

1.1.1. A LÉGHŐMÉRSÉKLET TÉRBELI ELRENDEZŐDÉSE

A hőmérsékleti viszonyok részletes feltárásához tekintsük a nagy barlangrendszert olyan kisebb rendszerek összességének, amelyek önmagukban is saját hógazdálkodást folytatnak, saját energiaforgalmuk és légáramlási rendszerük van. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy ezek külön-külön nem képeznek szigorúan zárt rendszert, hanem kapcsolódnak a barlang egészéhez.

1.1.2. A BEJÁRATI VAGY KIEGYENLÍTŐDÉSI ZÓNÁK HŐMÉRSÉKLETI VISZONYAI

Az egyes barlangszakaszok hőmérsékletének alakulását az *I. táblázat* mutatja. A Baradla–Domica-rendszer példáján szemléletesen tanulmányozhatjuk az egymástól lényegesen eltérő klímájú kiegyenlítődési szakaszok hőmérsékleti viszonyait. Az említett légterek klimatikus sajátosságait elsődlegesen itt is a felszín és a barlang között végbemenő energiakicserélődési folyamat határozza meg (a légáramlás-, hőmérséklet-, légnyomás-, nedvességviszonyokon keresztül).

A barlangok bejárati (kiegyenlítődési) zónái azt az általános jegyet viselik magukon, hogy a rajtuk keresztül áramló levegő fizikai állapotváltozása az év egy részében jelentős (akár a külső meleg levegő lehűlése megy végbe, akár a felszíneredetű hideg levegő felmelegedése), az év más részében a légáramlás irányának megváltozásával azonban ezeket a légtereket is a stabilis fizikai állapotú barlangi levegő tölti ki. A hőmérséklet szerint a hűvösérzetet keltő barlangok bejártánál is megkülönböztethetünk hűvös–hideg és az enyhe–meleg típust.

A léghőmérséklet középértékei és abszolút szélsőségei (°C)

| Hely | Távolság a bejáratától (m) | 10 cm magasan | | | | | | |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | Tél (XII–I– II) | Tavaszi (III–IV– V) | Nyár (VI–VII– VIII) | Ősz (IX–X– XI) | Maxi- mum | Mini- mum | Évi átlag |
| Aggteleki főbejárat | | 4,8 | 7,6 | 9,6 | 9,4 | 11,0 | 1,8 | 7,9 |
| Csontház | 40* | 6,7 | 7,9 | 8,4 | 8,8 | 9,9 | 6,0 | 7,9 |
| Teknősbéka | 140** | 7,9 | 8,1 | 9,6 | 9,7 | 10,6 | 4,4 | 8,8 |
| Átlag | | 6,5 | 7,8 | 9,2 | 9,3 | | | 8,2 |
| Felszabadulási-ág | | 4,9 | 7,7 | 9,1 | 9,2 | 10,5 | 1,0 | 7,7 |
| Tigris-terem | 250* | 9,7 | 9,8 | 10,4 | 10,7 | 11,3 | 9,0 | 10,2 |
| Oszlopok csarnoka | 200** | 9,3 | 9,4 | 10,2 | 10,1 | 10,8 | 8,4 | 9,7 |
| Átlag | | 8,0 | 9,0 | 9,9 | 10,0 | | | 9,2 |
| Denevér-ági bejárat | | 10,1 | 10,1 | 15,6 | 11,9 | 20,2 | 9,6 | 11,9 |
| Fekete-terem | 200* | 9,5 | 9,8 | 10,5 | 10,5 | | | 10,1 |
| Átlag | | 9,7 | 10,0 | 13,1 | 11,2 | | | 11,0 |
| Főág (Vöröstónál) | | 8,5 | 8,6 | 9,4 | 9,4 | 10,2 | 5,0 | 9,0 |
| Vetődéses terem | 450*** | 10,2 | 10,2 | 10,3 | 10,3 | 10,8 | 9,7 | 10,3 |
| Legfiatalabb terem | 200*** | 9,8 | 10,1 | 10,3 | 10,3 | 10,6 | 9,4 | 10,1 |
| Bejáratától | 100*** | 8,8 | 9,4 | 10,2 | 10,1 | 10,6 | 8,1 | 9,6 |
| Jósvafői bejárat | | 3,2 | 8,0 | 9,6 | 8,9 | 10,6 | 0,8 | 7,4 |
| Átlag | | 8,0 | 9,4 | 10,1 | 9,9 | | | 9,4 |

* = Aggteleki főbejáratától mért távolság.

** = Felszabadulási-ág bejáratától mért távolság.

*** = Jósvafői bejáratától mért távolság.

a) Hűvös–hideg típusú az a bejárat, amelyen keresztül nyáron a hűvös (stabilis állapotú) barlangi levegő áramlik kifelé, télen viszont a hideg külső levegő áramlik a barlang belseje felé, a hőmérséklet a bejáratától a barlang belseje felé emelkedik.

b) Az enyhe–meleg típusú bejáratú térségeken át nyáron a külső meleg levegő áramlik a barlang felé, télen pedig az enyhébb barlangi levegő kifelé, így az év minden részében lényegesen melegebb a hűvös–hideg típusnál, a hőmérséklet a bejáratától a barlang belseje felé csökken.

A hűvös–hideg típus

Ide soroljuk a *Baradla jósvafői szakaszát*, melynek sajátos hőmérsékleti viszonyait befolyásolja az is, hogy a Baradla egész rendszere Aggtelektől Jósvafő felé állandóan, de nem egyenletesen lejt. Az aggteleki főbejárat tengerszint felett 333 m, a jósvafői bejárat pedig 262 m magasan fekszik. A mélyedésekben összegyűlt hideg levegő nem tud egyenletesen végigáramlani a barlangon. Ez az egyik oka, hogy az Óriások-terme, a Kaffka-terem és a Vetődéses-terem hőmérséklete 10,0 °C fölé emelkedik.

Ugyancsak hűvös–hideg típusú a barlang főágához kapcsolódó *Vöröstői-oldalág*,

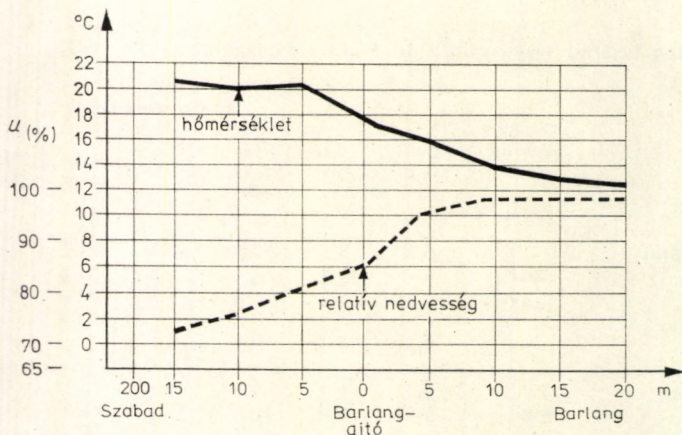
a Baradla-barlang bejárati szakaszaiban 10 és 15 cm magasan (1959–1963)

| Hely | Távolság a bejárattól (m) | 150 cm magasan | | | | | | |
|---------------------|---------------------------|----------------|--------------------|--------------------|---------------|---------|---------|-----------|
| | | Tél (XII–I–II) | Tavaszi (III–IV–V) | Nyár (VI–VII–VIII) | Ősz (IX–X–XI) | Maximum | Minimum | Évi átlag |
| Aggteleki főbejárat | | 6,7 | 8,1 | 10,6 | 10,1 | 13,2 | 6,4 | 8,9 |
| Csontház | 40* | 7,1 | 8,3 | 8,8 | 9,3 | 10,2 | 6,2 | 8,4 |
| Teknősbéka | 140** | 8,8 | 8,5 | 9,9 | 9,9 | 11,5 | 6,5 | 9,3 |
| Átlag | | 7,5 | 8,3 | 9,7 | 9,7 | | | 8,8 |
| Felszabadulási-ág | | 6,4 | 8,4 | 9,8 | 9,5 | 14,1 | 5,1 | 8,5 |
| Tigris-terem | 250* | 9,9 | 9,9 | 10,6 | 10,8 | 11,4 | 4,4 | 10,3 |
| Oszlopok csarnoka | 200*** | 9,5 | 9,6 | 10,5 | 10,3 | 11,1 | 8,6 | 10,0 |
| Átlag | | 8,6 | 9,3 | 10,3 | 10,2 | | | 9,6 |
| Denevér-ági bejárat | | 10,3 | 10,1 | 16,3 | 11,8 | 23,2 | 10,0 | 12,1 |
| Fekete-terem | 200* | 9,7 | 9,9 | 10,4 | 10,6 | | | 10,2 |
| Átlag | | 10,0 | 10,0 | 13,4 | 11,2 | | | 11,2 |
| Főág (Vöröstónál) | | 9,1 | 8,9 | 9,5 | 9,5 | 10,6 | 7,7 | 9,3 |
| Vetődéses terem | 450*** | 10,4 | 10,4 | 10,6 | 10,5 | 10,8 | 9,9 | 10,5 |
| Legfiatalabb terem | 200*** | 10,1 | 10,4 | 10,6 | 10,5 | 10,8 | 9,8 | 10,4 |
| Bejárattól | 100*** | 9,2 | 9,9 | 10,5 | 10,3 | 10,8 | 8,8 | 10,0 |
| Jósvafői bejárat | | 6,1 | 8,6 | 10,2 | 9,2 | 10,8 | 4,8 | 8,5 |
| Átlag | | 8,9 | 9,8 | 10,5 | 10,1 | | | 9,8 |

amely az aggteleki főbejárattól 4752 m-re kezdődik és sajátos mikroklímájával tűnik ki. A barlang belső részeinek télen-nyáron ez a leghűvösebb pontja. BERÉNYI D. és JUSZTYÁK J. (1959) 1959. február 13-án kb. 5,0 °C-os hőmérsékletkülönbséget észleltek, mintegy 5–6 m-es szintkülönbségen oly módon, hogy a patakmederben 3,0 °C alatti értéket mértek. E típusba sorolható még a Baradla főbejáratahoz tartozó szakasz (Csontház, Teknősbéka-terem stb.) és a *Felszabadulási-ág* is.

Az enyhe-meleg típusú kiegyenlítő zónák

Ebben a térségben nyáron befelé, télen kifelé áramlik a levegő (*Denevér-ág*). Ez azt jelenti, hogy ebben a barlangrészben nyáron a felszíni meleg levegő folyamatosan alakul át hűvös barlangi levegővé, a barlang nyílásától befelé folyamatosan megváltozik fizikai tulajdonsága. A változást két elemre az 5. ábra mutatja be. Ez a barlangszakasz igen meleg, hiszen a közvetlen barlangnyílás június, július és augusztus havi átlaga 150 cm magasan együttesen 15 °C fölött van, de évi átlagban is 11,9–12,1 °C (*I. táblázat*). Az oldalágban egész nyáron át fűledt, páras levegő uralkodik.



5. ábra. A hőmérsékleti és légnedvességi értékek változása a Denevér-ág bejáratánál

Mérések alapján a hőmérséklet átlagértéke különösen magasnak adódott ($14,0^{\circ}\text{C}$) a magas nyári hőmérsékleti értékek miatt.

Az állandóan folyamatban levő újabb és újabb emberi beavatkozások megváltoztatják a barlang mikroklimáját is, bár a Baradla-Domica-rendszerben ez csak a bejáratok közelében érvényesül.

Valamennyi tanulmány – amely hosszabb megfigyelési sorra épül – utal arra, hogy a Csontházban hideg télen jelentős nagyságú jégoszlopok és jégstalagmitok keletkeznek. JAKUCS László 1954 januárjában -25° -os külső hőmérséklet mellett a Csontházban $-11,0^{\circ}\text{C}$ -t mért (1957). 1959–1960-as megfigyeléseink teljesen egybevágóak JAKUCS L. megállapításával. A természetes viszonyok megváltoztatása következtében az utóbbi időben már a Csontházban erős külső hideg esetén sem süllyedt a levegő hőmérséklete 5°C alá, aminek következtében az erős téli lehűlés és jégképződés elmarad.

A Kis-Baradla-víznyelőnél megnyitott bejáratok a Felszabadulási-ágon keresztül ezt a barlangrészt is bekapcsolják az ún. aggteleki bejáratok aktív légáramlási körébe, és ez különösen a hőmérséklet alakulására van hatással.

A kijárat megváltoztatása következtében a Baradla-barlangban újabb hidegcentrum alakult ki a Felszabadulási-ág bejáratának környékén. (Lásd a léghőmérséklet havi és évi középértékeit az I. táblázat alapján.)

Az aggteleki kiegyenlítődési zónák klíma-modelljéhez hasonlít a csehszlovák Domica-rendszer is. A bejáratok elhelyezkedéséről a 3. ábra tájékoztat. DROPPA, A., JAKUCS L. (1961), valamint saját megfigyeléseink alapján megállapíthatjuk, hogy a Domica főbejárata az aggteleki főbejáratéhoz és a Kis-Baradla bejáratéhoz hasonló hőmérsékletelosztást alakít ki.

1.1.3. A BARADLA-DOMICA-RENDSZER BELSŐ LÉGTERÉNEK HŐMÉRSÉKLETI VISZONYAI

A hatalmas barlangrendszer belső légtere – meglehetősen nagy térdimenziók (közel 20 km-es hosszúság, 10 méteres átlagszélesség és kb. 5–6 m-es átlagmagasság) mellett is – többé-kevésbé egységes, állandó eloszlást mutat a bejáratok vagy kiegyen-

lítődesi zónákkal szemben. Ez leginkább abban nyilvánul meg, hogy az egész rendszerre a kisméretű változások a jellemzők, a változások tendenciái pedig azonosak a teljes belső légtérben. Megmutatkozik ez a felmelegedés és a lehűlés egyenletességében is. A hőmérséklet havi és évi középértékeit a Baradla-barlang főágában megállapított tapasztalati átlag ($9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) jól jellemzi egész évben. Ettől csupán a jellegzetes kora tavaszi jeges és a nagy csapadék okozta meleg nyári árvizek idején mutatkozik jelentősebb eltérés, melyekhez legtöbb esetben a szélsőséges hőmérsékletek is kapcsolódnak.

A barlang belső térségeire (különböző termek, folyosók, barlangszakaszok) jellemző évi középhőmérsékleti értékeket átlag $0,6\text{--}0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os szórás-értékek kísérik, árvízmentes években azonban a léghőmérsékleti értékek szórása még kisebb ($\sigma = 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ alá csökken).

1959 nyarának folyamatos észlelése alapján a Buzogánynál (3900 m) három hónapos hőmérsékleti ingadozás $0,0^{\circ}$, a Szádráncú szoknyánál (az aggteleki bejáratától 3500 m) $0,1^{\circ}$. Ebben az időszakban a Buzogány környékén teljes térbeli és időbeli izotermia állapota alakult ki. A barlangnak ez a része a nagy bejáratoktól legtávolabb esik.

A Baradla–Domicarendszerben gyakoriak az óriás katasztrófákat előidéző árvizek, amelyek gyors változásokat idéznek elő a mikroklímában is. Az érdekes jelenség okával és hatásával korábban is gyakran foglalkoztak tudományos értekezések (VASS I. 1831, JAKUCS L. 1956b, ZÁCH A. 1956). JAKUCS L. rámutat a „hideg hólé eredetű áradmányvizek” hatására, melyek a barlang belső szakaszának hőmérsékletét $4\text{--}6\text{ }^{\circ}\text{C}$ -szal is le tudják hűteni. Saját vizsgálataim ezt többoldalúan megerősítik. Ilyen többször megisméltlődő február végi, március eleji árvízszorozat okozta 1969-ben a Baradla abszolút hőmérsékleti minimumait ($7\text{ }^{\circ}\text{C}$) is. A hőmérsékleti maximumok kialakításánál pedig a meleg nyári árvizek (1960, 1970) segítettek. A barlangi vizek hőmérsékletével és a barlang energiaforgalmára gyakorolt hatásával külön foglalkozunk.

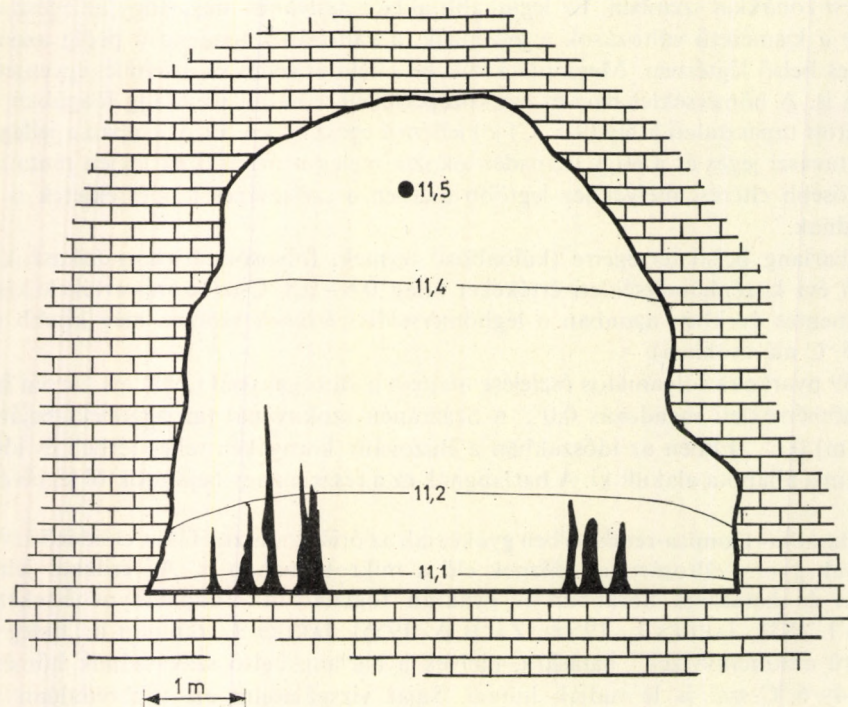
1.1.4. A LÉGHŐMÉRSÉKLET FÜGGŐLEGES ELOSZLÁSA

A léghőmérséklet függőleges eloszlását keresztmetszet ábrán mutatom be a Baradla–Domicabarlangból (6. ábra). Általános törvényszerűség, hogy a hőmérséklet értéke alulról felfelé növekszik, tehát a levegő stabilisan rétegződik. Legnagyobb vertikális különbségek a barlang bejárat térségében alakulnak ki (átlagosan $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}/140\text{ cm}$). A függőleges hőmérsékleti gradiensek sajátos évi menetet is mutatnak, a téli hónapokban általában nagyobb értékeket, a nyári hónapokban pedig kisebb értékeket vesznek fel. Jelentőségük a barlang levegőjének turbulens keveredésében van.

1.1.5. A LÉGHŐMÉRSÉKLET IDŐBELI VÁLTOZÁSAI

a) Rövid periódusú változások

A Baradla–Domicarendszer léghőmérsékletének napi változásai csupán a bejárat vagy kiegyenlítési zónákra jellemzők. A rendszer összetett voltából adódóan azonban csupán azokban a járatokban számottevők, amelyekben a légcirkuláció eredője a szabadból a barlang belseje felé mutat. A barlang belsejében a léghőmérséklet szabályos napi menete elhanyagolható. A felszínen rövid idő alatt bekövetkező időjárási változások a belső légtérben egyáltalán nem, a tartós időjárási helyzetek pedig



6. ábra. A hőmérséklet térbeli eloszlása (°C) a Domica-ágban 1967. X. 10. (őserdő)

egy-két héten belül éreztetik csak hatásukat (lehülési és felmelegedési folyamatok). Erre CSOMOR M. és ZALAVÁRI L. is rámutatott (1964). Természetesen kivételt képeznek az árvizek által előidézett gyors változások, amelyek azonban aperiodikus jellegűek.

b) *A léghőmérséklet hosszabb periódusú változásai*

A Baradla–Domica-rendszer bejárati szakaszai (amelyeken a külső levegő a barlangba áramlik) a felszín hőmérsékleti változásait folyamatosan követik. A barlang belsejében kicsiny, de folyamatos hőmérsékletváltozással kell számolnunk, amelyből a szabályos évi menet kialakul.

Az évi menetet a barlangi árvizek is befolyásolják, mint azt említettük. Így a hőmérsékleti minimumok a barlang belsejében februárban (a kora tavaszi barlangi árvizek jelentkezése), a hőmérsékleti maximumok pedig júliustól szeptemberig alakulnak ki. A hőmérséklet változásainak fő tendenciáit a barlang és a külszíni levegő közötti energiaforgalom határozza meg.

A barlang és a külszíni léghő energiataralékainak egymáshoz viszonyításából három energia-áramlási típus különböztethető meg:

- a) novembertől március végéig a barlang hőenergiát ad le a külszín felé,
- b) októberben és áprilisban az energia-egyensúly helyzetéhez közeli állapot alakul ki,
- c) május elejétől szeptember végéig a barlang hőenergiát vesz fel a külszíni energia-készletből.

Visszatérve az antropogén beavatkozások termikus következményeire vonatkozó kérdésre, az irodalmi adatok (TOWNSON 1797, VASS I. 1831, SCHMIDL A. 1856, DUDICH E. 1932a, JAKUCS L. 1957, BERÉNYI D.–JUSTYÁK J. 1960, CSOMOR M.–ZALAVÁRI L. 1964, stb.) és saját vizsgálataim alapján végül is megállapítottam, hogy az antropogén eredetű beavatkozások a barlang belsejének hőmérsékleti viszonyait az elmúlt 100 év alatt nem befolyásolták lényegesen, kivéve a bejárati zónákat.

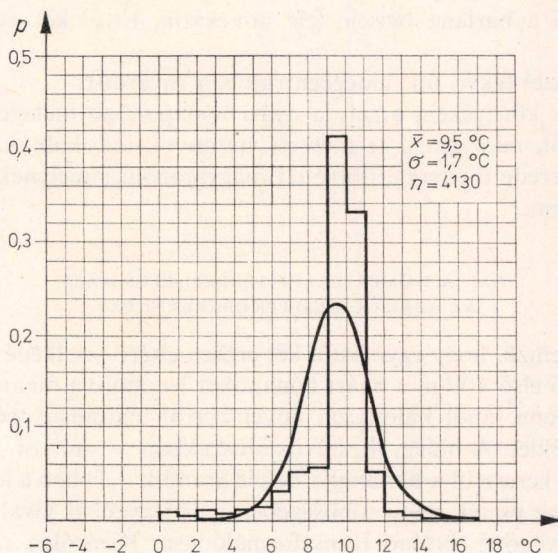
1.1.6. A DOMICA-SZAKASZ NÉHÁNY LÉGHŐMÉRSÉKLETI SAJÁTOSSÁGA

A Domicabarlang légtere mind cirkulációs rendszerét, mind energiaforgalmát illetően a Baradlával egységes barlangrendszert alkot. Mint arra utaltunk, bejárati része az Aggteleki bejárati típushoz hasonló, főága pedig a Baradla főágában folytatódik, a Styx-patak pedig végigfolyik a Baradlán. DROPPA és JAKUCS (1961) mérései szerint a Baradla–Domicagarának belső térségei – az aggteleki részhez hasonlóan – szintén nem mutatnak nagy ingadozást. Teljesen homogén vizsgálat-sorozatunk adatai – egybevetve a többi sorozattal – azt igazolják, hogy a Domica nagy része mintegy 0,4–0,5 °C-szal melegebb, mint a Baradla főága. A 6. ábra az Óserdő (Prales) elnevezésű terem légterének függőleges rétegződését mutatja be a Domicagarából. Ezekben a magasabban fekvő termekben barlangi viszonylatban még októberben is számottevő függőleges hőmérsékleti különbségek alakulnak ki, amikor a külső és belső légtér hőmérsékletére a közel kiegyenlített állapotok a jellemzők.

A barlang hőmérsékleti viszonyainak feltárását a már tárgyalt mutatók és törvényszerűségek leírása mellett elősegíti az észlelési sorok sűrűség- és eloszlásfüggvényeinek elemzése is.

A Baradla–Domicarendszer hőmérsékleti sűrűségfüggvényének (7. ábra) legfontosabb paraméterei a következők:

$$\bar{x} = 9,5 \text{ °C}; \sigma = 1,7 \text{ °C}; n = 4130.$$



7. ábra. A Baradla–Domicabarlangrendszer léghőmérsékleti valószínűségi sűrűségfüggvénye

A tapasztalati sűrűségfüggvény az x^2 próba alapján szignifikánsan eltér a normális eloszlás sűrűségfüggvényétől ($p < 0,05$), a hőmérsékleti értékek eloszlása esetünkben a keverék eloszlásához tartozik.

A sűrűségfüggvény jól mutatja, hogy a barlang hőmérsékletére jellemző a kiegyenlítetttség. Az egész barlangrendszerben az $5,9^\circ\text{C}$ alatti értékek 5%-os valószínűséggel, a $8,9^\circ\text{C}$ alatti hőmérsékletek csupán 17%-os valószínűséggel fordulnak elő. A $11,0^\circ\text{C}$ fölötti értékek pedig mindössze 3%-os valószínűséggel várhatók. A léghőmérsékleti értékek 75%-os valószínűséggel 9 és 11°C közé esnek. Ezért *bioklimatológiai szempontból a hőmérséklet alapján* a Baradla–Domica-barlangrendszert *ingermentes helynek* tekintjük.

1.2. AZ ABALIGETI-CSEPPKŐBARLANG

A barlang folyosórendszere a bejáraton át a természetes állapotnak megfelelően szabad összeköttetésben van a felszíni levegővel. A külső időjárási változások azonban a hőmérsékletet illetően csak télen, és mintegy 100 m hosszú szakaszon éreztetik hatásukat. Ekkor más barlangokhoz képest nagy hőmérsékleti különbségek alakulnak ki. Ezt a barlang bejáratának teljes nyitottsága okozza. Kb. 100 m után a barlang-levegő hőmérséklete – természetes állapotban – mind térben, mind időben igen kis mértékben változik. (Ez esetben nem vesszük figyelembe a turizmus és a gyógyterem okozta energiaforgalmi zavarokat.)

Méréseim¹ alapján meghatároztam a barlang várható középhőmérsékletét 99,9%-os megbízhatósági szinten:

$$\mu = 10,1 \pm 0,1^\circ\text{C}.$$

A térbeli eloszlás elemzéséhez megvizsgáltam a hőmérséklet változását a barlang bejáratától a legbelsőbb pontjáig (*II. táblázat*). Általánosan érvényesülő törvényszerűség az Abaligeti-barlangban és a hasonló típusú rendszerekben, hogy a hőmérséklet a bejáratától a barlang belseje felé növekszik. Ettől két esetben jelentkezik eltérés:

- a) a bejáratához közel fekvő ún. hidegcentrumban (nyáron),
- b) a Flórián-forrás környékén, amely a nyári hónapokban melegebb voltával válik ki környezetéből, mint azt a természeti viszonyok indokolnák. Ezt a jelenséget az antropogén eredetű energiátöbblettel magyarázom, amelynek oka az itt kialakított gyógyterem.

1.2.1. A HŐMÉRSÉKLET TÉRBELI ELOSZLÁSA AZ ABALIGETI-CSEPPKŐBARLANGBAN

A barlangra jellemző, hogy egymástól két erősen eltérő viselkedésű térségre oszlik. A bejáratot követő első 100 m a nyári hónapokat leszámítva dinamikus változásokkal jellemezhető zóna, ahol különösen novembertől márciusig méterről méterre is változik a hőmérséklet. A hideg, ill. hűvös időszakban – amikor a külső, hűvösebb levegő a bejáraton keresztül a barlangba befelé áramlik – ebben a légtérben játszódik le a hidegebb, és az esetek nagy többségében a barlangénál jóval szárazabb külső levegő barlangi levegővé történő transzformálódása. Kizárólag ebben a légtérben van – és csupán télen – a hőmérsékletnek jól kirajzolódó napi menete.

II. TÁBLÁZAT

A léghőmérséklet középértékei és abszolút szélsőségei (°C)
az Abaligeti-barlangban 10 és 150 cm magasan (1966–1975)

| Hely | Távolság a bejáratától (m) | 10 cm magasan | | | | | | |
|-------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | Tél (XII–I– II) | Tavaszi (III–IV– V) | Nyár (VI–VII– VIII) | Ősz (IX–X– XI) | Maxi- mum | Mini- mum | Évi átlag |
| Bejárat | | 2,1 | 8,2 | 11,2 | 8,4 | 13,8 | –8,9 | 7,5 |
| Bejáratától | 10 | 2,7 | 8,3 | 11,0 | 8,6 | 11,5 | –3,6 | 7,6 |
| I. oldalág | 45 | 5,3 | 9,0 | 11,1 | 9,8 | 11,8 | 0,0 | 8,8 |
| Korona | 70 | 7,1 | 9,4 | 11,3 | 10,4 | 11,9 | 4,2 | 9,5 |
| Pisai ferdetorony | 94 | 7,9 | 9,9 | 11,3 | 10,8 | 11,9 | 5,8 | 10,0 |
| Flórián-forrás | 159 | 9,3 | 10,5 | 11,6 | 11,3 | 12,4 | 7,4 | 10,7 |
| Hajóágyúk | 247 | 10,2 | 10,7 | 11,5 | 11,5 | 11,9 | 9,6 | 11,0 |
| Lengőkő | 250 | 10,4 | 10,8 | 11,5 | 11,5 | 12,0 | 9,9 | 11,0 |
| Karthago romjai | 300 | 10,7 | 11,0 | 11,6 | 11,5 | 12,1 | 10,0 | 11,2 |
| II. oldalág | 338 | 11,0 | 11,2 | 11,6 | 11,7 | 12,1 | 10,3 | 11,4 |
| Nagy-terem | 415 | 11,3 | 11,3 | 11,6 | 11,7 | 12,1 | 10,6 | 11,5 |
| Színház-terem | 420 | 11,5 | 11,6 | 11,8 | 11,8 | | | 11,7 |

| Hely | Távolság a bejáratától (m) | 150 cm magasan | | | | | | |
|-------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | Tél (XII–I– II) | Tavaszi (III–IV– V) | Nyár (VI–VII– VIII) | Ősz (IX–X– XI) | Maxi- mum | Mini- mum | Évi átlag |
| Bejárat | | 2,3 | 9,0 | 12,2 | 9,1 | 16,8 | –8,1 | 8,1 |
| Bejáratától | 10 | 3,6 | 8,4 | 11,1 | 9,1 | 12,2 | –0,2 | 8,1 |
| I. oldalág | 45 | 6,5 | 9,5 | 11,3 | 10,3 | 12,2 | 1,6 | 9,4 |
| Korona | 70 | 7,8 | 9,8 | 11,4 | 10,7 | 12,1 | 5,2 | 9,9 |
| Pisai ferdetorony | 94 | 8,5 | 10,2 | 11,5 | 11,1 | 12,2 | 5,9 | 10,3 |
| Flórián-forrás | 159 | 9,6 | 10,9 | 12,0 | 11,6 | 13,8 | 7,8 | 11,0 |
| Hajóágyúk | 247 | 10,4 | 11,0 | 11,7 | 11,6 | 12,2 | 9,9 | 11,2 |
| Lengőkő | 250 | 10,6 | 11,1 | 11,7 | 11,6 | 12,1 | 10,1 | 11,3 |
| Karthago romjai | 300 | 10,9 | 11,3 | 11,8 | 11,7 | 12,8 | 10,5 | 11,4 |
| II. oldalág | 338 | 11,2 | 11,5 | 11,9 | 11,9 | 12,9 | 10,9 | 11,6 |
| Nagy-terem | 415 | 11,5 | 11,5 | 11,7 | 11,8 | 12,3 | 11,0 | 11,6 |
| Színház-terem | 420 | 11,7 | 11,7 | 12,0 | 11,9 | | | 11,8 |

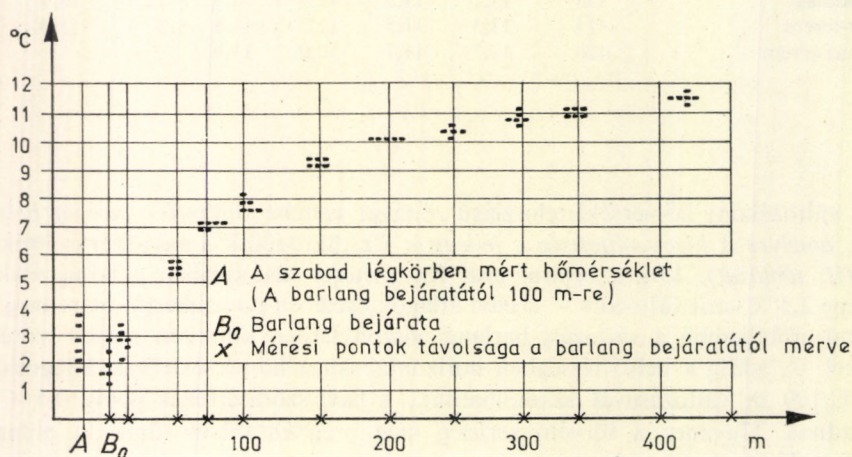
A változékony hőmérsékleteloszlású zónával szembe állítható a barlang belső térsége, amelyre a kiegyenlítettség a jellemző. Ez tükröződik a havi szórás értékekből is (III. táblázat). Míg a bejárat első 100 méteres szakaszában a hőmérséklet évi közepe 2,5 °C-szal változott – a havi átlagok esetében novembertől márciusig ennél sokkal erőteljesebb a változás, barlangi viszonylatban kiugróan magas szórásértékekkel –, addig a belső térségben horizontálisan a hőmérsékletnek átlagosan kb. 0,4 °C/100 m változásával számolhatunk, a havi szórásértékek pedig 0,5 °C alatt maradnak. Ugyanez a törvényszerűség még pregnansabban tűnik ki pillanatnyi megfigyelések alapján (8. ábra).

III. TÁBLÁZAT

A hőmérséklet havonkénti szórásértékei az Abaligeti-barlangban (1966–1974)

| Hely | Távolság a bejáratától (m) | I. | II. | III. | IV. | V. | VI. |
|--------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Bejárat | | 1,88 | 4,00 | 2,72 | 2,17 | 2,40 | 1,48 |
| Bejáratától | 10 | 1,87 | 3,17 | 2,29 | 1,41 | 0,41 | 0,50 |
| I. oldalág | 40 | 1,03 | 1,85 | 1,59 | 0,75 | 0,37 | 0,32 |
| Korona | 70 | 1,03 | 0,89 | 1,14 | 0,62 | 0,55 | 0,26 |
| Pisai ferdetoronny | 94 | 0,79 | 0,74 | 0,76 | 0,47 | 0,39 | 0,28 |
| Flórián-forrás | 159 | 0,69 | 0,48 | 0,47 | 0,36 | 0,40 | 0,33 |
| Elefánt | 204 | 0,46 | 0,39 | 0,47 | 0,30 | 0,32 | 0,20 |
| Hajóágyúk | 247 | 0,22 | 0,40 | 0,41 | 0,30 | 0,30 | 0,20 |
| Lengőkő | 250 | 0,17 | 0,30 | 0,33 | 0,28 | 0,24 | 0,20 |
| Karthago romjai | 300 | 0,20 | 0,32 | 0,33 | 0,24 | 0,28 | 0,24 |
| II. oldalág | 338 | 0,24 | 0,26 | 0,26 | 0,24 | 0,30 | 0,39 |
| Nagy-terem | 415 | 0,14 | 0,30 | 0,20 | 0,20 | 0,22 | 0,32 |
| Színház-terem | 420 | 0,14 | 0,28 | 0,26 | 0,20 | 0,22 | 0,35 |

| Hely | Távolság a bejáratától (m) | VII. | VIII. | IX. | X. | XI. | XII. |
|--------------------|----------------------------|------|-------|------|------|------|------|
| Bejárat | | 1,23 | 1,27 | 0,65 | 0,55 | 3,57 | 3,25 |
| Bejáratától | 10 | 0,36 | 0,22 | 0,36 | 0,39 | 3,12 | 1,79 |
| I. oldalág | 40 | 0,17 | 0,22 | 0,46 | 0,32 | 1,51 | 1,87 |
| Korona | 70 | 0,17 | 0,22 | 0,24 | 0,36 | 0,99 | 1,10 |
| Pisai ferdetoronny | 94 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,32 | 0,87 | 0,96 |
| Flórián-forrás | 159 | 0,41 | 0,47 | 0,40 | 0,26 | 0,50 | 0,60 |
| Elefánt | 204 | 0,17 | 0,24 | 0,22 | 0,17 | 0,41 | 0,51 |
| Hajóágyúk | 247 | 0,14 | 0,22 | 0,17 | 0,14 | 0,30 | 0,47 |
| Lengőkő | 250 | 0,14 | 0,24 | 0,17 | 0,17 | 0,28 | 0,35 |
| Karthago romjai | 300 | 0,22 | 0,42 | 0,20 | 0,17 | 0,39 | 0,35 |
| II. oldalág | 338 | 0,22 | 0,35 | 0,26 | 0,24 | 0,28 | 0,40 |
| Nagy-terem | 415 | 0,24 | 0,32 | 0,20 | 0,26 | 0,24 | 0,17 |
| Színház-terem | 420 | 0,32 | 0,35 | 0,14 | 0,24 | 0,32 | 0,20 |



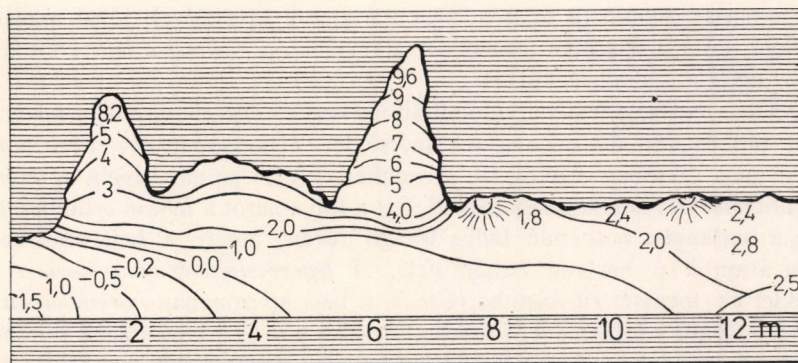
8. ábra. A léghőmérséklet változásai az Abaligeti-barlangban 10 cm magasságban, 1969. I. 30–31-én

A függőleges eloszlásra az egész barlangban jellemző, hogy a hőmérséklet alulról felfelé növekszik. A növekedés mértéke azonban a barlang egészét vizsgálva differenciált képet mutat.

A belső terek e vonatkozásban is egységesebb képet nyújtanak. Az átlagos különbségek 10 és 150 cm magasságban 0,1 és 0,3 °C között változnak, amely értékek igen nagy valószínűséggel jellemzők a barlang belsejének állapotára bármely pillanatban. Elmosódik a függőleges hőmérsékletkülönbség a két legfelsőbb teremben júliustól novemberig. Különösen októberben és novemberben gyakran lép fel izotermia-állapot a barlang belsejében, bár ugyanakkor már novemberben a bejáratnál igen markáns hőmérsékleti különbségek alakulnak ki az alsó, kb. 150 cm-es légrétegben (9. ábra). Nagy a függőleges hőmérsékleti gradiens értéke decemberben, amikor pl. a Karthago romjainál 10 és 150 cm között átlagosan 0,5 °C-os hőmérsékletkülönbség mutatkozik. Ennek az a magyarázata, hogy decemberben az erős felszíni lehűlések következtében az alsó rétegekben a hideg levegő egészen a Karthago romjaiig benyomul (kb. 300 m-re a bejáratától), ugyanakkor a magasabb rétegekben még nem hűl le a levegő.

A bejáratnál a léghőmérséklet függőlegesen sokkal változatosabb eloszlású. A közvetlen bejáratnál novembertől februárig kicsik a különbségek. Januárban, amikor a hideg levegő a barlangba befelé legerősebben áramlik, a bejáratnál a függőleges hőmérsékletkülönbségek elmosódnak. Amint azonban a hideg levegő áthalad a bejáraton, felsőbb rétege a felette levő, melegebb légréteggel keveredik, és gyorsabban felmelegszik, mint a talaj szintjén, így a bejáratától alig 10–20 méterre már 10 és 150 cm magasság között közel 1,0 °C vagy ennél is több a különbség.

Megváltozik a hőmérséklet függőleges elrendeződése a bejáratnál márciustól októberig. Ezekben a hónapokban a közvetlen bejáratnál nagyok a különbségek a két szint között; elérik az 1,0 °C-t, sőt ennél jóval magasabb értékek is előfordulnak. A meleg nyári hónapokban az erős felmelegedések esetén ezeket a nagy hőmérsékleti különbségeket az váltja ki, hogy ugyanazon bejáraton, ill. nyíláson



9. ábra. A hőmérséklet függőleges elrendeződése (°C) az Abaligeti-barlang bejáratnál, 1966. XI. 28.

keresztül kettős irányú légáramlás alakul ki, lent a hűvös barlangi levegő áramlik kifelé, fent pedig egy szűk keresztmetszeten meleg levegő áramlik befelé.

Márciusban és októberben a hőmérsékleti különbségek kialakításában a felszínen hirtelen bekövetkező felmelegedés, ill. lehűlés játszik szerepet.

1.2.3. A BARLANGHŐMÉRSÉKLET IDŐSZAKOS VÁLTOZÁSAI AZ ABALIGETI-CSEPPKÖBARLANGBAN

A hőmérséklet napi változásai

A léghőmérsékletnek a bejárat közelében télen markánsan kirajzolódó napi menete van, amely némi késéssel követi a külső hőmérséklet napi menetét, és a felszíni időjárási viszonyok hatásának erőteljes érvényesülését jelenti. A bejáratától távol (pl. a Flórián-forrásnál) azonban már télen sem észlelhető a napi menet.

A léghőmérsékletben nyáron is vannak változások, ekkor azonban — a közvetlen bejáratot figyelmen kívül hagyva — nem számottevők és alig észlelhetők.

A kicsiny változások tendenciáját tekintve megállapíthatjuk, hogy a barlang belsejében a hőmérséklet lényegesen csak hosszabb idő alatt változik. A hőmérséklet kisméretű változásának a barlangban a *szpeleoterápia* szempontjából van fontos szerepe. Ez ugyanis a hőmérséklet ingadozását, mint ingertényezőt a barlangban kikapcsolja.

A hőmérséklet havi, évszakos változásai

A léghőmérséklet változásának tendenciái a havi értékek alapján már az egész barlangban jól kimutathatók. A hőmérsékletnek a barlangban is szabályos évi menete van.

Az Abaligeti-barlangban ez az évi menet évszakosan a külső hőmérsékletet követi, némi késéssel. A barlang belsejében ez a késés 1–2 hónap. A lehűlés a barlang bármely pontján gyorsabban megy végbe, mint a felmelegedés, azaz a hőmérsékleti maximumok után gyorsabban következnek be a minimumok (január, február, március).

A téli évszak hőmérsékleti viszonyai

Télen a barlangokban (a sajátos jeges barlangok kivételével) jóval magasabb a hőmérséklet, mint a felszínen. Ennek következtében *a barlang a légcserén keresztül hőenergiát ad le a szabad légkörnek.*

Abaligeten a barlangi légtér szempontjából a negatív energia-egyenleg novembertől márciusig tart, és ezen időszak alatt a hőmérséklet változásában két eltérő tendencia figyelhető meg. Október végétől, ill. november elejétől január végéig az egész barlangra a hőmérséklet csökkenése jellemző. Ezt a folyamatot a felszín erőteljes lehűlése irányítja a barlangba beáramló hideg levegő révén, amely a bejáraton keresztül szabadon áramlik a barlang belseje felé. *A legerőteljesebb változások* — a léghőmérséklet évi menetét figyelembe véve — a bejáraton *novemberben következnek be.* A lehűlés folyamata januárban tovább tart és a barlangnak mintegy kétharmadát már a legalacsonyabb havi átlag jellemzi. A 70 és 250 m közötti barlangrészben ebben a hónapban alakultak ki a léghőmérséklet abszolút minimumai is. A barlang legbelsőbb zónájában a legalacsonyabb hőmérséklet mind a havi átlagok-

ban (ld. a *II. táblázat*ot), mind az abszolút minimumokban február és március hónapokra tevődik át, amikor a barlang bejárati szakaszában már kezdődik a felmelegedés.

A téli időszak léghőmérsékleti viszonyai a barlang *energiavesztességét* eredményezik, amely elsősorban a lehűlés folyamatában mutatkozik meg. Abaliget esetében a lehűlésben a bejárati nyíláson a szabadból a barlangba befelelé áramló hideg levegő elsődleges szerepet játszik.

A nyári évszak léghőmérsékleti viszonyai

A nyári időszak a barlangban is május elejétől szeptember végéig tart. A felmelegedés az egész barlangra jellemző. Ebben a periódusban a májusi kisebb lehűlésektől eltekintve a felszínről lényegesen melegebb levegő áramlik a barlangba.

A felszíni levegőnek az abszolút páratartalma júniustól átlagosan is magasabb mint a földalatti légtérben tapasztalható. A barlangban végbemenő felmelegedést így a nyári hónapokban már egyértelműen a felszíntől kapott hőenergia-többlet irányítja, hiszen a levegő hőmérséklete már magasabb, mint akár a kőzet, akár a víz hőmérséklete. A léghőmérséklet növekedésének üteme fokozatos, kiegyenlítettségét – a közvetlen bejáratot figyelmen kívül hagyva – a havi szórás-értékekből is megállapíthatjuk (ld. a *III. táblázat*ot). A barlang felmelegedésének csúcsa szeptember első felében következik be.

A hőmérséklet abszolút maximumai természetesen zömmel augusztusban jelentkeznek, bár – a bejáratot ugyancsak leszámítva – júniustól egészen szeptemberig szóródnak. A hőmérsékleti abszolút maximumok kialakulásának időjárási körülményeit egyenként is megvizsgálva a következő általános törvényszerűség adódott.

1. Az abszolút hőmérsékleti maximumok megjelenésének időpontjában a barlang levegője a nyári félév átlagához viszonyítottan is igen meleg.

2. A külső időjárási helyzetre jellemző, hogy a maximum értékek kialakulását megelőzően tartósan meleg a levegő. Ez azt jelenti, hogy a hőmérséklet napi maximuma tartósan legalább 20 °C fölött volt. A barlangi levegő erős felmelegedését nagyobb valószínűséggel váltja ki a meleg, páradús légtömegek tartós uralma. (A makroszinoptikus helyzetek változók voltak: egyaránt előfordultak magas nyomású képződmények leszálló légáramlással és nyugatról kelet felé áramló nedves óceáni légtömegek.)

Egy esetben nem találtam összefüggést a barlangban mért hőmérsékleti maximum és a külső időjárási viszonyok között, ilyenkor az ok valószínűleg antropogén eredetű hő lehetett, amelyet a méréseknél – idegenforgalmi célokat is szolgáló barlangról lévén szó – rendkívül nehéz kiszűrni.

A nyári időszak léghőmérsékleti viszonyaiban az a törvényszerű, hogy *az egész barlangban* – a bejáratot nem számítva – *igen kis hőmérsékleti változások mutatkoznak.*

Az átmeneti időszak léghőmérsékleti viszonyai

Az Abaligeti-barlang esetében az átmeneti időszakhoz április és október hónapokat számítjuk.

1. *Áprilisban* a felszíni levegő hőmérséklete mintegy 5 °C-szal nő (BACSÓ N. 1959), és a barlang bejárata előtt már 9,4 °C a havi átlag. Az egész barlang légtérére a fel-

melegedés jellemző. A léghőmérséklet havi középértékei mind 10 cm, mind 150 cm magasságban az évi átlag fölé emelkednek.

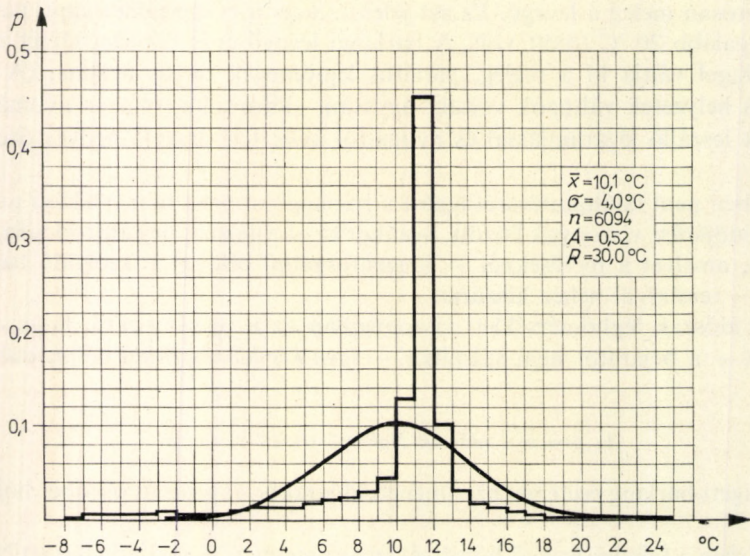
A felmelegedés folyamata a barlang hossz-szelvényében differenciált képet nyújt. Az első 200 cm-es szakaszon az egész felmelegedés tartamát figyelembe véve – februártól szeptemberig – a legerőteljesebb léghőmérséklet-növekedéssel áprilisban találkozunk. A barlang legbelsőbb szakaszában ugyanakkor áprilisban még alig emelkedik a hőmérséklet. Ebben a folyamatban véleményem szerint a barlang belső hőenergiájának van döntő szerepe.

2. *Októberben* ugyancsak a hőkiegyenlítődés érvényesül enyhe lehűléssel párosulva. A felszínre az erős lehűlések jellemzők, a napi középhőmérséklet csökkenése a hónap folyamán meghaladja a 6°C -t is, mert a szeptember végi $13-15^{\circ}\text{C}$ -os értékek október végéig $7-9^{\circ}\text{C}$ -ra süllyednek. Egyre gyakrabban változik a légáramlás iránya – amely arra utal, hogy a felszíni légkörből eredő nagy energia-bevételek időszakának (májustól szeptemberig) vége van –, a barlang és a felszín között nincs lényeges energiacsere, illetve a lehűlés kezdetével inkább a barlang mint a felszín ad le hőenergiát. A léghőmérséklet csökkenése azonban az egész barlang hossz tengelye mentén csekély, majd csak novembertől válik erőteljesebbé.

Az Abaligeti-barlang egyes pontjainak hőmérsékleti értékei ebben az átmeneti időszakban valamivel magasabbak mint az évi átlagok.

1.2.4. A HŐMÉRSÉKLET VALÓSZÍNŰSÉGI SŰRŰSÉGÜGGVÉNYEI AZ ABALIGETI-CSEPPKŐBARLANGBAN

A mérések alapján a barlang átlaghőmérséklete $10,1^{\circ}\text{C}$ -nak adódott. A hőmérsékleti populáció alapján megszerkesztettük az empirikus valószínűségi sűrűségfüggvényt (10. ábra).



10 ábra. Az Abaligeti-barlang léghőmérsékletének sűrűségfüggvénye

A szórás értéke a teljes adatsokaságnál $\sigma = 4,0^\circ\text{C}$. A sűrűségfüggvény azt bizonyítja, hogy a szélsőségesen alacsony ($5,9^\circ\text{C}$ alatt) és a magas értékek (pl. $13,0^\circ\text{C}$ felett) igen kis valószínűséggel fordulnak elő. A megszerkesztett elméleti Gauss-görbe nem illeszkedik jól a tapasztalati sűrűségfüggvényhez. Továbbá a tapasztalati sűrűségfüggvény az x^2 próba alapján szignifikánsan eltér a normális eloszlás sűrűségfüggvényétől ($p < 0,05$).

A számítás útján előállított átlag ($10,1^\circ\text{C}$) és a tapasztalati sűrűségfüggvény által meghatározott várható érték közötti eltérés meghaladja az 1°C -t. Ez azt jelenti, hogy hőmérsékleti adathalmaz torzult eloszlású. Az aszimmetria foka $0,52$.

Célszerűnek látszott tehát az esetünkben fennálló keverék-eloszlású függvényt további összetevőkre bontani. Erre utal grafikus eljárással végzett normalitásvizsgálatunk is, amelyhez Gauss-féle hálót használtuk fel. A barlang összes hőmérsékleti adatainak statisztikai elrendeződése és a valószínűségi értékek alapján felrajzolt pontok egy hozzájuk illesztett egyenestől jelentősen eltérnek. A Gauss-féle normalitás-vizsgálat eredménye olyan tisztán felismerhető részhalmazokra utal, melyek már jó közelítéssel követik a normál eloszlás szabályait, és amely részhalmazok a barlang eltérő hőmérsékleti térségeit egymástól elhatárolhatóvá teszik.

Első lépésként a teljes populációt két részre bontottuk a barlang belsejében és a barlang bejárati szakaszában mért hőmérsékleti értékek alapján.

Jól felismerhető, hogy a barlang belsejéből származó részhalmaz közelít a normális eloszlás törvényszerűségeihez, ugyanakkor a barlang bejárati szakaszából származó megfigyelési adatok továbbra is keverék eloszlásra utalnak. Miután a barlangokat klimatológiai karakterük alapján két fő részre oszthatjuk: az éghajlati elemek erőteljesebb változását tükröző bejárati térségre és a kiegyenlített klímájú belső térségre, a bejárati szakaszt nem célszerű további kis légterekre bontani. Ez utóbbiban a kis terek levegőjének fizikai állapota egymástól ugyan léteyegesen elüthet, az ott lejátszódó meteorológiai folyamatokra azonban egyformán a bejárati szakaszokra jellemző általános törvényszerűségek érvényesek. E megfontolások alapján a bejárati térség hőmérsékleti adathalmazát nem a tér, hanem az idő függvényében bontottam további összetevőkre.

Télen az egész bejárati zóna igen erőteljesen lehül, az átlag hőmérséklet $\bar{x}_t = 4,1^\circ\text{C}$, a szórás értéke még mindig magas $\sigma_b = 5,2^\circ\text{C}$. A leggyakrabban előforduló értékek azonban $6-9^\circ\text{C}$ között találhatók. A jelenségnek az a magyarázata, hogy a barlang télen vízszintesen befelé és függőlegesen felfelé mindinkább melegebb.

Nyáron a hőmérséklet átlaga a bejárati zónában $12,5^\circ\text{C}$ ($n = 1208$). Ennek az az oka, hogy a barlang nyílásának környéke és különösen a magas kürtők részben felszíni eredetű hőenergia révén (légáramlás útján), részben pedig a felszabaduló antropogén eredetű hőenergia eredményeként erősen felmelegsznek (a kb. 50 000 turistának mintegy 95%-a május és szeptember között látogatja a barlangot). A szélsőségek azonban korántsem olyan erősek mint télen. Az előforduló legalacsonyabb és legmagasabb hőmérséklet közötti különbség $R = 14,0^\circ\text{C}$, a szórás értéke pedig több mint felére csökkent a téli viszonyokhoz képest ($\sigma_b = 2,5^\circ\text{C}$). A $9-13^\circ\text{C}$ -os léghőmérsékleti értékek a jellemzőek, több mint 60%-os valószínűséggel. A tapasztalati megfigyelések azt mutatják, hogy ebben a térségben nyáron a 11°C körüli értékek a legjellemzőbbek. A megállapítást az egész barlangban a havi átlagok tendenciája is alátámasztja.

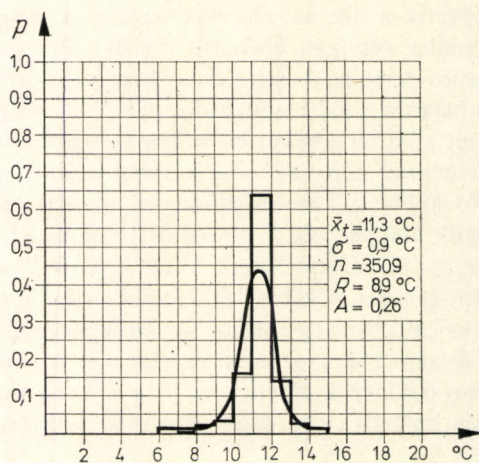
Az átmeneti időszak a bejárati zónában: az áprilisi és októberi hónapokban kiala-

kuló meteorológiai folyamatokra már utaltunk. Az átlag ekkor közelíti meg a legjobban az egész barlangra jellemző $\bar{x}_t = 10,3^\circ\text{C}$ értéket ($n = 218$). Az április és október hónapokban legkisebb a két hőmérsékleti szélső érték közötti különbség: $R = 9,0^\circ\text{C}$. A barlangok bejárati zónáiban igen kicsi a szórás értéke: $\sigma_b = 1,9^\circ\text{C}$. Mindebből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az abaligeti és más hasonló klímájú barlangok esetében áprilisban és októberben a felszíni levegőtömegek és a barlang között az energiaforgalomban az egyensúlyhoz közeli állapot áll elő.

A barlang belsejére jellemző valószínűségi sűrűségfüggvény elemzése

A humánbioklimatológiai célra felhasznált légtérben a hőmérséklet legszélsőbb ingadozása egy évtized alatt $6,5^\circ\text{C}$ alatt marad (l. a II. táblázatot).

A valószínűségi sűrűségfüggvény (11. ábra) paraméterei a következők: $\bar{x}_t = 11,3^\circ\text{C}$; $\sigma = 0,9^\circ\text{C}$ és $R = 8,9^\circ\text{C}$. A tapasztalati hisztogramról leolvashatjuk, hogy a bar-



11. ábra. A léghőmérséklet sűrűségfüggvénye az Abaligeti-barlang belsejéből

lang belsejében a mért hőmérsékleti értékek 94%-os valószínűséggel $10 - 13^\circ\text{C}$ közé kerülnek. A $9,9^\circ\text{C}$ -on aluli értékek mindössze 5%-os valószínűséggel fordulnak elő. Ezek a télen és a barlang alsó légtérében beáramló hidegebb légtömegek hűtő hatására alakulnak ki. A magas hőmérsékleti értékek ($13,0^\circ\text{C}$ felett) a barlang belsejében még kisebb, nem egészen 1%-os valószínűséggel fordulnak elő. Ez utóbbiak forrásai a külszínről származó nyári meleg légtömegek. Ennek következtében a 13°C fölötti értékek elsősorban a felsőbb légtérben, az ún. mennyezeti alakulatokban – mint pl. a kürtők – jellemzők és csak nyáron.

A függvény alapján határozottan mutatkozik a hőmérsékleti értékeknek $10 - 13^\circ\text{C}$ (különösen $11 - 12^\circ\text{C}$) közötti erőteljes sűrűsödése.

Az eseteknek közel 2/3 része (64%-os valószínűséggel) $11 - 12^\circ\text{C}$ között található, így ez a kategória döntően befolyásolja a belső légtér hőmérsékleteloszlását.

A barlang belsejében a hőmérséklet sűrűségfüggvénye a belső légtér határozott kiegyenlítetttségére utal.

2. A KOMFORTÉRZETET KELTŐ BARLANGOK HŐMÉRSÉKLETI VISZONYAI

Korábban arról beszéltünk, hogy a barlangok hőmérsékletét jelentősen befolyásolja a felszíni hőmérséklet. Ugyanakkor tapasztalati tény, hogy a levegő hőmérséklete sok barlangban lényegesen eltér attól a várt értéktől, amelyet az adott hely természeti viszonyai – különös tekintettel a felszín éghajlatára – meghatároznak. Ilyen eltérést mutat a Tapolcai-barlangrendszer is.

A természeti viszonyok leírásánál utaltunk arra a különbségre, amely Tapolcán a két barlangrész klímájában megmutatkozik, így a hőmérséklet kérdéskörét is külön-külön tárgyaljuk.

2.1. A TAVASBARLANG HŐMÉRSÉKLETE

Az 1970–1973-ban végzett megfigyelések tapasztalati értékei alapján a barlang év középhőmérséklete 18,0 °C, a hozzá tartozó szórásérték: $\sigma = 1,96$ °C. Ez az adat magában foglalja a hőmérsékletnek a barlang valamennyi pontján, a vizsgálati évek

IV. TÁBLÁZAT

A léghőmérséklet középértékei és abszolút szélsőségei (°C)
a Tapolcai-tavasbarlangban 10 és 150 cm magasan (1970–1973)

| Hely | Mérési pont | 10 cm magasan | | | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|---------|---------|-----------|
| | | Tél (XII–I–II) | Tavaszi (III–IV–V) | Nyár (VI–VII–VIII) | Ősz (IX–X–XI) | Maximum | Minimum | Évi átlag |
| Lóczy-terem | 1* | 13,2 | 15,4 | 18,3 | 17,1 | 19,6 | 12,3 | 16,0 |
| Batsányi-terem | 2* | 15,1 | 17,0 | 18,3 | 17,5 | 19,0 | 14,8 | 17,0 |
| Legbelső terem | 3* | 16,3 | 17,5 | 18,6 | 17,8 | 19,5 | 16,0 | 17,6 |
| Csónak kikötő | 4* | 15,1 | 17,2 | 18,9 | 17,6 | 19,6 | 14,3 | 17,2 |
| Patak felett a kútnál | 5* | 18,3 | 18,9 | 19,2 | 18,7 | 19,6 | 18,3 | 18,8 |
| Patak felett | 6* | 18,7 | 19,1 | 19,1 | 18,8 | 19,4 | 18,6 | 18,9 |
| Patak felett a kórházi átjárónál | 7* | 18,4 | 18,7 | 18,8 | 18,7 | 19,4 | 18,3 | 18,7 |

| Hely | Mérési pont | 150 cm magasan | | | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|---------|---------|-----------|
| | | Tél (XII–I–II) | Tavaszi (III–IV–V) | Nyár (VI–VII–VIII) | Ősz (IX–X–XI) | Maximum | Minimum | Évi átlag |
| Lóczy-terem | 1* | 16,7 | 17,6 | 19,0 | 18,0 | 21,0 | 16,1 | 17,8 |
| Batsányi-terem | 2* | 17,2 | 17,4 | 18,8 | 18,2 | 19,5 | 16,5 | 17,9 |
| Legbelső terem | 3* | 17,6 | 17,9 | 19,1 | 18,5 | 19,9 | 17,3 | 18,3 |
| Csónak kikötő | 4* | 17,2 | 17,9 | 19,9 | 18,4 | 22,0 | 17,0 | 18,4 |
| Patak felett a kútnál | 5* | 18,6 | 19,1 | 19,5 | 18,9 | 20,4 | 18,5 | 19,0 |
| Patak felett | 6* | 19,5 | 19,5 | 19,7 | 19,5 | 19,9 | 19,2 | 19,6 |
| Patak felett a kórházi átjárónál | 7* | 18,7 | 19,0 | 19,2 | 19,0 | 19,9 | 18,5 | 19,0 |

* A mérési pontok térbeli elhelyezését lásd a Tapolcai-tavasbarlang térképvázlatán.

A havi és évi középhőmérsékleti értékek alakulása a Tapolcai-tavasbarlangban és

| | I. | II. | III. | IV. | V. | VI. |
|---|------|------|------|------|------|------|
| A levegő középhőmérséklete a barlangban 10 cm-en mért értékek alapján | 16,3 | 16,1 | 17,3 | 17,8 | 18,0 | 18,2 |
| A barlangi patak vízének hőmérséklete | 18,8 | 18,7 | 19,0 | 19,1 | 19,0 | 18,9 |
| A barlang talajának hőmérséklete (a száraz barlangrész legbelsőbb termében) | 16,5 | 16,4 | 16,7 | 17,2 | 17,3 | 17,5 |
| A felszíni klímaállomás hőmérsékleti adata | -1,4 | 0,6 | 5,4 | 10,1 | 15,1 | 18,4 |

minden hónapjában végzett megfigyelését ($n = 826$). Mérési sorozatunk alapján meghatároztuk a léghőmérséklet várható átlagát is, amely a 99,9%-os megbízhatósági szint mellett a következőnek adódott:

$$\bar{x}_t = 10,0 \pm 0,2 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

A barlang hőmérsékletét az évi átlag mellett annak időbeli és térbeli változásaival jellemezzük (*IV. táblázat*), a változás okozati viszonyait pedig összefüggésbe hozzuk a szabad légkör és a barlang belső energiaviszonyaival (*V. táblázat*).

A tavasbarlang léghőmérsékletének alakításában az alábbi tényezők játszanak fontos szerepet:

- a barlang jelentős részén keresztüláramló patak vize,
- a barlang kőzetének hatása,
- a külszíni légtömegek energiaviszonyai.

Nem tekinthetünk el attól az antropogén eredetű hőösszegetől sem, amely az idegenforgalom következtében negyedik tényezője a barlang hőgazdálkodásának.

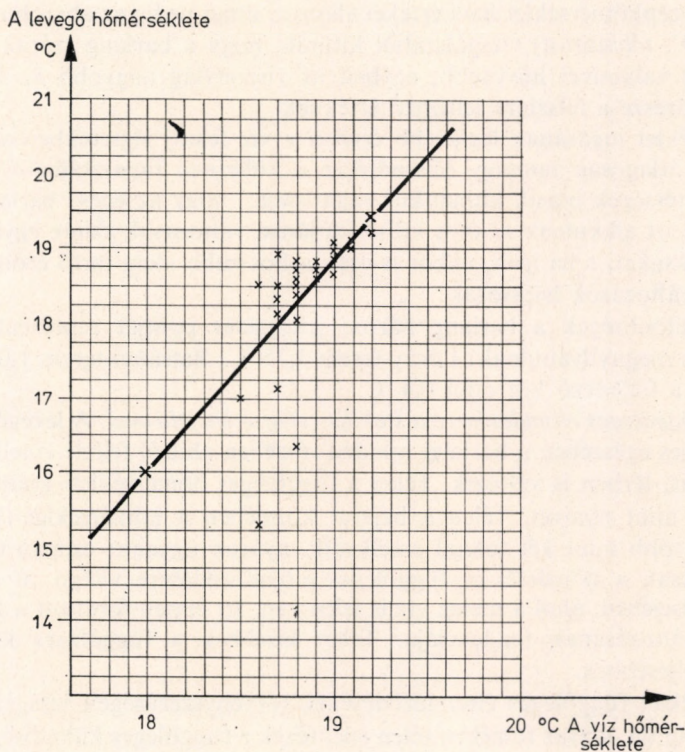
A fő energiaforrás jelen esetben a barlang patakjának meleg vize, amely az alsó légréteg hőmérsékleténél – augusztust kivéve – mindig melegebb (a turistaforgalom csúcsa augusztusban van, a leadott biológiai hő ekkor a barlang teljes keresztmetszetében érvényesül), tehát természetes állapotban a hőátadás a barlang meleg vizéből a levegő irányában történik. A víz és a levegő hőmérséklete közötti összefüggés még egyértelműbb lesz, ha nem a barlang egészére vonatkozó léghőmérsékleti adatokat hasonlítjuk össze a víz hőmérsékletével, hanem azon térség légrétegének az adatait, amelyen maga a barlangi patak is végigfolyik, tehát, ahol maga a hőátadás folyamata is lejátszódik. A két változó közötti kapcsolatot mutatja a korrelációs együttható $r = 0,651$ ($n = 45$). A konfidencia-intervallum: $h_1 = 0,4422$ és $h_2 = 0,7928$ ($p = 0,05$). A korrelációs együtthatónak $r = 0$ -tól való különbözősége még $p < 0,001$ -es szinten is szignifikáns. Télen a külső eredetű, hűvösebb levegő keveredik az alsó 10 cm-es légréteggel és a meleg víz hőátadásának hatását rontja. Ezzel magyarázható, hogy az első megközelítésben alkalmazott lineáris regressziónál pontosabb leírást ad a parabolikus regresszió az $y = -1989,6 + 210,05x - 5,49x^2$ egyenlettel a 15,3–19,0 °C közötti hőmérsékleti intervallumban (*12. ábra*). A vizsgálati anyagok-

a felszíni klímaállomáson (°C-ban)

| VII. | VIII. | IX. | X. | XI. | XII. | Évi közép | Ingás |
|------|-------|------|------|------|------|-----------|-------|
| 18,4 | 19,3 | 18,5 | 18,2 | 17,4 | 16,9 | 17,7 | 3,2 |
| 19,0 | 19,0 | 18,8 | 18,9 | 18,9 | 18,9 | 18,9 | 0,3 |
| 17,8 | 17,9 | 17,4 | 17,2 | 16,8 | 16,6 | 17,1 | 1,5 |
| 20,3 | 19,7 | 15,9 | 10,2 | 5,1 | 0,8 | 10,0 | 21,7 |

ból az is kitűnik, hogy a felszíni éghajlati viszonyok hatása egyértelműen visszatükröződik a barlang léghőmérsékletének évi menetében (l. az V. táblázatot).

A felszíni hatás váltja ki a barlangban a lehülési folyamatokat, de a fellelegedésre s kihat – mégpedig mérséklően – egészen május végéig.



12. ábra. A Tapolcai-tavasbarlang patakvizének és a barlang levegőjének hőmérséklete közötti összefüggés

Télen a külső hideg levegő – a nagyobb nyílások mesterséges elzárása ellenére – lassan mégis behatol a barlangba és ott legfőbbképpen a barlang első, nagyobb, természetes üregében jelentősen lehűti a levegőt (12–14 °C-ig). Itt ez a félig már barlangivá transzformálódott levegő alig néhány méter után a keveredés következtében jelentősen felmelegszik, és a barlang magasabban fekvő résein keres magának utat vissza a szabadba. Ez a folyamat nyáron is érvényesül, amikor a felszín hőmérséklete alacsonyabb mint a barlangé.

Nagy felmelegedések idején – amikor a felszíni légtömegek hőmérséklete 22 °C fölé emelkedik, a barlang levegője alig cserélődik a felszíni levegővel. Ehhez járul a korábban már említett – idegenforgalom által előidézett – hőtorlódás. Ilyenkor a levegő hőmérséklete 24 °C fölé is emelkedhet. A párával csaknem telített levegő bioklimatológiai szempontból trópusi terhelést jelent a látogatókra, melyet csak súlyosbít az a tény, hogy ekkor a levegő-higiéniai viszonyok is rendkívül leromlanak. Ezt a rossz klimatikus helyzetet némiképpen enyhíti a kórház alatti barlangból áramló hűvös (kb. 12 °C-os), friss levegő, amely mennyiségileg azonban kevés ahhoz, hogy a fenti jelenség bekövetkezését megakadályozza.

Tapasztalatok szerint mintegy 12 óra elegendő (éjszakai fél nap) a barlang természetes hőviszonyainak visszaállítására.

2.1.1. A LÉGHŐMÉRSÉKLET TÉRBELI ELOSZLÁSA A TAVASBARLANGBAN

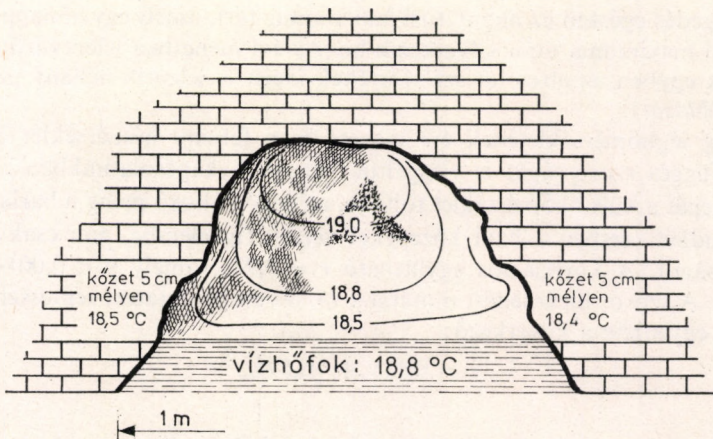
Mind a középhőmérséklet havi értékei alapján, mind pedig az abszolút szélsőségek (I. a IV. és V. táblázatot) vizsgálatából kitűnik, hogy a barlang száraz része (1–3 mérési pont) valamivel hűvösebb, egyben itt viszonylag nagyobb az évi ingás is, mintegy tízdrésze a felszínre jellemző értéknek.

A hőmérséklet ingásának legkisebb értékei a víz feletti légterekben alakulnak ki. Itt az ingás átlagosan mintegy huszadrésze a külszínen tapasztalható értékeknek. E víz feletti térségek másik klimatikus sajátossága, hogy az egész barlang legmelegebb térségei itt alakulnak ki és a külső időjárási változások szinte egyáltalán nem éreztetik hatásukat, s ha igen, akkor is csak a hosszabb ideig tartó erőteljes felszíni hőmérsékletváltozások hatásosak.

Ezek a különbségek a barlang három jellegzetes pontját reprezentáló szórásértékekben is megnyilvánulnak: Lóczy-terem 1,75 °C, Batsányi-terem 1,08 °C, Patak feletti terem a felfedező kút után 0,4 °C.

A levegő függőleges elrendezésére a stabilis rétegződés jellemző. A levegő hőmérséklete az év teljes egészében a barlang minden részében alulról felfelé emelkedik. Mértéke időben is, térben is változik. Télen a függőleges hőmérsékleti gradiensértékek magasabbak mint nyáron. Télen a bejárat közelében a hőmérséklet függőlegesen méterenként több mint két fokkal emelkedik, nyáron ugyanitt csupán 0,2–0,3 °C-szal. Ugyancsak a hőmérséklet függőleges elrendezésére világít rá a 13. ábra, a barlang belsejében, ahol a meleg víz is jelen van. Itt éppen fordított a hőmérséklet függőleges változásának tendenciája. Télen kisebbek a függőleges különbségek, nyáron erőteljesebbek.

A hőmérséklet függőleges elrendezésének törvényszerűségeit vizsgálva kitűnik, hogy a barlang ún. száraz részében télen jelentősek a függőleges különbségek, nyáron viszont a függőleges változás a barlangnak csupán egyetlen pontján haladja meg az 1 °C/1 m-es értéket.



13. ábra. A léghőmérséklet keresztmetszet szerinti elrendeződése a Tapolcai-tavasbarlangban az aktív vízfolyásos szakaszában télen, 1971. II. 24.

2.1.2. A LÉGHŐMÉRSÉKLET IDŐBELI VÁLTOZÁSAI

A Tavasbarlangban végbemenő, folyamatosan érvényesülő anyag- és energia-áramlások az ember számára legérzékenyebben a hőmérséklet állapotát változtatják meg rövid időszakokban is. E változások rövid periódusai azonban műszeresen alig mutathatók ki, az ún. hűvös karsztbarlangokéhoz hasonlóan.

A barlang hőmérsékletének – természetes állapotban – kicsiny változásai vannak. Télen a változás a bejárat közelében elérheti a $0,6-0,8\text{ °C}$ -t, ez azonban több napon át tartó folyamatos lehűlés, ill. felmelegedés részeként csillapítva sem mutatja a felszíni léghőmérsékletre jellemző napi menetet.

A természetes nyári változásokat még nehezebb feltárni. A léghőmérséklet napi változásában kirajzolódó, szabályosan ismétlődő kiugrásokat találunk, ez azonban jórészt a már tárgyalt, idegenforgalom által előidézett, antropogén eredetű hőtöbblet következménye, mert a naponként jelentkező kiugrások jól mutatják a napi idegenforgalmat; a nyári időszakban 500 és 3000 fő között változik.

A léghőmérséklet évi menete

A levegő hőmérsékletének változása a barlang egészében – nem csupán vízszintes tagoltságában, de függőlegesen is – szabályos évi menetet mutat. Figyelemmel kísérhetjük ezt a barlang jellemző pontjainak havi és évszakos középhőmérsékletei alapján.

Az évi menetre jellemző, hogy a barlang léghőmérsékleti havi középértékei a felszíni változásokat követik szabályos, kb. egy hónapos fáziskéséssel. A januári felszíni minimumot a barlangban februári minimumok jelzik. Az abszolút minimumok kialakulása is februárra esik legtöbb esetben (l. a IV. táblázatot). A késésnek az az oka, hogy a külszíni hideg levegő a barlangot fokozatosan hűti le és ez a lehűlés februárban is igen erőteljes, akkor még a belső energiaszállítások ezt nem tudják ellensúlyozni.

A felmelegedés egészen az augusztusi maximumig tart, amely egy hónappal a felszín hőmérsékleti maximuma után következik be. Az évi menetben jelentkező augusztusi maximumok egyben az abszolút szélsőértékek idejét is jelentik néhány pont kivételével (VI. táblázat).

A barlang léghőmérsékletének évi menete és a felszíni hőmérséklet évi menete közti összefüggés szorosságát is vizsgáltuk. Függvénykapcsolatunkban a független változó szerepét a külső hőmérséklet tölti be, a függő változó pedig a barlang hőmérséklete. Mindkét esetben a havi közepeket vettük figyelembe, ami csak fokozza a megbízhatóságot. A korrelációs együttható $r = 0,923$, amely $p < 0,001$ -es szinten szignifikáns. A szoros illeszkedést mutatja a 14. ábrán bemutatott regressziós egyenes is, melynek egyenlete a következő:

$$y = 0,11x + 16,595.$$

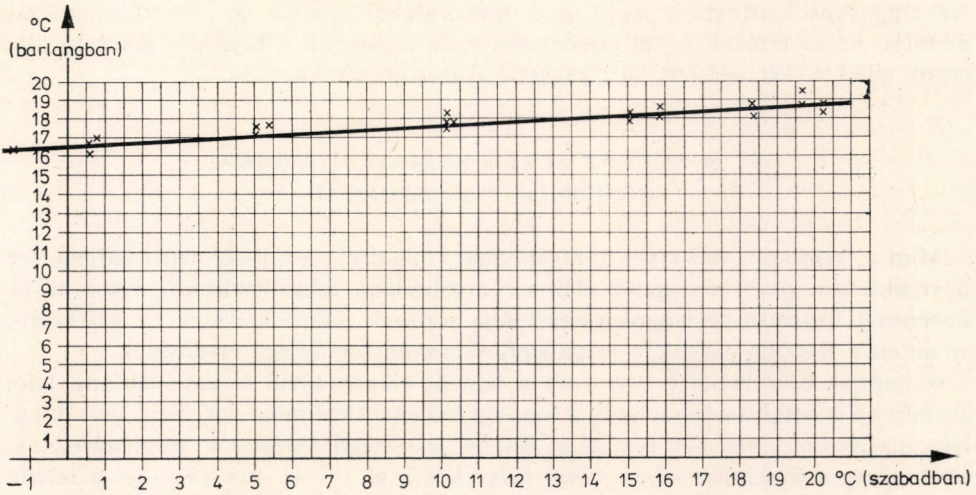
*A hőmérséklet valószínűségi sűrűségfüggvénye
a Tapolcai-tavasbarlangban*

A barlangban végzett megfigyeléseim alapján megszerkesztettem a hőmérséklet empirikus valószínűségi sűrűségfüggvényét (15. ábra) a hozzájuk tartozó elméleti görbékkel együtt.

VI. TÁBLÁZAT

A léghőmérséklet középértékei (°C) a Kórház alatti barlangrészen (Tapolca)
10 és 150 cm magasan (1971–1973)

| Hely | 10 cm | | | | |
|---|-------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------|
| | Tél (XII-I-II) | Tavaszi (III-IV-V) | Nyár (VI-VII-VIII) | Ősz (IX-X-XI) | Évi átlag |
| Előcsarnok | 10,8 | 11,6 | 11,9 | 11,7 | 11,5 |
| I. sz. gyógyterem (Nagy-terem) | 11,0 | 12,0 | 12,6 | 11,9 | 11,9 |
| II. sz. gyógyterem (Kis-terem) | 11,1 | 11,9 | 12,3 | 11,8 | 11,8 |
| Felszíni klímaállomás hőmérsékleti adat- sora | — | — | — | — | — |
| Hely | 150 cm | | | | |
| | Tél (XII-I-II) | Tavaszi (III-IV-V) | Nyár (VI-VII-VIII) | Ősz (IX-X-XI) | Évi átlag |
| Előcsarnok | 11,1 | 11,9 | 12,2 | 11,9 | 11,8 |
| I. sz. gyógyterem (Nagy-terem) | 11,4 | 12,2 | 12,7 | 12,0 | 12,1 |
| II. sz. gyógyterem (Kis-terem) | 11,4 | 12,1 | 12,5 | 12,0 | 12,0 |
| Felszíni klímaállomás hőmérsékleti adat- sora | 0,0 | 10,2 | 19,5 | 10,4 | 10,0 |



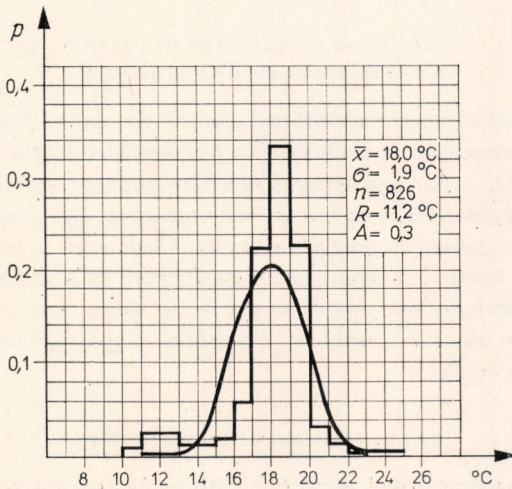
14. ábra. A felszíni hőmérséklet hatása a Tapolcai-tavasbarlang léghőmérsékletének évi menetére

A függvény paraméterei a következők:

$$\bar{x} = 18,0 \text{ } ^\circ\text{C}; \sigma = 1,9 \text{ } ^\circ\text{C}; n = 826.$$

A függvényből kitűnik, hogy az egész barlangra 85%-os valószínűséggel a $16 \text{ } ^\circ\text{C}$ feletti hőmérsékleti értékek a jellemzők, ami 90% feletti relatív nedvesség mellett az ember számára meleg közérzetet biztosít. A függvénykapcsolat ugyancsak rávilágít a barlang egészségének kiegyenlített voltára, amit bizonyít, hogy az egész barlangra jellemző hőmérsékleti értékek 75%-os bizonyossággal $17 \text{ és } 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ közé kerülnek.

A barlang hőmérsékletének tapasztalati valószínűségi sűrűségfüggvénye az χ^2 próba alapján szignifikánsan eltér a normális eloszlás sűrűségfüggvényétől ($p < 0,05$).



15. ábra. A Tapolcai-tavasbarlang léghőmérsékletének sűrűségfüggvénye

Az empirikus hisztogram maga is a hőmérsékleti adatok ún. keverékeloszlását mutatja, ha az értékek közül tapasztalati úton kihagyjuk a bejáratra jellemző alacsony télieket, két egészen jól illeszkedő Gauss-görbét kapunk.

2.2. A KÓRHÁZ ALATTI BARLANG (TAPOLCA) HŐMÉRSÉKLETI VISZONYAI

Mint a természeti viszonyok tárgyalásánál említettük, a kórház alatti barlangrész hűvösebb klímájával lényegesen eltér a Tavasbarlang hőmérsékletétől. Így a hűvös közérzetet biztosító barlangok csoportjába soroljuk, hőmérsékletére az Abaligeti-, valamint a Baradla-barlangra megállapított törvényszerűségek érvényesek.

A barlang hőmérsékleti viszonyait a felszíni klímán kívül a Tavasbarlang felől áramló hő is befolyásolja, miután a barlang hőmérséklete mind évi, mind havi átlagban magasabb, mint azt a pusztai felszíni természeti viszonyok meghatároznák. (A barlang a felszínhez olyan közel helyezkedik el – kb. 10–15 m-rel a felszín alatt –, hogy természetes körülmények között a Föld belsejének energiája nem okozna pozitív anomáliát.)

A fenti összefüggésekre rávilágít a VI. táblázat adatsora, amelynek alapján összevethetjük a barlanghőmérséklet alakulását – barlangi gyógytermekből számítva – a felszínre jellemző értékekkel.

A barlang középhőmérséklete $12,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. A hozzátartozó szórás érték $\sigma = 0,55\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Miután gyógybarlangról van szó, meghatároztuk a hőmérséklet várható középértékét is, amely 99,9%-os valószínűségi szinten:

$$\mu = 12,1 \pm 0,1\text{ }(^{\circ}\text{C}).$$

A teljes populáció szórás értéke $\sigma = 0,55\text{ }^{\circ}\text{C}$, valamennyi vizsgált barlang teljes adathalmazával összevetve, a legalacsonyabb, ami ugyancsak a barlang klímaki egyenlítetttségére utal. Ezt megerősíti az évi ingás alacsony értéke: a gyógytermekben természetes viszonyok között mintegy huszadrésze a felszíni értékeknek.

2.2.1. A LÉGHŐMÉRSÉKLET TÉRBELI ELOSZLÁSA A KÓRHÁZBARLANGBAN (TAPOLCA)

A barlang hőmérséklete nemcsak időben, de térben sem változik számottevő mértékben. Ebben a rendszerben is érvényesül a hőmérsékleteloszlás általános barlangi törvényszerűsége, azaz a barlang levegőjének rétegzettsége stabilis. Egy másik sajátosság, hogy a térbeli eloszlásnak is van időbeli változása, ami a hőmérséklet függélyes változásainak évi menetében is megmutatkozik. Télen ezek a különbségek markánsabbak, a hűvösebb levegő a barlang zártsága ellenére az alsó légrétegekben érzeteti hatását. A nyári félévben, márciustól novemberig különösen az ún. fektető vagy gyógytermekben igen alacsony, mintegy 2 méteres magasságkülönbség esetén átlag $0,1$ és $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ közötti érték.

2.2.2. A HŐMÉRSÉKLET ÉVI MENETE

A Kórház alatti barlang rövid idejű (periodikus és aperiodikus) ingadozásai még jelentéktelenebbek, mint az Abaligeti- és a Baradla-barlang esetében.

A hőmérséklet hosszabb periódusú változásaiban szabályos évi menet ismerhető fel. Az évi menetre jellemző sajátosság, hogy *erősen csillapított értékekkel, de késés nélkül követi a felszín hőmérsékleti változásait*. A hőmérsékleti minimum januárban, a maximum pedig júliusban jelentkezik a barlangban és a felszínen egyaránt.

A havi értékeket vizsgálva még két szomszédos hónap között is feltűnően kis-mértékűek a változások, ami a felmelegedés és lehűlés folytonos, de igen lassú menetét igazolja.

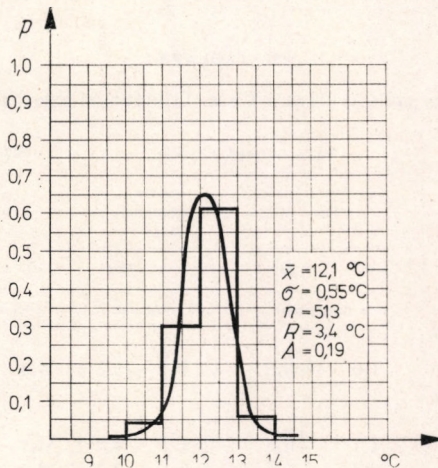
Ezek alapján levonhatjuk azt a következtetést, hogy *a Kórház alatti barlangban a hőmérsékletváltozás, mint ingertényező hiányzik a bioklimatológiai jellemző közül*.

2.2.3. A LÉGHŐMÉRSÉKLET EMPIRIKUS VALÓSZÍNŰSÉGI SŰRŰSÉGFÜGGVÉNYE A KÓRHÁZBARLANGBAN (TAPOLCA)

A Kórház alatti gyógybarlangban végzett hőmérsékleti megfigyelések részletes elemzését segíti a barlangra jellemző valószínűségi sűrűségfüggvény (16. ábra). A függvények paraméterei a következők:

$$\bar{x} = 12,1; \sigma = 0,55 \text{ } ^\circ\text{C}; n = 513.$$

Az χ^2 próba alapján szignifikánsan eltér a normális eloszlás sűrűségfüggvényétől ($p < 0,05$).



16. ábra. A léghőmérséklet sűrűségfüggvénye a Kórházbarlangból (Tapolca)

A függvény mutatja, hogy a 10,0–10,9 °C-os intervallumba eső hőmérsékleti értékek előfordulási valószínűsége csupán 3,5%, ezzel szemben 10,0–12,9 °C közé az esetek 95,5%-a kerül, amely a kórházbarlang hőmérsékleti kiegyenlítetttségét jellemzi.

3. A HIDEGÉRZETET KELTŐ BARLANGOK HŐMÉRSÉKLETI VISZONYAI

E típusba tartozó barlangok átlagos középhőmérséklete 0 °C alatt van. Egész évben, vagy az év részében jég található bennük, ezért jegesbarlangoknak is nevezik. Léghőmérsékletük a külső időjárástól függően – eltérve más barlang-

típusoktól – igen sajátos módon változik. Különösen érvényes ez az egynyílású ún. sztatikus üregekre, ahol az időjárás hatása a téli és nyári félévnek megfelelően lényegesen eltérő. Míg télen a külső időjárás változása a barlangban olyan erőteljesen érvényesül, hogy az a barlang bármely pontján kimutatható, és a napi menet is jól megrajzolható, addig nyáron, még hosszabb időszak alatt is csak igen kis változásokkal számolhatunk.

A léghőmérséklet alakulását részletesen a Telkibányai- és Dobsinai-jegesbarlangok példáin elemezzük.

3.1. A TELKIBÁNYAI-JEGESBARLANG LÉGHŐMÉRSÉKLETI VISZONYAI

Mint arra a természeti viszonyok tárgyalásánál utaltunk, ez a barlang ma már nem tipikus jegesbarlang. Ún. „hidegszak” jellegét mesterséges beavatkozás következtében elveszítette. A morfológiai változtatás a hőmérsékleti viszonyok alakulásában is megmutatkozik.

A Telkibányai-barlangban megkülönböztetünk egy jeges és egy jégmentes időszakot.

A barlang hőmérsékletére vonatkozó megfigyelések néhány értékét a VII. táblázatban közöljük.

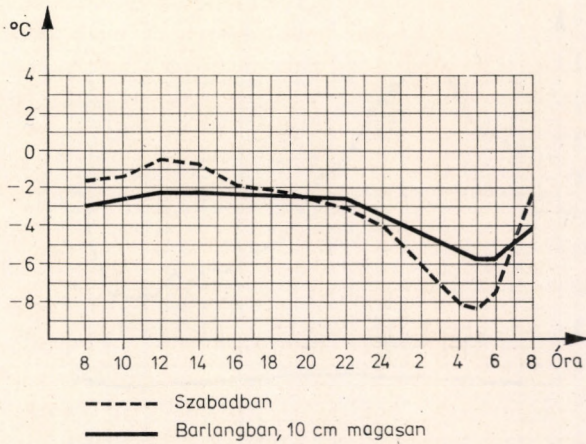
VII. TÁBLÁZAT

Hőmérsékleti átlag- és szélsőértékek (°C) a Telkibányai-jegesbarlangban (1969–1971)

| Hely | Jeges időszak (X–VI) | | | | Jégmentes időszak (VII–XI) | | | |
|---|----------------------|------|------------------------|------|----------------------------|-----|------------------------|-----|
| | átlag | | mért leghidegebb érték | | átlag | | mért legmelegebb érték | |
| | 10 | 150 | 10 | 150 | 10 | 150 | 10 | 150 |
| | cm magasan | | cm magasan | | cm magasan | | cm magasan | |
| Barlang ajtó | –1,0 | –0,6 | –7,3 | –5,1 | 4,4 | 5,8 | 5,5 | 7,2 |
| A bejáratától 7 m-re (a mellékág kiinduló pontjánál) | –1,1 | –0,6 | –6,8 | –4,7 | 4,1 | 5,2 | 5,1 | 6,3 |
| Főág végénél | –0,7 | –0,1 | –5,7 | –3,3 | 4,7 | 5,7 | 5,4 | 6,5 |
| A mellékág belső végénél | –0,9 | –0,3 | –6,3 | –4,1 | 4,5 | 5,6 | 5,2 | 6,6 |

3.1.1. A TÉLI IDŐSZAK HŐMÉRSÉKLETI VISZONYAI

Ez a periódus átlagosan októbertől májusig tart. Októberben enyhe, novemberben rohamos hőmérsékletcsökkenés jellemzi a barlang légterét. Az erőteljes lehűlés következtében decemberben $-1,0\text{ °C}$ alá süllyed a léghőmérséklet, január–februárban pedig a $-3,0$ és $-4,0\text{ °C}$ -os értékek sem ritkák. Nagy hideg esetén pedig gyakran előfordul a barlangban $-5,0\text{ °C}$, esetenként pedig $-6,0\text{ °C}$ alatti értékek is. Télen a hőmérsékletnek határozott napi menete van, amely követi a felszíni változásokat, bár még ez a nagyon kislégterű barlang is jelentősen csillapítja a szabadban tapasztalható hőmérsékleti ingadozásokat (17. ábra).



17. ábra. A léghőmérséklet napi menete a Telkibányai-jegesbarlangban télen (bejáratától 7 m-re), 1970. II. 28–III. 1.

3.1.2. A NYÁRI IDŐSZAK HŐMÉRSÉKLETI JELLEMZŐI

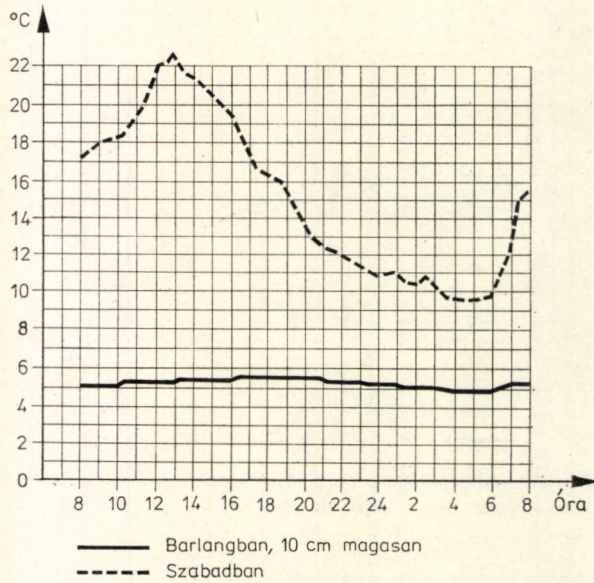
Ezen a júniustól szeptemberig terjedő időszakot értjük, amikor a barlang hőmérséklete jelentősen 0°C fölé emelkedik.

A bejárat első átalakítása előtt (1954) a barlangban egész éven át volt jég – tehát egyértelműen jegesbarlangról beszélhetünk. 1953. VIII. 7-én a bejáratától 5 m-re fent $-1,0^{\circ}\text{C}$ -t, lent $-3,0^{\circ}\text{C}$ -t mértek. Az említett első beavatkozás után ugyanott már csak $0,0^{\circ}\text{C}$ -os léghőmérsékleti értékeket találtak (1957). CHOLNOKY J. júliusban még nagy mennyiségű jeget talált a barlangban: „Nagy meglepetéssel láttam, hogy július 6-án, tehát a kánikula közepén az istoly dúcai jégkéreggel vannak borítva, s a mennyezetről méteres jégcsapok lógnak le, s az istoly fenekén vastag jégburkolat fekszik, s ez olyan sikos, hogy nemigen lehet rajta járni, de különben is a jégcsapok miatt nem lehet belépni . . .” (1934).

1964–1965-ben bővítették a bejáratot. Az átalakítás után a jegesbarlangokra jellemző befelé való lejtés teljesen eltűnt, így a jég a nyári időszakban már nem marad meg. Augusztusban a barlang hőmérséklete mindenhol $+5,0^{\circ}\text{C}$ felett van, míg az utóbb végzett mesterséges beavatkozások előtt KOL E. (1957) vizsgálatai szerint a levegő hőmérséklete augusztusban 1 és 3°C között változott. Bár ma már nyáron a Telkibányai-barlang egyszerű hideg barlang (jégkitöltése nincs), a léghőmérséklet napi menete igen kis ingadozást mutat (18. ábra).

3.1.3. A LEVEGŐ HŐMÉRSÉKLET SZERINTI RÉTEGZŐDÉSE

A levegőnek fajsúly szerinti stabilis rétegződése jellemzi a barlangot. A leghidegebb levegő alul helyezkedik el, és a hőmérséklet a járat hossza mentén a barlang talapzatától felfelé a magassággal nő, de az emelkedés mértéke nem lineárisan változik a magassággal; 0 és 1 m között $0,1$ és $0,2^{\circ}\text{C}$ a növekedés, 1 és 2 m között pedig $0,2$ és $0,5^{\circ}\text{C}$. Az alsó 8 – 10 cm-es levegőréttegben a hőmérsékleti különbségek ugyanakkor jelentéktelenek.



18. ábra. A léghőmérséklet napi menete a Telkibányai-jegesbarlangban nyáron, 1970. VIII. 21–22.

3.2. A DOBSINAI-JEGESBARLANG HŐMÉRSÉKLETI VISZONYAI

A Dobsinai-jegesbarlang hőmérsékleti viszonyairól több mint 100 év óta vannak feljegyzéseink. Alig fedezték fel a barlangot (1870. július 15.), nem egészen egy hónap múlva FEHÉR N. már megkezdte az első hőmérsékleti megfigyeléseket, melyeket 1872-ben közzé is tett. Ezt követően PELLECH E. J. (1884), FISCHER M. (1888) és STEINER L. (1922a, b) végeznek értékes vizsgálatokat a Dobsinai-jegesbarlangban (DÉNES GY. 1970a, 1971).

3.2.1. A HŐMÉRSÉKLET TÉRBELI PROFILJA

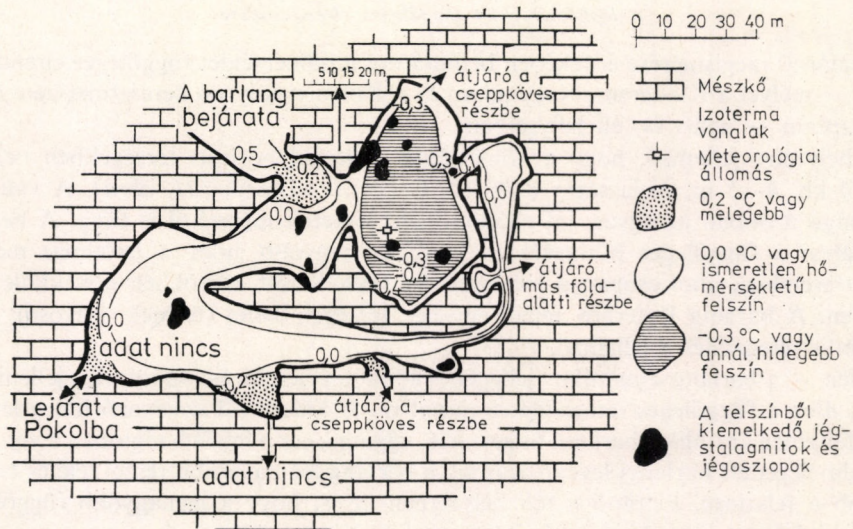
A hőmérséklet vízszintes elrendeződése

A hőmérséklet vízszintes elrendeződésének tárgyalásánál figyelembe kell venni, hogy olyan térbeli rendszerről van szó, amelyben az egyes termek, folyosók megközelítően sincsenek egy magasságban, ezért az ún. belső cirkuláció (amely nem azonos a felszín és barlang közötti légcserével) állandó levegőkeveredést tart fenn. Ez a belső cirkuláció azonban nem akadályozza meg a levegőnek az egyes termekben való fajsúly szerinti rétegződését, így a hőmérsékletnek mind a vízszintes, mind a függőleges elrendeződésében határozott rendszer van.

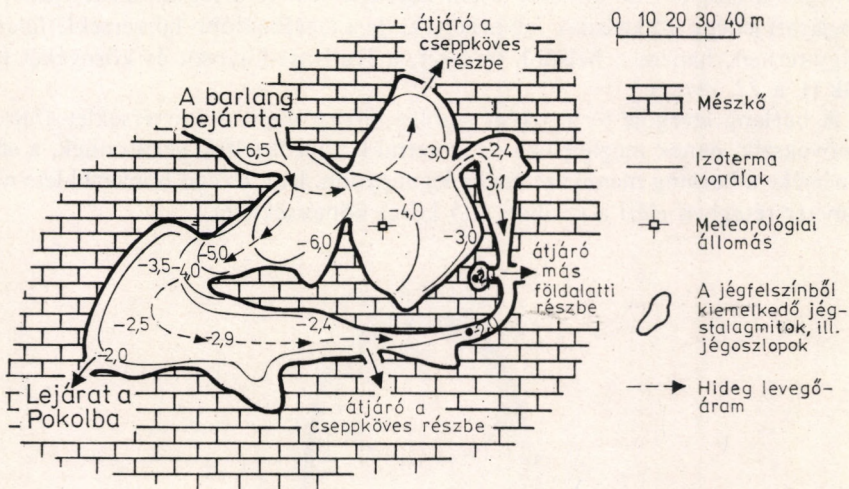
A hőmérséklet vízszintes elrendeződése nyáron és télen eltérő képet ad.

A 19. ábra az augusztusra jellemző állapotot tükrözi. A nyári viszonyok elemzéséhez megadjuk az augusztus havi középértéket (a barlangban elhelyezett hőmérőházban mért adatok alapján): $0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. A megfigyelés idején a léghőmérséklet értéke a hőmérőházban $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -szal magasabb, mint ugyanitt a jég felszínén.

A hőmérséklet vízszintes elrendeződéséből kitűnik, hogy természetes állapotban a Dobsinai-jegesbarlang legnagyobb részét közvetlen a felszín felett a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os izo-



19. ábra. A léghőmérséklet vízszintes eloszlása a Dobsinai-jegesbarlangban nyári helyzetben, a jégfelszín felett 10 cm magasan 1970. VIII. 6.



20. ábra. A léghőmérséklet vízszintes eloszlása a Dobsinai-jegesbarlangban téli helyzetben, a jégfelszín felett 10 cm magasan 1972. I. 26.

termával jellemezhetjük. A 0°C fölé csak a Kis-teremnek a bejáratához közel eső részén emelkedik a hőmérséklet.

Télen a hőmérséklet vízszintes elrendeződésében (20. ábra) tükröződnek a cirkulációs viszonyok és felismerhető a barlangba beáramló hideg levegőtömegek felmelegedési folyamata is. A $-6,5^{\circ}\text{C}$ -os felszíni eredetű hideg levegő alig 50 perc elteltével bejut a jegesbarlang legbelső részébe, ahol már $-2,5^{\circ}\text{C}$; $-2,0^{\circ}\text{C}$ -ra melegszik fel.

Általános megismerése érdekében bemutatom a hőmérséklet függőleges elrendeződését – melyet a Kis-terem, Nagy-terem és a Ruffinyi-folyosó keresztmetszete mentén kaptam – nyári és téli helyzetben.

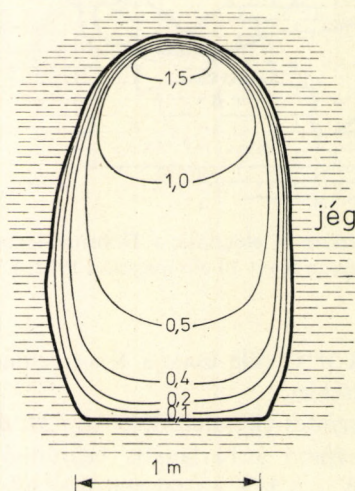
A helyzetre jellemző, hogy a hőmérséklet a jéggel borított térségekben néhány cm-től kb. 4–5 m magasságig 0 és 0,5 °C között változik (21. ábra). A változás nagysága azonban az egyes, jól elkülöníthető légterek méretétől is függ. A bejárat közelében a függőleges hőmérsékleti gradiens nagyobb mint a hatalmas méretű Nagy-teremben, ahol csupán a mennyezetbe beékelődött kürtőkben növekszik meg hirtelen. A barlang légtérére tehát egy-egy térségen belül (termek, folyosók stb.) a stabilis rétegződés a jellemző.

Télen – a barlang dinamikus jellegéből adódóan élesebb különbségek a jellemzők. A 22. ábra a függőleges rétegződésre mutat rá. A külszínről származó hideg levegő a jég felszínén áramlik a barlang belseje felé, ugyanakkor a felsőbb régióban a viszonylag felmelegedett barlangi levegő áramlik a barlang legmagasabb részei felé és onnan tovább a felszínre. Feltűnő a téli helyzetben az is, hogy a legnagyobb függőleges hőmérsékleti gradiensekkel ismét a bejárat közelében találkozunk.

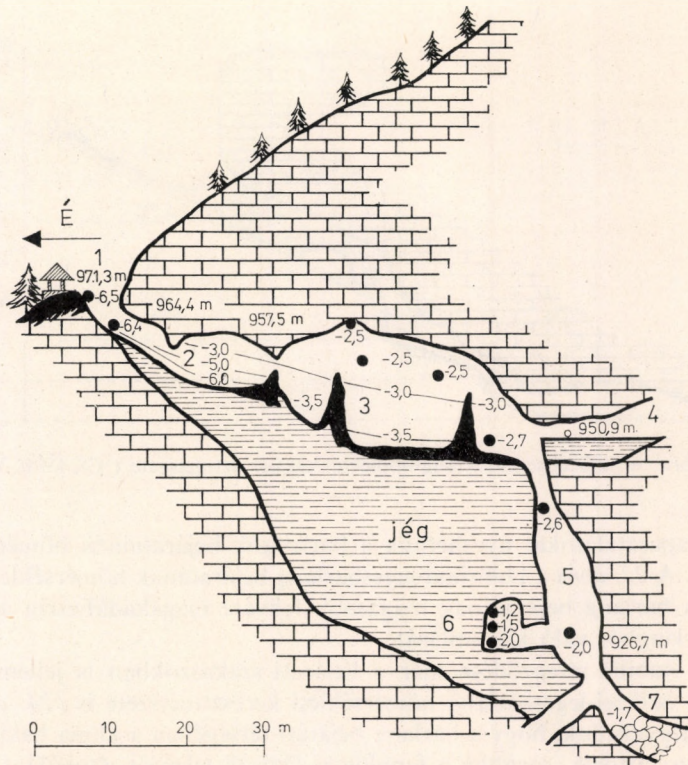
A fentiekből következik:

1. A barlang hőmérséklete télen rendkívül nagy térbeli eltéréseket mutat. A Dobsinai-jegesbarlangban az ún. Kis-terem léghőmérséklete a legváltozékonyabb, tehát ún. bejárat jellegű szakasznak tekinthetjük, de a legállandóbb hőmérsékletűnek nem a Nagy-termet, hanem a belsőbb térséget, a Ruffinyi-folyosót és környékét tekinthetjük (l. a 22. ábrát).

2. A barlang levegője termenként stabilis rétegződésű. A hőmérséklet alulról felfelé növekszik, ennek megfelelően az izotermák alulról felfelé sűrűsödnek, a sűrűsödés mértéke a barlang mennyezeténél a legnagyobb. Itt a levegő hőmérséklete néhány milliméter rétegben eléri a szálban álló közet hőmérsékletét.

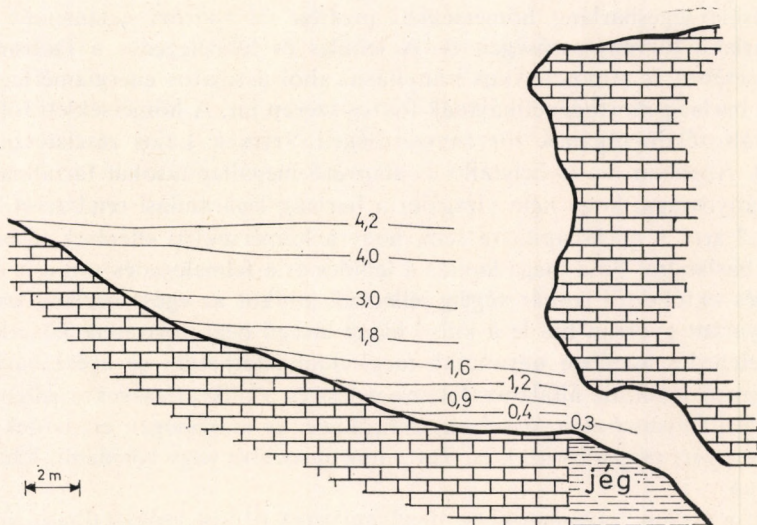


21. ábra. A hőmérséklet (°C) keresztmetszeti profilja a Dobsinai-jegesbarlang jégfolyosójában 1970. VIII. 6.

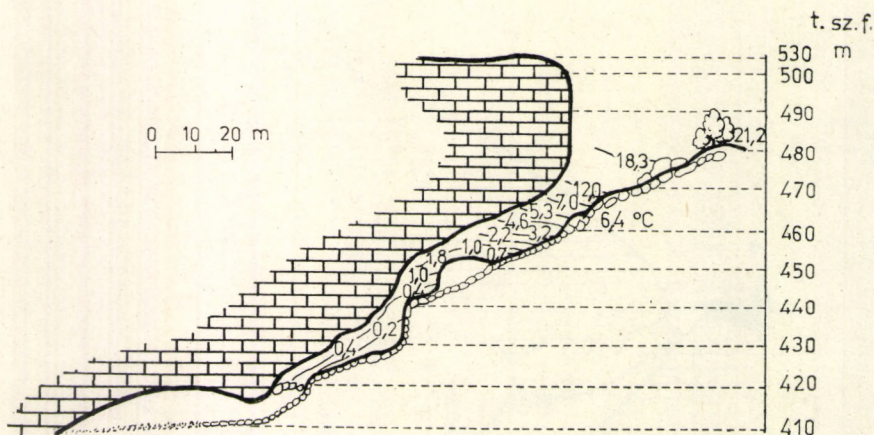


22. ábra. A léghőmérséklet függőleges elrendeződése a Dobsinai-jegebarlangban télen, 1972. I. 26.

1 = a barlang bejárata; 2 = Kis-terem; 3 = Nagy-terem; 4 = Cseppkőbarlang; † = Ruffinyi-folyosó; 6 = Kápolnáska; 7 = átjáró más barlangrészbe



23. ábra. A Dobsinai-jegebarlang előterének hőmérsékleti viszonyai (°C), 1970. VIII. 5.



24. ábra. A Szilicei-jegebarlang hőmérsékleti keresztmetszete (°C), 1970. VIII. 7.

Érdekes tapasztalatokat nyerhetünk a barlangok bejáratainak hőmérsékleti viszgálataival is. A 23. ábra a Dobsinai-jegebarlang bejáratának hőmérsékleti viszonyait ábrázolja. A barlang bejáratának magasabb fekvése megakadályozza a hideg levegőnek a barlangból való kiáramlását.

A levegő stabilis rétegződése már a bejárati szakaszokban is jellemző, amelyet megerősít a Szilicei-jegebarlang hőmérsékleti keresztmetszete is (24. ábra).

Meg kell jegyeznünk, hogy a barlang bejárati térségében a klíma hatására a vegetáció gyorsan változik, továbbá a fenológiai fázisok jelentős eltolódása is jellemző. E jelenségek további kutatásokat érdemelnek.

3.2.2. LEHŰLÉSI ÉS FELMELEGEDÉSI FOLYAMATOK

A Dobsinai-jegebarlang hőmérsékleti profilja jól tükrözi valamennyi hasonló típusú barlang törvényszerűségeit is. A lehűlés és felmelegedés a Dobsinai-jegebarlang esetében is atmoszférikus irányítású, ahol a sajátos energiamérleg kialakításában a barlang morfogenetikájának fontos szerep jut. A hőmérsékleti folyamatok időbeni változékonyságának törvényszerűségeit STEINER Lajos részletesen feltárta (1922a, b). Azonban ma is helytálló és alapvető megállapításokat tartalmazó munkáinak hiányossága, hogy nem vizsgálta a barlang légáramlási rendszerét, így nem juthatott el arra a megállapításra sem, hogy a hőmérsékleti eltérések térben is jellemzők a barlangra. Ez a megállapítás a lehűlés és a felmelegedés során is érvényes.

A lehűlés októbertől január végéig jellemző, amikor az egész barlang levegője és kőzete egyaránt gyorsan hűl le a külső hideg levegő beáramlásának következtében.

A felmelegedés esetében ugyancsak megkülönböztethetjük az egész barlang légtérére jellemző lassú, de általános felmelegedést és a mikrotérségekre jellemző helyi felmelegedési folyamatokat, amelyek cirkulációs és antropogén eredetűek, de előidézhetik a nyári csapadékvizek is. Tartamuk hosszabb vagy rövidebb, lehűlésekkel megszakítva.

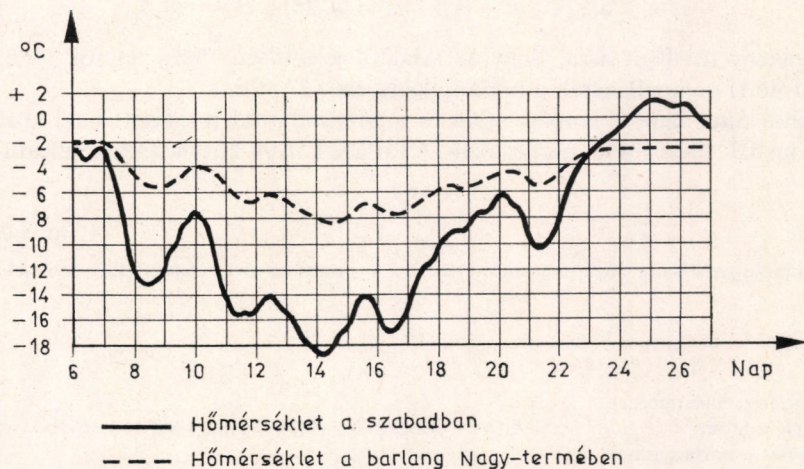
Ezekben a fizikai folyamatokban meghatározott ritmus tapasztalható, mely egyrészt a napi, másrészt pedig a még jellemzőbb évi menetben jut kifejezésre.

Az egynyílású jegesbarlangok jellegéből adódik, hogy a hőmérséklet napi menetében jelentős különbség mutatkozik a téli, illetve nyári helyzetnek megfelelően. A kérdést részletesen vizsgálta STEINER Lajos, aki a napi menet értékeléséhez 725 téli* nap viselkedését vizsgálta meg (1922a, b). Ennek alapján megállapította, hogy a $\Delta_{24} > 0^\circ\text{C}$ napokon – amikor a belső és külső hőmérséklet különbsége pozitív volt – a barlangban kifejezett és aránylag jelentékeny napi menet mutatkozik. A $\Delta_{24} < 0^\circ\text{C}$ napokon – amikor a különbség negatív volt – a napi menet a barlangban igen kicsiny, de még kimutatható. A hőmérséklet napi menetét mutatja be télen (január) a 25. ábra, erős külső lehűlés mellett.

Összefoglalva: a hőmérséklet napi menetét a téli időszakban a legerősebben a felszínen érvényesülő lehűlések befolyásolják. A külső hidegebb, tehát nagyobb sűrűségű levegő a befelé lejtő barlangban gyorsan leáramlik.

Megfigyeltük, hogy a külső hideg levegő a felszínről – alig $-6,5^\circ\text{C}$ -os lehűlés esetén is – a barlang legmélyebb pontjáiig 6–10 perc alatt jut el; a Nagy-terembe a meteorológiai házikóig pedig 4–5 perc alatt, így annak felszíni fizikai állapotváltozásai természetszerűen gyorsan és hatásosan mutatkoznak a barlangban is. Ezt a megállapítást alátámasztják STEINER megfigyelései is (25. ábra).

Nyáron a változások alig követhetők. A termográf szalagok kiértékelése alapján a napi menetre korábban nem találtak jellemző értékeket. Megfigyeléseim szerint a hőmérsékletnek nyáron is van valószínűleg csekély napi menete, melynek az a magyarázata, hogy a barlangot nyáron sem tekintjük olyan hőcserementes jegesüregnek, amely teljesen elzárt a külvilágtól. A léghőmérséklet nyári napi változásaiban szerepet játszanak periodikus hatást kifejtő (a felszínen érvényesülő időjárási elemek napi menete) és aperiodikus tényezők (a barlangon keresztül folyó langyos, nyári csapadékvizek, antropogén hatások).



25. ábra. A 24 órás átlaghőmérséklet alakulása a Dobsinai-jegesbarlangban és a szabadban, 1912. I. 6–27. (Steiner L. után)

* Steiner téli napoknak vette az október–április közötti időközt, míg a május–szeptember időtartamot kizárta a vizsgálatból, mert ekkor érzékelhető változások nem mutathatók ki.

A Dobsinai-jegesbarlangban végbemenő lehülési és felmelegedési folyamatok törvényszerűségeinek főbb jellemzőit jól tükrözi a hőmérséklet évi menete.

Expedíciós jellegű, tehát csak az év töredékére kiterjedő vizsgálataink következtében saját mérési anyagunk nem elégséges az évi menet analíziséhez, ezt elsősorban STEINER (1922a, b) és PETROVIĆ S. (1952) munkái alapján végezzük el. A VIII. táblázatban közöljük a léghőmérséklet havi és évi középértékeit a Dobsinai-jegesbarlang Nagy-termére és a felszínre vonatkozó középértékeket ugyancsak STEINER és PETROVIĆ adatai nyomán, akik a közeli svermovói (Telgárt) klímaállomás alapján a szükséges korrekcióval határozták meg a Dobsinára vonatkozó értékeket.

A barlangban a januári minimum kialakulását követően fokozatosan emelkedik a levegő hőmérséklete (PETROVIĆnál ugyan még a februári átlag is $-3,0^{\circ}\text{C}$, egészen a nyár végi maximumok beálltáig (STEINERNél szeptemberben $0,2^{\circ}\text{C}$, PETROVIĆnál $0,1^{\circ}\text{C}$ augusztusban). A hőmérsékleti maximumok beálltát fokozatos, gyors lehülés követi, különösen novembertől januárig. Az évi menet jellegzetessége, hogy a felmelegedési szakaszt jelentő minimum és maximum beállta között mintegy kétszer olyan hosszú idő telik el, mint a lehülés tartamát meghatározó barlangi maximum és minimum között. A tapasztalatok azt igazolják, hogy a Dobsinai-jegesbarlang, s hozzá hasonlóan a többi jegesbarlang is, télen dinamikus jellegű.

A léghőmérséklet évi menetének másik általánosítható vonása, hogy a középhőmérséklet az év nagy részében 150 cm magasan is fagypony alatt van (STEINERNél 4, PETROVIĆnál 2 hónap kivételével).

A hőmérséklet valószínűségi sűrűségfüggvényei a jegesbarlangokban is fontos információkat adnak.

A barlang januári léghőmérséklet-viszonyaira jellemző empirikus valószínűségi sűrűségfüggvényét (26. ábra) a következő paraméterek jellemzik:

$$\bar{x} = -3,5^{\circ}\text{C}; \sigma = 1,5^{\circ}\text{C}; n = 281; R = 5,8^{\circ}\text{C}.$$

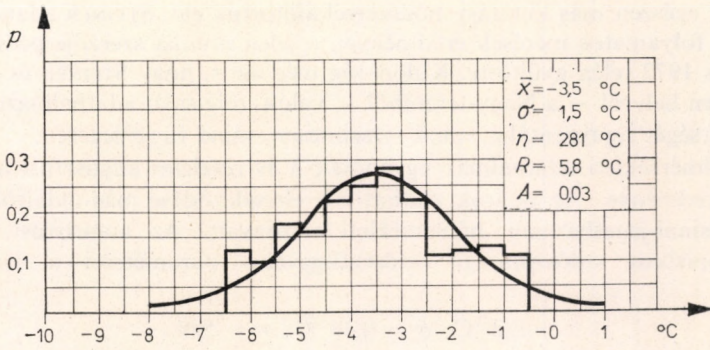
A függvény rávilágít arra, hogy az átlagtól jelentősen eltérő adatok ($-6,0$ alatt és 0°C fölött) nem jellemzők a barlang légtérére (27. ábra).

A szerző által kapott januári átlag és a STEINER által megadott havi középérték között alig $0,3^{\circ}\text{C}$ -os eltérés mutatkozik. Az átlagok ilyen közeledésének az ad különös

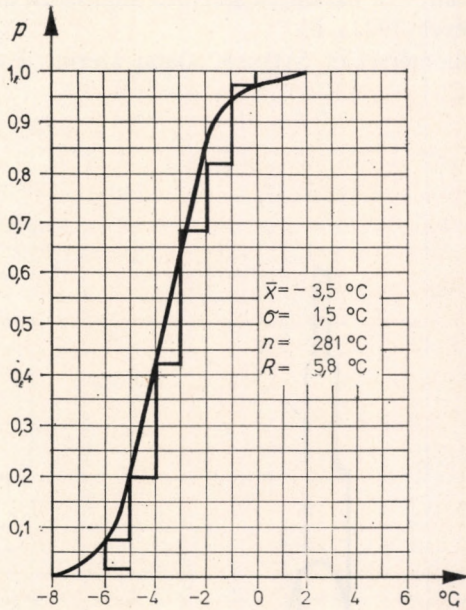
VIII. TÁBLÁZAT

A Dobsinai-jegesbarlang léghőmérsékletének és a hozzátartozó felszíni léghőmérséklet havi

| | I. | II. | III. | IV. | V. | VI. |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hőmérséklet a barlangban (STEINER adatai) | -3,16 | -2,74 | -1,80 | -1,90 | -0,36 | -0,10 |
| Hőmérséklet a barlangban (PETROVIĆ adatai) | -3,0 | -3,0 | -2,5 | -1,0 | -0,6 | -0,2 |
| Hőmérséklet a szabadban (STEINER adatai) | -6,78 | -3,28 | 0,63 | 2,98 | 7,24 | 10,34 |
| Hőmérséklet a szabadban (PETROVIĆ adatai) | -5,4 | -4,3 | -0,7 | 4,0 | 9,9 | 12,7 |



26. ábra. A januári léghőmérséklet sűrűségfüggvénye a Dobsinai-jegebarlangból



27. ábra. A januári léghőmérséklet valószínűségi eloszlásfüggvénye a Dobsinai-jegebarlangból

és évi középértékeinek alakulása STEINER és PETROVIĆ adatai alapján

| VII. | VIII. | IX. | X. | XI. | XII. | Évi átlag |
|-------|-------|------|------|-------|-------|-----------|
| 0,07 | 0,15 | 0,21 | 0,09 | -0,73 | -1,39 | -0,89 |
| -0,1 | 0,1 | 0,0 | -0,1 | -0,3 | -1,3 | -0,9 |
| 11,72 | 11,21 | 6,99 | 3,48 | -0,84 | -1,92 | 3,48 |
| 14,7 | 13,8 | 10,4 | 5,6 | 0,1 | -3,3 | 4,8 |

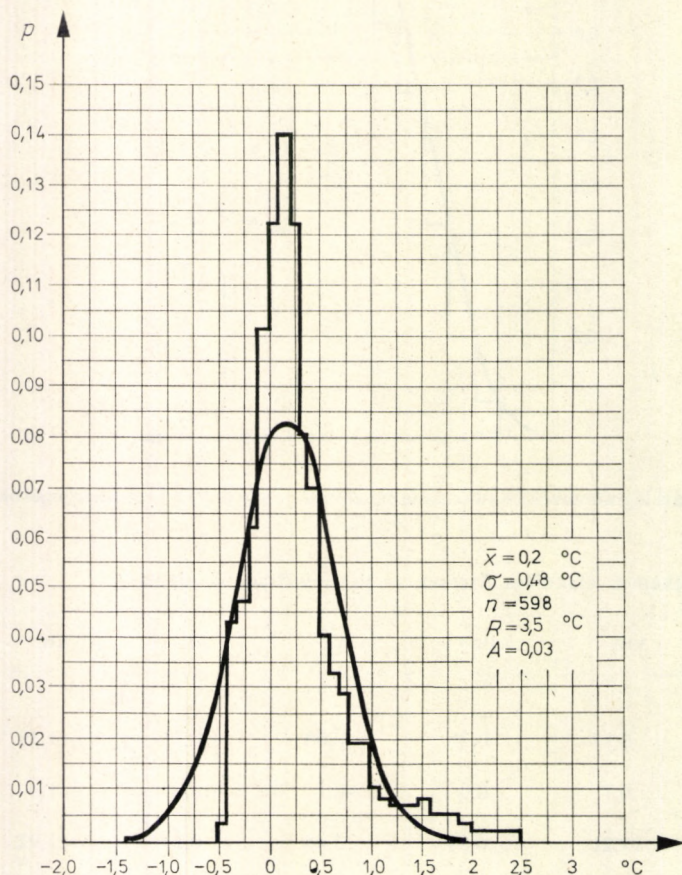
értéket, hogy egészen más kutatási módszerrel állítottuk elő. STEINER adatai 1912 és 1918 közötti folyamatos mérések eredményei, a jelen munka szerzője pedig adatait 1970, 1971 és 1972 telén gyűjtötte. Különbség még az is, hogy STEINER és PETROVIĆ adatai egyetlen helyről – a Nagy-teremből – valók, míg saját adathalmazom a barlang egész térségét reprezentálja, mind vízszintesen, mind függőlegesen.

A nyári hőmérsékleti adathalmaz ugyancsak 3 év részletes augusztusi mérési sorozatainak eredménye. Az adatok statisztikai elrendeződése más oldalról világítja meg a Dobsinai-jegebarlang hőmérsékleti viszonyait. Az augusztusi állapotra jellemző empirikus valószínűségi sűrűségfüggvény paraméterei a következők (28. ábra):

$$\bar{x} = 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}; \sigma = 0,48 \text{ } ^\circ\text{C}; n = 598.$$

Megfelelő számú megfigyelés alapján ismét más módszerrel – a januári megfigyeléseknél leírtak szerint – a barlangra jellemző augusztusi átlag szinte maradéktalanul egyezik STEINERÉVEL (1922a, b).

Az augusztusi középhőmérséklet STEINER adatai szerint $\bar{x} = 0,15 \text{ } ^\circ\text{C}$, a szerző adatai szerint $\bar{x} = 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$.



28. ábra. Az augusztusi léghőmérséklet sűrűségfüggvénye a Dobsinai-jegebarlangból

A tapasztalati valószínűségi sűrűségfüggvény alapján megállapíthatjuk, hogy az adatok 95%-os valószínűséggel $-0,5$ és $1,2$ °C közé esnek. Ez a barlang jégháztartása szempontjából lényeges. Még augusztusban is – amikor STEINER és PETROVIĆ is egyértelműen és teljesen a fagyponthoz feletti hőmérséklet érvényesüléséről beszél – a tetszőleges, a barlang minden pontjából és a nap 24 órájában arányosan vett mintákból, mintegy 26%-os valószínűséggel fagyponthoz alatti hőmérsékleteket kapunk. Ha a barlangot a nyári félévben nem keresné fel annyi látogató, akkor ez az arány a 0 °C alatti értékek felé még jobban eltolódna.

4. A VÍZ SZEREPE A BARLANGKLÍMA ALAKÍTÁSÁBAN

A barlangokban jelenlevő vizek fontossága rendkívül komplex összefüggésekben mutatkozik meg (JAKUCS L. 1956b, 1957, 1959b, LÁNG S. 1943, DÉNES Gy. 1970b, 1971, 1973, BÖCKER T. 1974 stb.).

Most a víz szerepét elsősorban a barlangok klímájának alakítása szempontjából vizsgáljuk. A barlangi vizek ezirányú hatásukat leginkább a levegő nedvessége utánpótlásának biztosításával, illetve a barlang léghőmérséklet-viszonyainak alakulására gyakorolt befolyásukkal (az advekciós hőtranszportban betöltött szerepük) érvényesítik. Ez utóbbi szempontból különösen fontos a barlangi vizek eredete.

A szivárgó, csepegő vizek, valamint a karsztvízből táplálkozó barlangi patakok a barlang léghőmérsékletére a kiegyenlítettség állapotának létrehozása, illetve fenntartása irányában hatnak. Ugyanis a meg nem bolygatott, s egyéb vízzel nem keveredő tiszta karsztvíz hőmérséklete nagyjából az előfordulás helyének megfelelő évi középhőmérséklet körül van (VENDL A. 1957). Ezzel szemben a felszínről a víznyelőkön át gyorsan bejutó barlangi árvizeket előidéző nagy víztömegek a léghőmérsékletben (JAKUCS L. 1956b, ZÁCH A. 1956) éppen az extrém értékek kialakulását idézik elő a barlangklímára általában nem jellemző gyors lehűlésekkel és felmelegedésekkel. A Baradla-barlangra jellemző alacsonyabb léghőmérsékleti értékeket a tavaszi hóolvadások idején közvetlenül a többször megismétlődő, hideg árvizek után mértük.

JAKUCS L. barlangi árvizekre vonatkozó megfigyelései és mérései (1956b, 1957, 1959b), valamint saját számításaim szerint az 1956. VII. 6-i nyári árvíz egyetlen napon pl. $1,733 \cdot 10^{13}$ J hőenergiával gyarapította a Baradla hőkészletét. Ez az egész barlang lég- és talajhőmérsékletét $2-3$ °C-szal melegíti fel. Pontosan ellenkező jelenséggel találkozunk télen, amikor a hideg árvizek rövid idő leforgása alatt hatalmas hőösszegeket visznek ki a barlangból és idézik elő a téli hőmérsékleti minimumok kialakulását. Ugyancsak számításokat végeztünk a Baradla-barlang energia-vesztésére az 1969. II. 27-i téli árvíz idején, amikor a tartósan magas vízszinttel az ár egyetlen napon kb. $2,533 \cdot 10^{13}$ J-lal csökkentette a barlang hőkészletét (kb. $3-4$ °C-os lehűlést idézett elő a barlangban).

Az Abaligeti-barlangban a patak vizének hőmérséklete sokkal kisebb ingadozást mutat. Nemcsak a havi átlagok kiegyenlítették, de árvizek idején sem alakul ki jelentősebb eltérés (a júliusi árvizek idején a patakvíz szélső esetben $0,8$ °C-szal volt melegebb mint a barlang légtere). Azonban a tél végén, illetve kora tavasszal sem találkozunk olyan szélsőségekkel, mint amilyenek a Baradlára jellemzők. 1966 és 1975 között megfigyelt téli árvizes esetekben a barlang belsejében megjelenő leghidegebb víz $10,2$ °C volt. Ezt csupán azzal magyarázhatjuk, hogy a barlangi patak

vize a felszíni nyelőkötől szűk járatokon keresztül áramlik, miközben alaposan elkeveredik a karsztvízzel, tehát itt megy végbe a hőmérsékleti kiegyenlítődé, mielőtt a patak vize a barlang jelenleg ismert legbelsőbb pontján megjelenne.

A tiszta karsztvíz hőmérséklete kiegyenlített, közel állandó, ezt igazolják az Abaligeti-barlang belső forrásának (Flórián-forrás) havi közepi, amelyek egész éven át 10,5 °C és 11,9 °C között változnak.

A Tapolcai-tavasbarlang patakvizének hőmérséklete ugyancsak kiegyenlített (1971–1973 között a mért szélső értékek: 18,5 és 19,0 °C, a víz átlagos hőmérséklete pedig 18,9 °C). Árvizes esetet nem volt módunk megfigyelni sem télen, sem nyáron. A patak vizének a léghőmérsékletre gyakorolt hatását korábban számszerűen is elemeztük.

IX. TÁBLÁZAT

A hőmérséklet havi középértékei nyáron Abaligeten a barlangban és a szabadban

| | V. | VI. | VII. | VIII. | IX. |
|---|------|------|------|-------|------|
| 1. Léghőmérséklet a felszínen (klíma-állomás adatai) | 14,8 | 17,6 | 19,5 | 19,9 | 14,1 |
| 2. Léghőmérséklet a barlangban 150 cm magasan (a II. oldalánál) | 11,8 | 11,9 | 11,9 | 11,9 | 12,1 |
| 3. Közéghőmérséklet a barlangban 25 cm mélyen (a II. oldalánál) | 11,4 | 11,6 | 11,6 | 11,6 | 11,7 |
| 4. Kőzet, ill. talajhőmérséklet a barlangban 5 cm mélyen (a II. oldalánál) | 11,5 | 11,7 | 11,7 | 11,7 | 11,9 |
| 5. Patakvízhőmérséklet a barlangban (a II. oldalánál) | 10,8 | 11,1 | 11,4 | 11,9 | 11,6 |

X. TÁBLÁZAT

A kőzet és hordalékanyag hőmérséklete

| Hely | Távolság a bejáratától (m) | I. | II. | III. | IV. | V. |
|-------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|
| Barlang bejárat | — | 3,8 | 3,4 | 6,1 | 7,4 | 9,4 |
| Bejáratától | 10 | 4,3 | 4,0 | 6,8 | 7,8 | 9,3 |
| I. oldalág | 40 | 6,4 | 6,2 | 7,9 | 9,2 | 10,1 |
| Korona | 70 | 7,5 | 7,8 | 8,5 | 9,6 | 10,3 |
| Pisai ferdetorony | 94 | 8,3 | 8,9 | 9,0 | 10,0 | 10,6 |
| Flórián-forrás | 159 | 9,7 | 10,0 | 10,1 | 10,5 | 11,0 |
| Elefánt | 204 | 10,2 | 10,3 | 10,4 | 10,7 | 11,0 |
| Hajóágyúk | 247 | 10,3 | 10,5 | 10,5 | 11,0 | 11,0 |
| Lengőkő | 250 | 10,4 | 10,6 | 10,6 | 11,0 | 11,1 |
| Karthago romjai | 300 | 10,7 | 10,8 | 10,9 | 11,2 | 11,2 |
| II. oldalág | 338 | 11,2 | 11,2 | 11,2 | 11,5 | 11,5 |
| Nagy-terem | 415 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,5 | 11,5 |

5. A HORDALÉK ÉS A KÖZET HŐMÉRSÉKLETE A BARLANGOKBAN

A levegő és a víz hőmérsékletével egy időben mértem a kőzet és a patak medrét kitöltő hordalék hőmérsékletét is. Arra az eredményre jutottam, hogy a barlangokban a közet hőmérséklet közel állandó (IX. táblázat). Az általánostól eltérő viselkedést találunk a barlangok bejárati vagy kiegyenlítődesi zónájában, és az egész barlangban a tél végi hideg árvizek, ill. a nyári meleg árvizek idején a Baradla-Domica típusú rendszerekben. (Sem az Abaligeti-, sem a Tapolcai-barlang belsejében nem jellemző a nagy hőmérsékletingadozás.)

A bejárati vagy kiegyenlítődesi zónára a kőzet, ill. a barlangi hordalék hőmérséklet erős ingadozása a jellemző. Ezek az ingadozások azonban már nem olyan gyors lefutásúak, mint az a levegő hőmérsékletére jellemző (a napi menet a bejáratától néhány méterre már nem érvényesül), tehát elsősorban a tartós, legalább 1–2 hétnél tovább tartó lehűlések, illetve tartós felmelegedések érvényesítik hatásukat. Ez egyben azt jelenti, hogy a barlangokban a kőzet-, illetve a barlang patakmedrét kitöltő hordalékanyag-hőmérsékletnek is van évi menete. A változások a bejárati vagy kiegyenlítődesi zónában erőteljesebbek, míg a barlangok belsejében kisebbek (X. táblázat).

az Abaligeti-barlangban (°C)

| VI. | VII. | VIII. | IX. | X. | XI. | XII. | Évi közép |
|------|------|-------|------|------|------|------|-----------|
| 10,4 | 11,0 | 11,1 | 10,5 | 10,0 | 6,4 | 3,8 | 7,8 |
| 10,2 | 10,8 | 10,8 | 10,3 | 9,9 | 6,6 | 4,4 | 7,9 |
| 10,7 | 11,0 | 11,0 | 11,0 | 10,8 | 8,3 | 6,9 | 9,1 |
| 10,8 | 11,2 | 11,2 | 11,2 | 11,1 | 9,1 | 7,5 | 9,7 |
| 11,0 | 11,3 | 11,3 | 11,5 | 11,3 | 9,8 | 8,4 | 10,1 |
| 11,4 | 11,5 | 11,5 | 11,8 | 11,6 | 11,0 | 10,0 | 10,8 |
| 11,3 | 11,5 | 11,5 | 11,7 | 11,6 | 11,2 | 10,5 | 11,0 |
| 11,3 | 11,5 | 11,5 | 11,7 | 11,6 | 11,3 | 10,7 | 11,1 |
| 11,4 | 11,5 | 11,5 | 11,7 | 11,6 | 11,3 | 10,9 | 11,1 |
| 11,4 | 11,5 | 11,5 | 11,7 | 11,7 | 11,4 | 11,1 | 11,3 |
| 11,7 | 11,7 | 11,7 | 11,9 | 11,8 | 11,6 | 11,4 | 11,5 |
| 11,5 | 11,6 | 11,6 | 11,8 | 11,8 | 11,6 | 11,4 | 11,5 |



14. kép. Részlet a Baradla-barlang főágából árvíz idején (Fotó: Jakucs L.)



15. kép. A nehéz terepviszonyok mellett a barlang hőmérsékletének és légnedvességi viszonyainak vizsgálatához egyik legalkalmasabb műszer az Assmann-féle aspirációs pszichrométeri (Fotó: Földesi Gy.)



16. kép. Domică — Szűzfolyosó. Az eróziós karsztbarlangokba időszakonként bejutó nagytömegű áradmányvizek percek alatt felborítják a barlangklíma stabilitását (Fotó: Beniczky J.)

IV. A BARLANGOK LÉGTERÉNEK NEDVESSÉGVISZONYAI

A barlangi levegő vízgőztartalma abszolút és relatív értékében egyaránt fontos éghajlati tényező.

A jelenlevő vízgőz által lekötött latens hő – amely az állandó párolgás, kondenzáció és légcseré következtében folyton változik – a barlang hőháztartásában is jelentős szerepet játszik. A nedvességvizonyok következménye, hogy a barlang közel telített, nedves levegője hideg teleken is csak kevésbé és fokozatosan hűl le (az igazi jégbarlangok és a közvetlen bejáratú szakaszok kivételével).

A légneveltség bioklimatológiai tényezőként a barlangi élet, ezen belül a gazdag fauna számára nélkülözhetetlen.

A műfény bekapcsolásával a barlangi levegő nedvességvizonyai sajátos flóra kialakítását teszik lehetővé, melynek jelentős nemzetközi irodalma van. Egyes barlangokban különösen dús „műfény vegetáció” alakul ki, pl. az Abaligeti-barlangban 15 mohafaj díszlik, közülük 11 csupán itt fordul elő (Vörös Zs. L. 1969).

Az utóbbi időben egyre inkább felvetődik a barlangi légnedvességnek az emberi szervezetre, a beteg és egészséges emberre, az emberi komfortérzésre gyakorolt hatása. H. CAUER (1954) rámutat, hogy a barlangi levegő abszolút vízgőztartalma alacsonyabb mint melegebb évszakokban a szabad levegő vízgőztartalma. Ez a jelenség a légzés mélységét segíti elő. Belégzésnél a hidegebb barlangi levegő már az orrban felmelegszik 28–30 °C-ra. Eközben a relatív nedvessége 30–33 %-ra csökken, tehát kiszárad és a tüdőtraktusban viszonylag sok vizet fel tud venni, ott eljut a telítettségig. A szervezetből eltávozó vízgőz megkönnyebbülést jelenthet a légzőszervi betegeknek, mert ezzel is csökken a nyálkahártya váladékképződése. A fenti számításokat a nyugatnémet Klutert-barlangra H. CAUER (1954) és K. H. SPANNAGEL (1961), a Magyarországi Béke-barlangra BIRÓ Zs.–KIRCHKNOPF M. végezte el (KERÉNYI et al. é. n.). Kedvező hatását viszonylag rövid, 1–2 órás (esetleg 24 óra alatt kétszer megismételte) barlangban való tartózkodásnál állapították meg, idült légúti betegek kezelése során.

F. TROMBE (1952) a hosszabb felszín alatti tartózkodások hatását vizsgálta az emberi szervezetre és itt az emberi szervezet fő ellenségét nem az alacsony hőmérsékletben látja (még 0,0 °C esetén sem), hanem a nagy nedvességben. A talaj és a falak nedvessége, a levegő közel telített volta, sőt esetenkénti túltelítettsége TROMBE szerint nagymértékben hozzájárul ahhoz, hogy a földfelszín alatti táborozások legtöbbször kevés egészségügyi sikerrel járnak. M. SIFFRE a Sarcas Son-i barlangexpedíció következményeiről írja: „63 napi dermesztő hideg és állandó nedvesség mellett szinte elviselhetetlen stressz után jöttem fel, mint egy félőrült, eltorzult báb” (1975). Később ugyancsak SIFFRE 6 hónapra növeli a barlangban való egyedül tartózkodás idejét a Del-Rio mellett levő Midnight (Texas) barlangban.

Az utóbbi időben a barlangban tartózkodás csoportos formáival is egyre gyakrabban találkozunk. F. TROMBE (1952) beszámol olyan jelentős kísérletekről, melyek azt igyekeznek megoldani, hogy a földfelszín alatti táborozás során a pihenésre az ember által megszokott nedvesséviszonyok mellett kerüljön sor.

Ez azért érdekes kísérlet, mert a barlangi levegő összetétele, tisztasága és fizikai tulajdonságai folytán máskülönben az üdülő és gyógyhatású magas hegyvidék levegőjéhez hasonlítható.

1. HÚVÖSÉRZETET KELTŐ BARLANGTÍPUS

1.1. A BARADLA-DOMICA-BARLANGRENDSZER

A Baradla-Domica-barlangrendszer levegője egész éven át igen nedves. Az év nagy részében a telítettséghez közeli állapot uralkodik, mert a párolgási feltételek a barlang teljes nagyságában egész évben optimálisak. (Csak a közvetlen bejárati térségekben mutatkozik ettől eltérés.) A vízgőz mennyisége változik. A változások szorosan követik a léghőmérséklet változásait, miután a vízgőzkészlet utánpótlásának természeti feltételei a barlangban adottak. A barlang vízgőz-készletének forrásai: a barlang nedves fala, a szivárgó vizek, a barlangi patak, a felszíni levegő (amikor nedvességtartalma magasabb, mint a barlangi levegőé).

A felszíni levegő azonban nem csupán utánpótlással járulhat hozzá a barlang vízgőzháztartásához, de az év jelentős részében – októbertől májusig – tekintélyes mennyiségű vízgőzt von el a Föld belső légteréből, amely a belső párolgás útján pótlódik.

1.1.1. A PÁRANYOMÁS ALAKULÁSA

A BARADLA-DOMICA-BARLANGRENDSZERBEN

A levegőben levő vízgőz parciális nyomásának értéke a barlang belsejében természetes körülmények között egész év folyamán közel van a maximális vagy telítési párányomás értékéhez. Egyes évszakokban pedig a barlang számos részében vízgőzzel telítetté válik a levegő.

A barlang párányomásának tapasztalati átlaga: $\bar{x}(e) = 11,73$ mbar. A szórás értéke: $\sigma = 1,17$ mbar, amely megerősíti, hogy a tapasztalati átlag jól jellemzi a barlangra jellemző párányomás értékeket. Ugyanezt a megállapítást igazolják a Baradla-Domica-rendszer párányomásának valószínűségi eloszlás- és sűrűségfüggvényei is.

A párányomás 99,9%-os valószínűségi szinten várható középértéke az egész Baradla-Domica-rendszerre: $\mu(e) = 11,73 \pm 0,1$ (mbar). Jó áttekintést adnak a párányomás viszonyokra a barlang jellemző pontjainak havi és évi középértékei, amelyeket a barlang bejárati szakaszaiból a *XI. táblázat*, a barlang belsejére pedig a *XII. táblázat* tartalmaz. A táblázatok alapján a következő megállapítást tehetjük:

A párányomás a hűvös barlang egészében közel van a léghőmérséklet által meg szabott lehetséges felső határhoz, azaz a telítési hiány (D) az egyes pontok havi középértékei alapján csupán 0,1–0,4 mbar között változik. Kivételt képeznek ez alól a bejárati térségek, ahol szabad levegő áramlik a barlangba befelé és viszonylagosan szárazzá teszi a barlang e részeit, vagy kondenzációs folyamatokat vált ki. Ilyenek pl.

XI. TÁBLÁZAT

A párányomás középértékei és abszolút szélsőségei (mbar) a Baradla-barlang bejárati szakaszaiban 10 és 150 cm magasan (1959–1973)

| Hely | Távolság a bejárártól (m) | 10 cm magasan | | | | | | |
|---------------------|---------------------------|----------------|--------------------|--------------------|---------------|---------|---------|-----------|
| | | Tél (XII–I–II) | Tavaszi (III–IV–V) | Nyár (VI–VII–VIII) | Ősz (IX–X–XI) | Maximum | Minimum | Évi átlag |
| Aggteleki főbejárat | | 7,05 | 9,98 | 11,70 | 11,44 | 13,97 | 3,33 | 10,11 |
| Csontház | 40* | 9,44 | 10,77 | 11,04 | 11,31 | 11,97 | 8,79 | 10,64 |
| Teknősbéka | 140** | 10,11 | 10,77 | 11,97 | 11,84 | 13,33 | 8,25 | 11,17 |
| Felszabadulási-ág | | 7,71 | 10,51 | 11,84 | 10,64 | 13,43 | 5,19 | 10,24 |
| Tigris-terem | 250* | 11,57 | 11,70 | 12,37 | 12,64 | 13,17 | 11,17 | 12,10 |
| Oszlopok csarnoka | 200** | 10,77 | 11,70 | 12,24 | 11,84 | 12,77 | 9,18 | 11,57 |
| Denevér-ági bejárat | | 11,84 | 12,10 | 15,56 | 13,83 | 19,95 | 10,64 | 13,33 |
| Főág (Vöröstónál) | | 10,77 | 11,17 | 11,70 | 11,57 | 12,24 | 9,71 | 11,31 |
| Vetődéses terem | 450*** | 12,10 | 12,37 | 12,37 | 12,50 | 12,77 | 11,57 | 12,37 |
| Legfiatalabb terem | 200*** | 11,84 | 12,24 | 12,24 | 12,50 | 12,77 | 11,17 | 12,24 |
| Bejárártól | 100*** | 10,91 | 11,70 | 12,10 | 11,97 | 12,77 | 9,84 | 11,70 |
| Jósvafői bejárat | | 7,05 | 10,91 | 11,84 | 11,31 | 12,90 | 4,26 | 10,24 |

| Hely | Távolság a bejárártól (m) | 150 cm magasan | | | | | | |
|---------------------|---------------------------|----------------|--------------------|--------------------|---------------|---------|---------|-----------|
| | | Tél (XII–I–II) | Tavaszi (III–IV–V) | Nyár (VI–VII–VIII) | Ősz (IX–X–XI) | Maximum | Minimum | Évi átlag |
| Aggteleki főbejárat | | 9,31 | 10,51 | 12,10 | 11,84 | 14,10 | 9,18 | 10,91 |
| Csontház | 40* | 9,58 | 10,91 | 11,31 | 11,44 | 11,97 | 8,91 | 10,77 |
| Teknősbéka | 140** | 10,91 | 11,04 | 12,24 | 11,84 | 13,43 | 9,44 | 11,44 |
| Felszabadulási-ág | | 8,79 | 10,64 | 12,24 | 10,77 | 15,16 | 7,49 | 10,64 |
| Tigris-terem | 250* | 11,84 | 11,84 | 12,64 | 12,77 | 13,33 | 11,44 | 12,24 |
| Oszlopok csarnoka | 200** | 11,57 | 11,84 | 12,50 | 12,24 | 13,03 | 10,91 | 11,97 |
| Denevér-ági bejárat | | 11,84 | 12,24 | 15,30 | 13,83 | 20,35 | 10,77 | 13,33 |
| Főág (Vöröstónál) | | 11,17 | 11,31 | 11,57 | 11,70 | 12,37 | 10,37 | 11,44 |
| Vetődéses terem | 450*** | 12,24 | 12,64 | 12,64 | 12,50 | 12,90 | 11,84 | 12,50 |
| Legfiatalabb terem | 200*** | 11,92 | 12,50 | 12,64 | 12,37 | 12,77 | 11,17 | 12,37 |
| Bejárártól | 100*** | 11,44 | 11,84 | 12,37 | 12,10 | 12,64 | 10,91 | 11,97 |
| Jósvafői bejárat | | 8,25 | 11,17 | 12,10 | 11,31 | 12,90 | 7,32 | 10,64 |

* Aggteleki főbejárártól mért távolság.

** Felszabadulási-ág bejáratától mért távolság.

*** Jósvafői bejárártól mért távolság.

télen: a barlang aggteleki főbejárata, a Felszabadulási-ág bejárata, a Jósvafői-ág bejárata, nyáron: a Denevér-ág.

A XII. táblázat alapján megállapítható, hogy a barlang belsejét az $\bar{x}(e) = 11,73$ mbar középérték az 1,17 mbar szórás mellett jól jellemzi. A párányomás értékei 10,66 mbar alá ritkán süllyednek. E ritka esetek közé tartoznak a nagy barlangi jeges árvizek (főleg februárban és március elején), amikor a levegő hőmérséklete is jelentősen csökken.

XII. TÁBLÁZAT

A páramomás középértékei és abszolút szélsőségei (mbar)
a Baradla-barlang főágában 10 és 150 cm magasan (1959–1973)

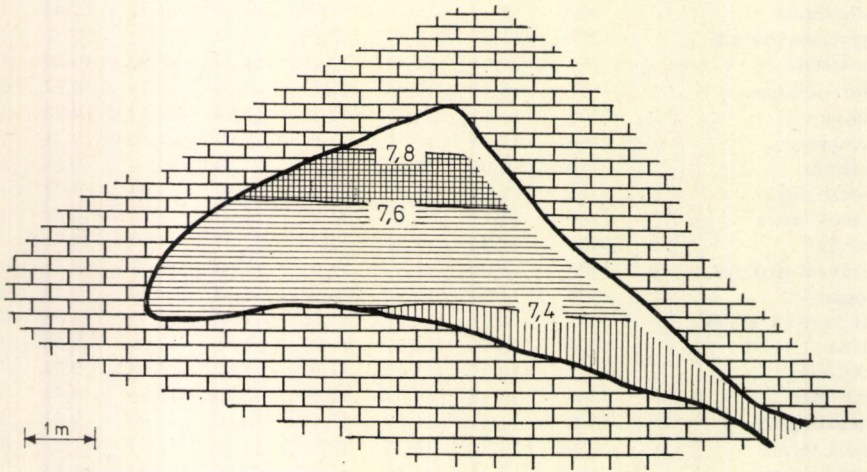
| Hely | Távolság a bejárattól (m) | 10 cm magasan | | | | | | Évi átlag |
|--------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | Tél (XII–I– II) | Tavaszi (III–IV– V) | Nyár (VI–VII– VIII) | Ősz (IX–X– XI) | Maxi- mum | Mini- mum | |
| Fekete-terem | 200 | 11,70 | 11,70 | 12,24 | 12,50 | 13,33 | 11,44 | 12,10 |
| Hangverseny-terem | 250 | 11,57 | 11,57 | 12,24 | 12,37 | 13,17 | 10,51 | 11,97 |
| Tánc-terem | 280 | 11,44 | 11,44 | 12,10 | 12,24 | 12,90 | 10,24 | 11,84 |
| Nádor oszlopa | 608 | 11,57 | 11,44 | 12,37 | 12,24 | 15,16 | 10,37 | 11,84 |
| Vaskapu | 1800 | 11,17 | 11,31 | 12,10 | 11,97 | 13,17 | 9,84 | 11,57 |
| Csikóstanya | 2200 | 11,04 | 11,17 | 11,84 | 11,97 | 12,50 | 9,71 | 11,44 |
| Tündérvár | 2250 | 11,04 | 11,17 | 11,84 | 11,84 | 12,64 | 9,58 | 11,44 |
| Rákóczi sátra | 2325 | 11,17 | 11,17 | 11,84 | 11,97 | 13,03 | 9,71 | 11,57 |
| Indiánok sátra | 2800 | 11,17 | 11,17 | 11,97 | 11,97 | 13,17 | 9,71 | 11,57 |
| Retek-ág | 3300 | 11,04 | 11,31 | 12,10 | 11,97 | 13,17 | 9,71 | 11,57 |
| Százrácú szoknya | 3500 | 11,04 | 11,31 | 11,97 | 11,84 | 12,77 | 9,71 | 11,57 |
| Buzogány | 3900 | 11,04 | 11,31 | 11,97 | 11,84 | 12,64 | 9,58 | 11,57 |
| 48-as honvéd emlék | 3952 | 10,91 | 11,31 | 11,84 | 11,84 | 12,50 | 9,58 | 11,44 |
| Xilofon | 4100 | 10,91 | 11,31 | 11,97 | 11,70 | 12,50 | 9,58 | 11,44 |
| Vöröstói-ág | 4752 | 10,91 | 11,17 | 11,97 | 11,70 | 13,43 | 9,71 | 11,44 |
| Arany utca | 5240 | 11,17 | 11,57 | 12,10 | 12,10 | 13,03 | 9,71 | 11,70 |
| Csillagvizsgáló | 5290 | 11,17 | 11,57 | 12,10 | 12,10 | 12,90 | 9,71 | 11,70 |
| Óriások terme | 650* | 12,24 | 12,37 | 12,50 | 12,50 | 12,77 | 11,57 | 12,37 |
| Színpad-terem | 570* | 12,37 | 12,50 | 12,50 | 12,50 | 12,64 | 11,84 | 12,50 |
| Kaffka-terem | 500* | 12,24 | 12,50 | 12,64 | 12,64 | 13,03 | 11,84 | 12,50 |

| Hely | Távolság a bejárattól (m) | 150 cm magasan | | | | | | Évi átlag |
|--------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | Tél (XII–I– II) | Tavaszi (III–IV– V) | Nyár (VI–VII– VIII) | Ősz (IX–X– XI) | Maxi- mum | Mini- mum | |
| Fekete-terem | 200 | 11,84 | 11,84 | 12,50 | 12,66 | 13,70 | 11,44 | 12,24 |
| Hangverseny-terem | 250 | 11,97 | 11,84 | 12,37 | 12,50 | 13,33 | 11,57 | 12,24 |
| Tánc-terem | 280 | 11,57 | 11,57 | 12,37 | 12,24 | 12,90 | 10,37 | 11,97 |
| Nádor oszlopa | 608 | 11,57 | 11,57 | 12,50 | 12,24 | 15,56 | 10,51 | 11,97 |
| Vaskapu | 1800 | 11,17 | 11,31 | 12,24 | 11,97 | 13,33 | 9,84 | 11,70 |
| Csikóstanya | 2200 | 11,17 | 11,31 | 11,97 | 11,97 | 12,64 | 9,84 | 11,57 |
| Tündérvár | 2250 | 11,17 | 11,44 | 11,97 | 11,97 | 12,77 | 9,84 | 11,70 |
| Rákóczi sátra | 2325 | 11,17 | 11,31 | 11,97 | 11,97 | 13,17 | 9,98 | 11,57 |
| Indiánok sátra | 2800 | 11,17 | 11,31 | 12,10 | 11,97 | 13,33 | 9,98 | 11,70 |
| Retek-ág | 3300 | 11,17 | 11,44 | 12,10 | 11,97 | 13,33 | 9,98 | 11,70 |
| Százrácú szoknya | 3500 | 11,17 | 11,31 | 12,10 | 11,84 | 12,77 | 9,98 | 11,57 |
| Buzogány | 3900 | 11,17 | 11,44 | 11,97 | 11,97 | 12,64 | 9,98 | 11,70 |
| 48-as honvéd emlék | 3952 | 11,17 | 11,44 | 11,97 | 11,84 | 12,64 | 10,11 | 11,57 |
| Xilofon | 4100 | 11,17 | 11,44 | 11,97 | 11,84 | 12,64 | 10,24 | 11,57 |
| Vöröstói-ág | 4752 | 11,04 | 11,44 | 11,97 | 11,70 | 13,57 | 10,24 | 11,57 |
| Arany utca | 5240 | 11,57 | 11,84 | 12,24 | 12,24 | 13,16 | 10,77 | 11,97 |
| Csillagvizsgáló | 5290 | 11,57 | 11,84 | 12,24 | 12,24 | 13,03 | 10,64 | 11,97 |
| Óriások terme | 650* | 12,37 | 12,50 | 12,64 | 12,64 | 12,90 | 11,70 | 12,50 |
| Színpad-terem | 570* | 12,37 | 12,64 | 12,64 | 12,64 | 12,77 | 12,10 | 12,64 |
| Kaffka-terem | 500* | 12,37 | 12,64 | 12,77 | 12,64 | 13,16 | 11,97 | 12,64 |

* Jósvalói bejárattól mért távolság.

A párányomás – a léghőmérséklet függőleges elrendeződésének megfelelően – alulról felfelé növekszik.

A barlangban a párányomás függőleges növekedésének mértéke 3–4 méteres magasságkülönbség esetén is igen kicsi, 0,1–0,4 mbar, különösen a barlang belsejében gyakori a teljes kiegyenlítetttség.



29. ábra. A párányomás eloszlása a Csontházban (Hgmm) (Baradla-barlang), 1960. VII. 31.
(1 Hgmm = 1,33 mbar)

A bejárati zónákban ennél mintegy kétszer nagyobb függőleges változással számolhatunk (29. ábra), bár itt is elég gyakori a kiegyenlítetttség.

A párányomás függőleges változásaiban is felismerhetünk egyfajta évi menetet – főleg a bejárati térségekre jellemzően –, amely abban nyilvánul meg, hogy télen erősebben fejlődnek ki a függőleges különbségek, mint nyáron.

1.1.3. A PÁRANYOMÁS IDŐBELI VÁLTOZÁSAI

A barlang levegőjének tényleges párányomás értéke nem esik távol a telítési párányomástól, a barlang belsejében pedig egyáltalán nem mutatkozik nagy szélsőség.

A párányomás évi menetét a havi közepek alapján elemeztük, és azt az általános törvényszerűséget vonhatjuk le, hogy a bejárati térségek párányomása nem csupán az évi ingadozás nagyságában (2–3-szoros értékek), de az évi menet változásaiban is eltér a barlang belsejében tapasztaltaktól. Míg a bejárati térségekben a legalacsonyabb havi közepek december–januárra esnek (igen változó értékek mellett), addig a barlang belsejének havi minimumai februárban alakulnak ki (a hideg, ill. jeges árvizek hatása) 9,59–10,53 mbar-os értékekkel, 10 cm magasan.

Márciusban 10,66 mbar fölé alig emelkednek a havi közepek (a barlangi árvizek még megismétlődhetnek, csupán kisebb gyakorisággal). Áprilistól májusig nem

mutatkozik lényeges változás (0,4–0,7 mbar növekedés jellemzi a két hónapot). Júniustól októberig ugyancsak kiegyenlített a párányomás menete, a barlang belsejének augusztusi, a bejárati zónának pedig augusztusi, szeptemberi maximumai tűnnek ki. A párányomás értéke a barlang belsejében november–decemberben nem csökken jelentős mértékben. Viszont a bejárati térségekben ekkor már jelentősebbek a csökkenések.

A Domica-barlangszakasz párányomás értékei az előbbieknél mintegy 0,7–0,8 mbar-ral magasabbak. Az egyéb törvényszerűségek teljesen egyezők a Baradla-barlangrendszer egészével.

1.1.4. A PÁRANYOMÁS ABSZOLÚT SZÉLSŐSÉGEI A BARADLA-BARLANGBAN

A párányomás abszolút maximumai az egész barlangban 13,33 mbar körül változnak vagy az alatt maradnak (12,53–13,46 mbar közötti értékekkel). A bejárati zónában az abszolút maximumok fellépése sokkal változatosabb, értékeiben is igen eltérők (Denevér-ág 20 mbar, a Felszabadulási-ág 15,2 mbar, Aggteleki főbejárat 14,13 mbar, a Jósvafői bejáratnál pedig 12,93 mbar).

Vizsgáltuk, hogy milyen külső időjárási viszonyok mellett alakultak ki az abszolút maximumok. A barlang belsejében méréseink során három alkalommal voltak jellemzők a maximum értékei: 1960. VII. 29., 1969. VII. 3., 1970. VIII. 23. Legerőteljesebben az 1960. VII. 29-i maximumok jellemezték a barlangot. 1960. júliusa a sokévi átlagnál mintegy háromszor csapadékosabb volt. A hónap közepén meleg, nedves szubtrópusi légtömegek voltak jellemzők a külszínre, július 20-a pedig az év legmelegebb napja volt. Ezt követően nedves, óceáni légtömegek voltak az uralkodók, többször hullt csapadék. 1960. VII. 29-én a szabadban Aggteleken 14 óra 45 perckor 21,2 °C volt a levegő hőmérséklete, az Acheron-víznyelőn inkább szivárgó, mint befolyó víz hőmérséklete 19,1 °C. Ezen a napon a barlang számos pontján a levegő hőmérséklete abszolút maximumot ért el.

A barlang főágában, a párányomás értékeiben jelentkező abszolút minimumok rendkívül nagyméretű barlangi jegesárvíz alkalmával alakultak ki, amikor az árvízet megelőző időszakban még néhány cm hó borította a felszínt (1969. február 27-ét megelőző mintegy 10 napon keresztül hó, havaseső, eső jellemezték az időjárást).

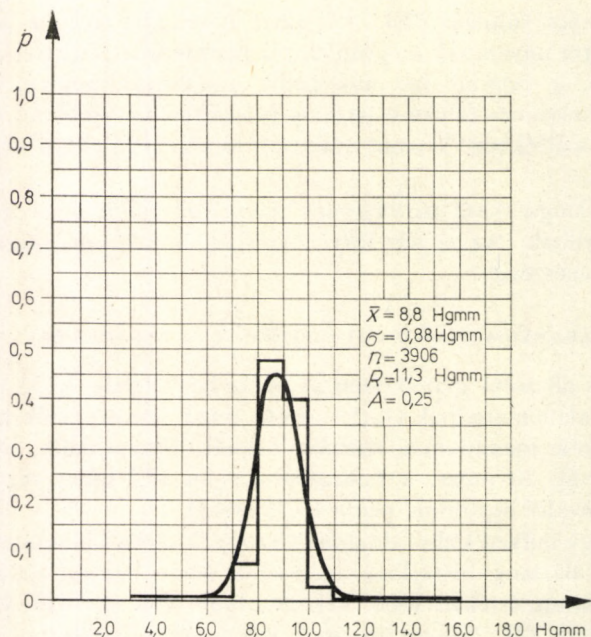
A bejárati térségekben a párányomás minimum-értékeinek kialakulását a télen gyakori száraz, hideg levegő beáramlása idézi elő.

1.1.5. A PÁRANYOMÁS VALÓSZÍNŰSÉGI SŰRŰSÉGFÜGGVÉNYE

A barlang valószínűségi sűrűségfüggvényének paraméterei a párányomásra vonatkozólag a következők: $\bar{x}(e) = 11,73$ mbar; $\sigma = 1,17$ mbar; $n = 3906$; $R = 15,06$ mbar.

A barlang párányomására jellemző valószínűségi sűrűségfüggvény közelít ugyan a normál eloszláshoz, de nem követi pontosan a hozzátartozó elméleti Gauss-görbét (30. ábra).

A tapasztalati sűrűségfüggvény χ^2 próba alapján szignifikánsan eltér a normál eloszlás sűrűségfüggvényétől ($p < 0,05$). A barlangban a párányomás nagy valószínűséggel igen kis értékek között változik. 99% a valószínűsége, hogy a párányomás értéke 6,66 mbar felett lesz, több mint 90%, hogy 10,66 mbar feletti értéket vesz fel és csupán 11% annak a valószínűsége, hogy 14,66 mbar feletti értéket kapunk.



30. ábra. A Baradla–Domica-barlangrendszer párányomás-értékeinek sűrűségfüggvénye (1 Hgmm = 1,33 mbar)

1.1.6. A RELATÍV NEDVESSÉG JELLEMZŐI A BARADLA–DOMICA-BARLANGRENDSZERBEN

A Baradla–Domica-barlangrendszerben a relatív nedvesség alapján is elkülöníthetők a bejárati térségek és a barlang belső, kiegyenlített részek. Az átlagos értéke az egész barlangra éppúgy, mint a belső térségekre 98%-nak adódott. Az átlag 99,9%-os megbízhatósági szintű konfidencia-intervalluma a következő:

$$\mu(u) = 98 \pm 0,13 (\%).$$

A részletes elemzéshez tekintsük át a bejárati térségek középeit 10 cm és 150 cm magasságban (XIII. táblázat).

A relatív nedvességi viszonyokra jellemző, hogy sem a bejárati térségekben, sem a barlang belsejében 150 cm magasan az átlagérték sehol sem éri el a 100%-ot, sőt a maximum értékek sem mindenhol. Szélső értékei a felszínhez viszonyítva kicsinyek, tágasságuk 10–14% között mozog, a barlangban szélsőségesebb bejárati régiókat leszámítva pedig csak 3%-on belül maradnak. Ez a barlang igen erős kiegyenlített-ségére utal.

A bejárati térségek relatív nedvessége ugyancsak jelentősebb változásokat mutat. Ez megmutatkozik az erősebb ingadozásban és különösen a relatív nedvesség térbeli eloszlásában (31. ábra).

A barlang relatív nedvességének a felszíni időjárással való összefüggésére világít rá a 32. ábra. A relatív nedvesség görbéje nyáron fordított menetű a hőmérsékleti görbével szemben. Amíg a hőmérséklet a szabadból a barlang belseje felé haladva

XIII. TÁBLÁZAT

A relatív nedvesség középértékei és abszolút szélsőségei (%)
a Baradla-barlang bejárati szakaszaiban 10 és 150 cm magasan (1959–1973)

| Hely | Távolság a bejáratától (m) | 10 cm | | | | | | |
|---------------------|----------------------------|----------------|--------------------|--------------------|---------------|---------|---------|-----------|
| | | Tél (XII–I–II) | Tavaszi (III–IV–V) | Nyár (VI–VII–VIII) | Ősz (IX–X–XI) | Maximum | Minimum | Évi átlag |
| Aggteleki főbejárat | | 91 | 95 | 96 | 97 | 100 | 49 | 95 |
| Csontház | 40* | 95 | 97 | 97 | 99 | 100 | 95 | 97 |
| Teknősbéka | 140** | 97 | 97 | 98 | 99 | 100 | 94 | 98 |
| Felszabadulási-ág | | 91 | 96 | 98 | 96 | 100 | 69 | 95 |
| Tigris-terem | 250* | 96 | 98 | 98 | 98 | 100 | 95 | 98 |
| Oszlopok csarnoka | 200** | 98 | 98 | 99 | 99 | 100 | 97 | 99 |
| Denevér-ági bejárat | | 99 | 98 | 93 | 98 | 100 | 82 | 97 |
| Főág (Vöröstónál) | | 99 | 98 | 98 | 99 | 100 | 95 | 99 |
| Vetődéses terem | 450*** | 98 | 99 | 99 | 99 | 100 | 95 | 99 |
| Legfiatalabb terem | 200*** | 97 | 99 | 98 | 99 | 100 | 92 | 98 |
| Bejáratától | 100*** | 95 | 95 | 98 | 99 | 100 | 86 | 97 |
| Jósvafői bejárat | | 86 | 96 | 98 | 98 | 100 | 66 | 95 |

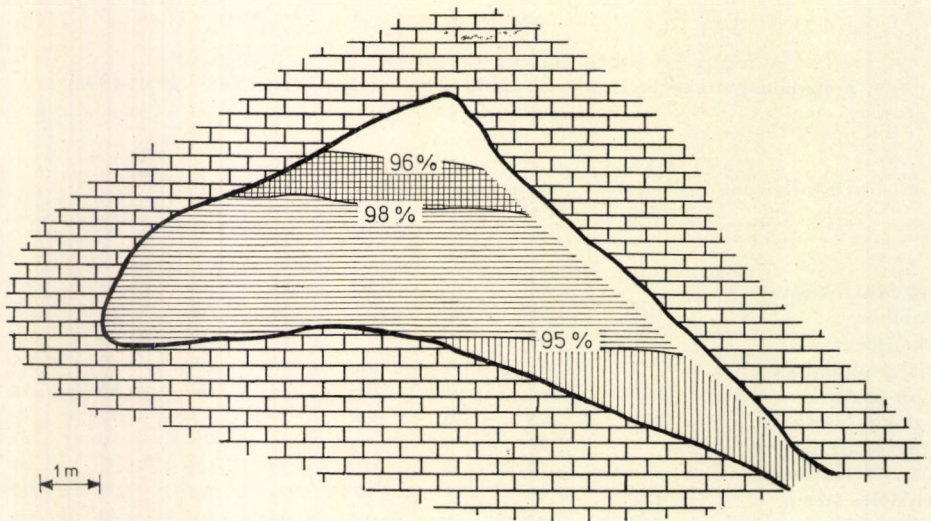
| Hely | Távolság a bejáratától (m) | 150 cm | | | | | | |
|---------------------|----------------------------|----------------|--------------------|--------------------|---------------|---------|---------|-----------|
| | | Tél (XII–I–II) | Tavaszi (III–IV–V) | Nyár (VI–VII–VIII) | Ősz (IX–X–XI) | Maximum | Minimum | Évi átlag |
| Aggteleki főbejárat | | 94 | 96 | 96 | 96 | 100 | 89 | 96 |
| Csontház | 40* | 94 | 96 | 97 | 98 | 100 | 92 | 96 |
| Teknősbéka | 140** | 98 | 97 | 98 | 98 | 100 | 92 | 98 |
| Felszabadulási-ág | | 93 | 96 | 97 | 96 | 100 | 73 | 96 |
| Tigris-terem | 250* | 96 | 98 | 98 | 98 | 100 | 95 | 98 |
| Oszlopok csarnoka | 200** | 97 | 98 | 98 | 99 | 100 | 95 | 98 |
| Denevér-ági bejárat | | 97 | 98 | 88 | 98 | 100 | 65 | 95 |
| Főág (Vöröstónál) | | 97 | 99 | 98 | 99 | 100 | 93 | 98 |
| Vetődéses terem | 450*** | 97 | 98 | 98 | 98 | 100 | 95 | 98 |
| Legfiatalabb terem | 200*** | 96 | 98 | 98 | 98 | 100 | 94 | 98 |
| Bejáratától | 100*** | 94 | 95 | 97 | 98 | 99 | 92 | 96 |
| Jósvafői bejárat | | 91 | 94 | 96 | 98 | 99 | 88 | 95 |

* Aggteleki főbejáratától mért távolság.

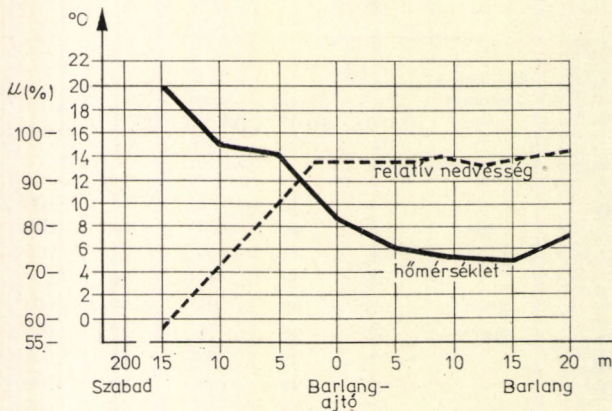
** Felszabadulási-ágtól mért távolság.

*** Jósvafői bejáratától mért távolság.

csökken, addig a viszonylagos nedvesség növekszik. Télen minden olyan nyílásnál, ahol a száraz, hideg levegő befelé áramlik, mind a relatív nedvesség, mind a hőmérséklet, sőt a párányomás is növekszik a barlangba befelé haladva. Ennek az az oka, hogy a szabadból a barlangba beáramló száraz, hideg levegő fokozatosan felmelegszik, ugyanakkor a barlang nedves falai bő párologtatási felületet biztosítanak, amelynek következtében olyan nagymennyiségű vízgőz kerül a levegőbe, hogy a viszonylagos nedvességtartalom is növekszik.



31. ábra. A relatív nedvesség eloszlása a Csontházban (Baradla-barlang), 1960. VII. 31.



32. ábra. A léghőmérséklet és a relatív nedvesség alakulása a Baradla-barlang bejáratánál, 1959. VII. 19.

A relatív nedvesség ingadozása a barlang nyílásainak mesterséges lezárása (ajtók beépítése) előtt a mainál sokkal jelentősebb volt. Ezt DUDICH E. adatai (1932a) igazolják.

1.1.7. A RELATÍV NEDVESSÉG TÉRBELI VÁLTOZÁSAI A BARADLA-DOMICA-BARLANGRENDSZERBEN

A relatív nedvesség függőleges különbségei 10 és 150 cm között nem nagyok. A barlang bejáratainál ott jelentősebbek, ahol akár nyáron, akár télen a külső levegő befelé áramlik (pl. Jósavafői bejárat, Aggteleki főbejárat, Felszabadulási-ágban télen, a Denevér-ágban nyáron), a barlang belsejében egész éven át alacsonyok (0–2%), nyáron pedig 1%-ot sem haladják meg.

A relatív nedvesség eloszlását elemző keresztmetszet-vizsgálatok azt bizonyítják, hogy a függőleges különbségek a magasabb szinteken jelentősebbek mint a vízszinte-

sek. A relatív nedvesség erős csökkenése éppen 150 cm felett az ún. „melegebb zónában” következik be, ahol a vízszintes légáramlás jelentősen csökken – a mennyezet alakulásától függően esetleg meg is szűnik – a hőmérséklet pedig rohamosan növekszik.

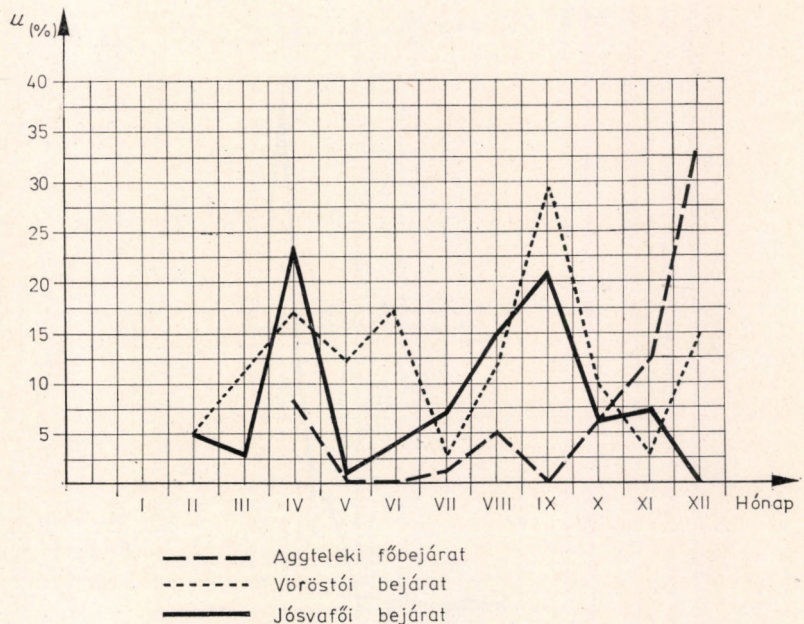
1.1.8. A RELATÍV NEDVESSÉG IDŐBELI VÁLTOZÁSA A BARADLA-DOMICA-BARLANGRENDSZERBEN

A relatív nedvesség napi menetében törvényszerű, szabályos változások nem mutathatók ki. A bejáratokban, ahol a külső hideg levegő befelé áramlik, a relatív nedvesség értékeiben is mutatkozik ingadozás (33. ábra), ez azonban kis távolságon belül már minimálisra csökken.

A barlang belseje az év során sem változik szélsőségesen, ezt mutatják a havi átlagok. A bejáratok szélső értékeiben mutatkozik ingadozás, ebből azonban nem lehet a hőmérséklethez, ill. a párányomáshoz hasonló törvényszerűséget kiolvasni. A relatív nedvesség abszolút maximuma 10 cm magasan mindig 100%, de 150 cm magasan is csupán egyetlen ponton marad 99%. A nyáron mindig meleg Denevér-ágra jellemző relatív nedvesség és léghőmérséklet változását jól tükrözi a már tárgyalt 5. ábra is. Itt a relatív nedvesség növekedése a barlangba befelé áramló levegőben egyenletesebb.

A barlang belsejében az abszolút maximumok mindenhol (10 és 150 cm-en egyaránt) 100%-os párateltséget mutatnak. Ezekből az értékekből arra lehet következtetni, hogy a telítettség állapota gyakran fellép.

A minimumok a bejárati térségekben télen alakulnak ki, de a barlang belsejében ezek alig 1%-os relatív nedvességszökkenést jelentenek.



33. ábra. A relatív nedvesség havi szélső ingadozásai a Baradla-barlang különböző bejáratainál 1929 évből (DUDICH után)

1.1.9. A RELATÍV NEDVESSÉG SŰRŰSÉGFÜGGVÉNYE
A BARADLA-DOMICA-BARLANGRENDSZERBEN

A barlangrendszer relatív nedvességének sűrűségfüggvénye (34. ábra) tükrözi, hogy a barlangra legjellemzőbb értékek 98–100% között változnak.

A leggyakrabban előforduló nedvességi érték a 99%, melynek valószínűsége önmagában is 33,8%, 75%-os valószínűségi szinten számolhatunk a 98–100% közötti, 90%-os valószínűségi szinten pedig a 96–100% közötti értékekkel.

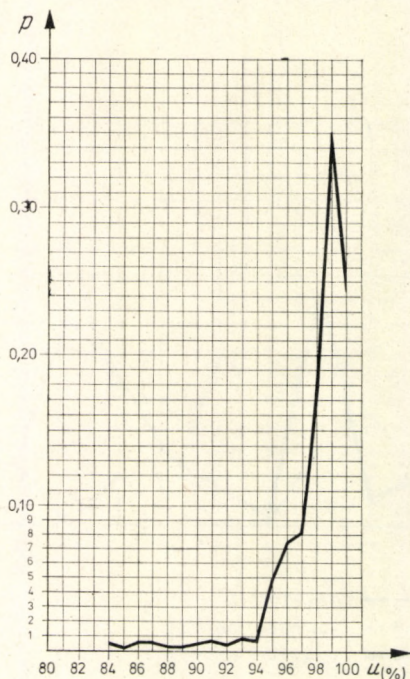
A tapasztalati sűrűségfüggvény azt is mutatja, hogy a szélső esetek közül az alacsony értékek kis gyakorisággal fordulnak elő, míg a 100%-os telítettség az adathalmaz 1/4 részét teszi ki, előfordulási valószínűsége 24%.

1.2. PÁRANYOMÁS-VISZONYOK AZ ABALIGETI-BARLANGBAN

Az Abaligeti-barlangban a párányomás tapasztalati átlaga $\bar{x}(e) = 12,39$ mbar. A 99,9%-os valószínűségi szinten várható középérték pedig $\mu(e) = 12,39 \pm 0,1$ (mbar); $n = 4746$.

1.2.1. A PÁRANYOMÁS TÉRBELI VÁLTOZÁSAI AZ ABALIGETI-BARLANGBAN

A párányomás értéke a bejáratától a barlang belseje felé, a hossz tengely mentén egész évben növekszik (XIV. táblázat). Évi átlagban ez a változás a teljes hossz mentén 10 cm magasan 3,86 mbar és 150 cm magasan pedig 3,46 mbar. Természete-



34. ábra. A relatív nedvesség empirikus sűrűségfüggvénye a Baradla-Domica-barlangrendszerből

sen télen jelentékenyebb a változás, mintegy két-háromszorosa az évi közepes növekedésnek, nyáron viszont a bejáratától a legfelsőbb részekig alig tizedrésze a télinek. Ennek az az oka, hogy télen az alacsony vízgőztartalmú hűvös, sőt hideg levegő a barlangon végigáramlik, közben jelentősen felmelegszik és hozzávetőlegesen m^3 -ként 5–5,5 g vízgőzt vesz fel. A jelenség arra enged következtetni, hogy télen erős a párolgás, és ez ad magyarázatot a barlangok egy részének erős téli kiszáradására is. Tavasszal és ősszel még felismerhető ez a jelenség, a különbségek mértéke azonban már sokkal kisebb.

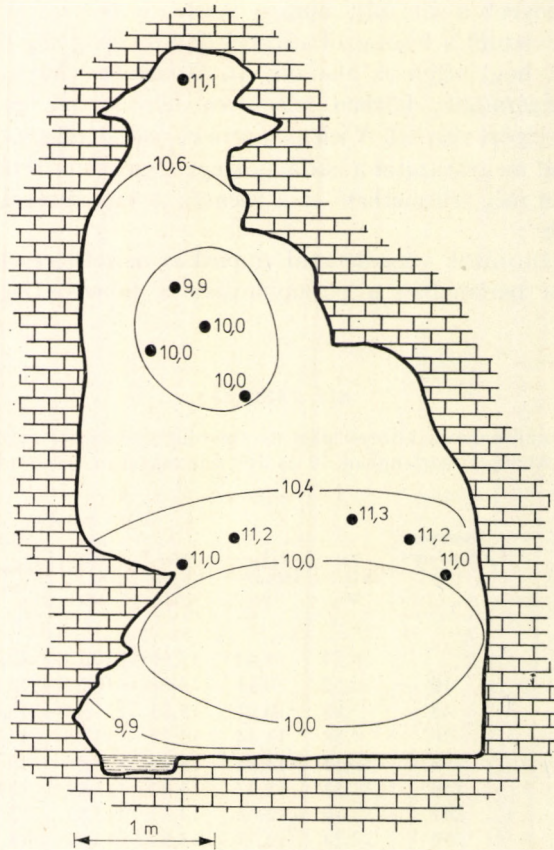
A függőleges változások vizsgálatánál empirikus összefüggések alapján megállapíthatjuk, hogy a barlangban a párányomásra a hőmérséklet elrendeződéséhez

XIV. TÁBLÁZAT

A párányomás középértékei és abszolút szélsőségei (mbar)
az Abaligeti-barlangban 10 és 150 cm magasan (1966–1973)

| Hely | Távolság a bejáratától (m) | 10 cm magasan | | | | | | |
|--------------------|----------------------------|----------------|--------------------|--------------------|---------------|---------|---------|-----------|
| | | Tél (XII–I–II) | Tavaszi (III–IV–V) | Nyár (VI–VII–VIII) | Ősz (IX–X–XI) | Maximum | Minimum | Évi átlag |
| Bejárat | | 6,25 | 9,44 | 12,66 | 10,24 | 13,83 | 2,13 | 9,58 |
| Bejárat | 10 | 6,52 | 10,11 | 13,03 | 10,37 | 13,83 | 2,93 | 9,98 |
| I. oldalág | 45 | 7,98 | 10,91 | 13,03 | 11,31 | 13,43 | 4,12 | 10,77 |
| Korona | 70 | 9,58 | 11,44 | 13,17 | 12,10 | 13,57 | 3,59 | 11,57 |
| Pisai ferdetoronny | 94 | 10,11 | 11,84 | 13,33 | 12,50 | 13,70 | 7,85 | 11,97 |
| Flórián-forrás | 159 | 11,31 | 12,37 | 13,43 | 13,03 | 13,97 | 8,91 | 11,50 |
| Hajóágyú | 247 | 12,10 | 12,66 | 13,43 | 13,17 | 13,70 | 11,17 | 12,90 |
| Lengőkő | 250 | 12,24 | 12,77 | 13,33 | 13,17 | 13,70 | 11,84 | 12,90 |
| Karthago romjai | 300 | 12,66 | 12,90 | 13,43 | 13,17 | 13,70 | 11,44 | 13,03 |
| II. oldalág | 338 | 12,90 | 13,03 | 13,43 | 13,43 | 13,83 | 12,66 | 13,17 |
| Nagy-terem | 415 | 13,17 | 13,17 | 13,43 | 13,43 | 13,83 | 12,50 | 13,33 |
| Színház-terem | 420 | 13,33 | 13,43 | 13,57 | 13,57 | 13,97 | 12,77 | 13,43 |

| Hely | Távolság a bejáratától (m) | 150 cm magasan | | | | | | |
|--------------------|----------------------------|----------------|--------------------|--------------------|---------------|---------|---------|-----------|
| | | Tél (XII–I–II) | Tavaszi (III–IV–V) | Nyár (VI–VII–VIII) | Ősz (IX–X–XI) | Maximum | Minimum | Évi átlag |
| Bejárat | | 6,12 | 10,11 | 13,70 | 10,24 | 17,02 | 2,39 | 10,11 |
| Bejárat | 10 | 6,65 | 10,24 | 13,03 | 10,64 | 14,23 | 2,93 | 10,11 |
| I. oldalág | 45 | 8,25 | 11,17 | 13,17 | 11,70 | 13,83 | 3,46 | 11,04 |
| Korona | 70 | 9,98 | 11,70 | 13,17 | 12,37 | 13,70 | 6,78 | 11,84 |
| Pisai ferdetoronny | 94 | 10,64 | 12,10 | 13,33 | 12,77 | 13,70 | 9,31 | 12,24 |
| Flórián-forrás | 159 | 11,70 | 12,66 | 13,57 | 13,33 | 14,10 | 9,44 | 12,77 |
| Hajóágyú | 247 | 12,24 | 12,77 | 13,57 | 13,33 | 13,83 | 11,44 | 13,03 |
| Lengőkő | 250 | 12,37 | 12,90 | 13,43 | 13,33 | 13,83 | 12,10 | 13,03 |
| Karthago romjai | 300 | 12,77 | 13,03 | 13,57 | 13,33 | 13,97 | 11,44 | 13,17 |
| II. oldalág | 338 | 13,03 | 13,33 | 13,57 | 13,57 | 13,97 | 12,64 | 13,33 |
| Nagy-terem | 415 | 13,33 | 13,33 | 13,57 | 13,57 | 13,97 | 12,77 | 13,43 |
| Színház-terem | 420 | 13,43 | 13,43 | 13,70 | 13,70 | 14,10 | 12,90 | 13,57 |



35. ábra. A páranymás függőleges eloszlása (Hgm) az Abaligeti-barlangban a bejáratától kb. 140 m távolságban, 1971. VIII. 21. (1 Hgm = 1,33 mbar)

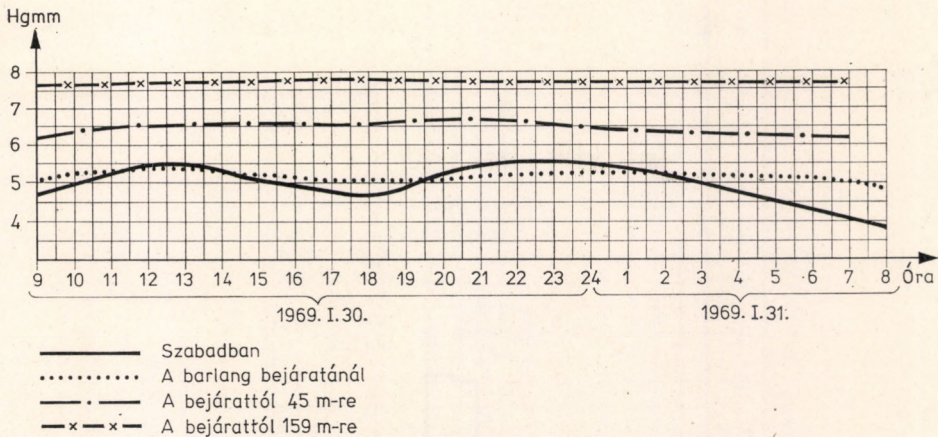
hasonlóan a függélyes menti növekedés jellemző. Az értékek változásában mutakozó különbségek alapján ugyancsak elhatárolhatjuk a barlang belső, kiegyenlített légtérét — különösen télen — a nagyobb változékonyságú bejárat környéki zónától.

A függőleges változékonyságot nyáron a 35. ábra szemlélteti.

1.2.2. A PÁRANYOMÁS IDŐBELI VÁLTOZÁSAI AZ ABALIGETI-BARLANGBAN

A páranymás rövid periódusú változásai a barlang légtérére nem jellemzők. Nyáron napi periódusos változás nem mutatható ki, télen is csak a bejáratához közel (36. ábra). Általánosíthatjuk, hogy télen a páranymás függőleges változásának mértéke 1 m magasságkülönbségnél a bejáratnál egyharmadával, a bejáratától kb. 40–50 m-re egyötödével kevesebb, mint a vízszintes irányban 1 m-en belül bekövetkező változás. Időben ugyanakkor, a hőmérséklethez hasonlóan, némi késés jellemzi ezeket a változásokat. A barlang belsejében a felszínre jellemző változások mintegy huszadrésznnyire csökkennek.

Az évi menet törvényszerűségeinek vizsgálatához ismét vegyük figyelembe a XIV. táblázatot.



36. ábra. A páryanomás napi menete az Abaligeti-barlang különböző pontjain, 10 cm magasan, 1969. I. 30–31-én (1 Hgmm = 1,33 mbar)

A minimumok 10 és 150 cm magasságban január–februárban jelentkeznek. Ez természetes is, hisz a barlang legnagyobb vízgőzvesztése ezekben a hónapokban van. A nedvességforgalom ekkor az erőteljesebb párologtatás révén energiavesztést okoz a barlangban.

Májustól szeptemberig a nedvességforgalom növeli a barlangi hőenergiabevételt (kondenzációs hőnyereség). A páryanomás évi menetében a csúcs júliusban jelentkezik, a felszíni páryanomáshoz hasonlóan. A szeptemberi lehülések alkalmával a barlang bejáratánál már mutatkozik a vízgőzvesztés, a nedvességforgalom a barlang és a felszín közötti szállítás szempontjából azonban ekkor van egyenlegben (szemben a hőenergiaegyenleggel, amelyben még a felszíni levegőtömegek is adnak át hőt a barlang belső légtérének).

Októberben már tekintélyesebb mennyiségű vízgőzt ad le a barlang a külső légtérnek, amely a bejárat zóna veszteségeként jelentkezik: itt erősebben megindul a páryanomás csökkenése, amely novemberben és decemberben már az egész barlangra átterjed (néhány legbelsőbb termet kivéve).

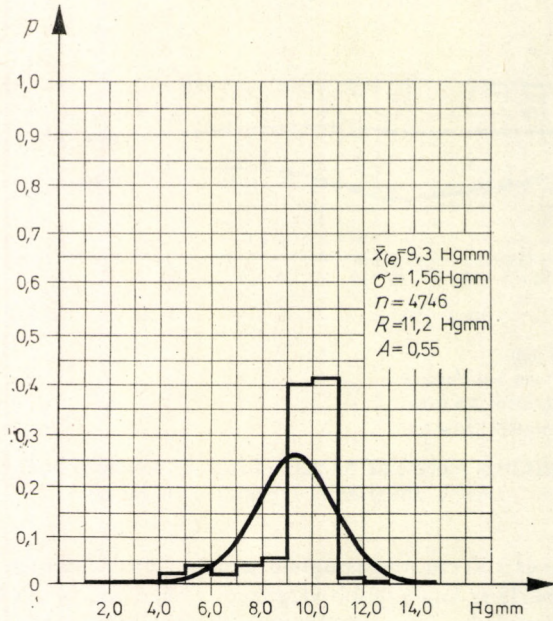
A páryanomás abszolút szélsőségeinek a változása a barlang belsejében kb. 1,3–4,0 mbar-t tesz ki (10,0–14,13 mbar). A szélső értékek kialakulására jellemző, hogy azok időpontja egybeesik a hőmérsékleti szélsőértékekkel (l. a XIV. táblázatot).

1.2.3. A PÁRYANOMÁS EMPIRIKUS VALÓSZÍNŰSÉGI SŰRŰSÉGFÜGGVÉNYEI AZ ABALIGETI-BARLANGBAN

A barlangból származó összes páryanomás érték sűrűségfüggvényéhez (37. ábra) tartozó paraméterek az alábbiak:

$$\begin{aligned}\bar{x}(e) &= 12,4 \text{ mbar}; \sigma = 2,08 \text{ mbar}; \\ n &= 4746; R = 14,93 \text{ mbar}.\end{aligned}$$

A páryanomás-adathalmaz eloszlásának normalitás-vizsgálatát – a hőmérséklet eloszlásának elemzéséhez hasonlóan – grafikus eljárással is elvégeztük, ezt követően az χ^2 próba alapján bizonyítást nyert, hogy a tapasztalati sűrűségfüggvény szignifi-



37. ábra. A párányomás empirikus sűrűségfüggvénye az Abaligeti-barlangban
(1 Hgmm = 1,33 mbar)

kánsan eltér a normális eloszlás sűrűségfüggvényétől ($p < 0,05$). Az adathalmaz tapasztalati úton – a léghőmérséklet elemzésénél leírtak szerint – szétbontható a barlang belsejére és a bejárati szakaszra.

A bejárati szakasz párányomásának sűrűségfüggvényét paramétereivel jellemezzük: $\bar{x}(e) = 10,79 \text{ mbar}$; $\sigma = 2,93 \text{ mbar}$; $n = 1474$; $R = 14,93 \text{ mbar}$. A térség párányomásának tapasztalati átlaga több mint 1,33 mbar-ral alacsonyabb a barlang egészére jellemző értéknél és közel 2,67 mbar-ral a belső térség átlagánál. Ebben a téli időszakra jellemző alacsony párányomás-értékek tükröződnek vissza. A szórás értéke viszont másfélszerese a barlang egészére jellemző értéknek, és négyszerese a barlang egész belsejében tapasztaltaknak. Mindez a bejárat változékonyságára utal. Ugyanezt erősítik meg a barlang kis légtereire (termeire) számított szórás-értékek, melyek csökkenését, a bejáratától a barlang belseje felé, néhány jellemző pontra az alábbiakban ismertetjük:

| | A bejáratától mért távolság (m) | Évi átlag (mbar) | A szórás értéke (mbar) | Az esetek száma |
|-------------------|---------------------------------|------------------|------------------------|-----------------|
| Barlang bejárata | 0 | 9,86 | 10,39 | 206 |
| I. oldalág | 45 | 10,93 | 5,86 | 206 |
| Pisai ferdetorony | 94 | 12,13 | 1,73 | 206 |
| Flórián-forrás | 159 | 12,66 | 0,80 | 206 |
| Lengőkő | 250 | 13,06 | 0,27 | 206 |

A bejáratnál a párányomás nyáron sokkal homogénebb mint télen, mert nyáron — többnyire — a barlangból kifelé áramló légtömegek nedvességviszonyait a barlang belső térségeire jellemző fizikai állapotok határozzák meg. Az adatok 90%-os valószínűségi szinten csupán a 12,00 és 14,53 mbar közti kategóriában változnak. E kategóriától jelentéktelenül térnek el az alacsonyabb vagy magasabb értékek felé. Az eltéréseket (alig 8%-os valószínűségi szinten) a következőkkel magyarázhatjuk.

1. Ha kismértékben is, de nyári helyzetben is előfordul a barlangi légáramlás irányának változása, aminek következménye, hogy rövid időre ugyan, de a bejáratnál a légterét a felszíni eredetű, változó nedvességtartalmú légtömegek uralják.

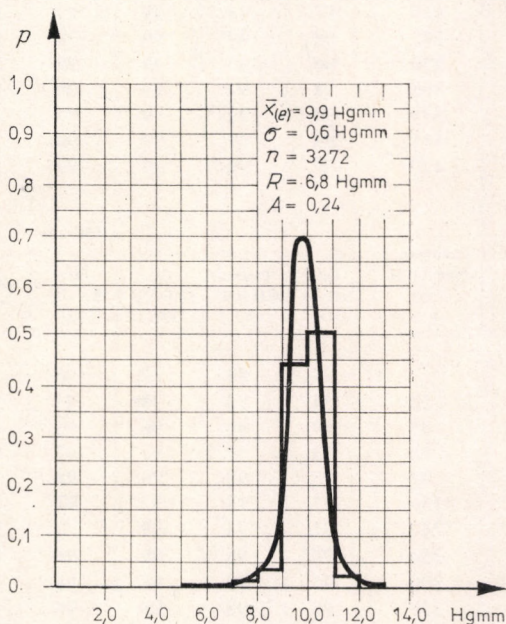
2. Különbségek adódnak a párányomás értékeiben a függőleges elrendeződésből adódóan is (az utóbbi a két okozat közül másodrendű).

Nyáron a barlang bejáratának környékét a megfigyelések alapján $\bar{x}(e) = 13,2$ mbar-os középérték jellemzi 0,93 mbar-os szórás mellett. A 99,9%-os valószínűségi szinten várható elméleti közép nagysága: $\mu(e) = 13,2 \pm 0,1$ (mbar).

A nedvességviszonyokra jellemző, hogy a barlang áprilisban és októberben mentes az erős szélsőségektől. A nyári állapothoz viszonyítva növekszik a szórás értéke. A 8 mbar alatti értékek nem egészen 5%-os valószínűséggel jellemzik az átmeneti időszakot. Egyetlen osztályköz (a 12,0–13,2 mbar) az összes esetek közel 60%-át öleli fel.

A párányomás értékeinek alakulása is arról tanúskodik, hogy a barlang belsejének klímája kiegyenlített.

A 99,9%-os valószínűségi szinten meghatározott várható érték: $\mu(e) = 13,2 \pm 0,04$ (mbar).



38. ábra. A¹párányomás empirikus valószínűségi sűrűségfüggvénye az Abaliget-barlang belsejéből (1 Hgmm = 1,33 mbar)

Az empirikus sűrűségfüggvényből (38. ábra) kitűnik, hogy az 5%-os valószínűségi szinthez a 10,53 mbar alatti értékek tartoznak, a 99%-os valószínűségi szinthez a 13,2 mbar alatti értékek sorolhatók.

A tapasztalati sűrűségfüggvény tanulmányozása alapján levonhatjuk azt a következtetést, hogy a barlang belső térségét – ahol a szeleoterápiás eljárást is alkalmazzák – a 12,0–14,53 mbar közötti párányomás értékek uralják 94%-os valószínűségi szinten. Ez a nedvességviszonyok homogenitását jelenti a barlang belső légtérében. A 12,0 és 14,53 mbar-os kategórián belüli kis különbségek a párányomás térbeli eloszlásából adódnak.

XV. TÁBLÁZAT

A relatív nedvesség középértékei és abszolút szélsőségei (%) az Abaliget-barlangban 10 és 150 cm magasan (1966–1973)

| Hely | Távolság a bejáratától (m) | 10 cm | | | | | | |
|--------------------|----------------------------|----------------|--------------------|--------------------|---------------|---------|---------|-----------|
| | | Tél (XII–I–II) | Tavaszi (III–IV–V) | Nyár (VI–VII–VIII) | Ősz (IX–X–XI) | Maximum | Minimum | Évi átlag |
| Bejárat | | 85 | 90 | 98 | 94 | 100 | 60 | 92 |
| Bejárat | 10 | 87 | 93 | 99 | 95 | 100 | 51 | 93 |
| I. oldalág | 45 | 89 | 96 | 99 | 96 | 100 | 55 | 95 |
| Korona | 70 | 93 | 98 | 99 | 97 | 100 | 44 | 97 |
| Pisai ferdetoronny | 94 | 95 | 98 | 99 | 98 | 100 | 81 | 97 |
| Flórián-forrás | 159 | 97 | 98 | 99 | 99 | 100 | 85 | 98 |
| Hajóágyúk | 247 | 98 | 99 | 99 | 99 | 100 | 92 | 99 |
| Lengőkő | 250 | 98 | 99 | 99 | 99 | 100 | 94 | 99 |
| Karthago romjai | 300 | 98 | 99 | 99 | 99 | 100 | 95 | 99 |
| II. oldalág | 338 | 98 | 99 | 99 | 99 | 100 | 94 | 99 |
| Nagy-terem | 415 | 99 | 99 | 99 | 99 | 100 | 93 | 99 |
| Színház-terem | 420 | 99 | 99 | 99 | 99 | 100 | 98 | 99 |

| Hely | Távolság a bejáratától (m) | 150 cm | | | | | | |
|--------------------|----------------------------|----------------|--------------------|--------------------|---------------|---------|---------|-----------|
| | | Tél (XII–I–II) | Tavaszi (III–IV–V) | Nyár (VI–VII–VIII) | Ősz (IX–X–XI) | Maximum | Minimum | Évi átlag |
| Bejárat | | 83 | 84 | 92 | 90 | 100 | 52 | 87 |
| Bejárat | 10 | 84 | 93 | 98 | 94 | 100 | 48 | 92 |
| I. oldalág | 45 | 89 | 96 | 98 | 96 | 100 | 42 | 95 |
| Korona | 70 | 93 | 97 | 98 | 97 | 100 | 74 | 96 |
| Pisai ferdetoronny | 94 | 95 | 98 | 99 | 98 | 100 | 82 | 98 |
| Flórián-forrás | 159 | 97 | 98 | 97 | 97 | 100 | 85 | 97 |
| Hajóágyúk | 247 | 97 | 98 | 99 | 98 | 100 | 94 | 98 |
| Lengőkő | 250 | 98 | 98 | 99 | 99 | 100 | 96 | 98 |
| Karthago romjai | 300 | 97 | 99 | 98 | 98 | 100 | 92 | 98 |
| II. oldalág | 338 | 98 | 98 | 98 | 98 | 100 | 93 | 98 |
| Nagy-terem | 415 | 98 | 98 | 98 | 99 | 100 | 93 | 98 |
| Színház-terem | 420 | 98 | 98 | 98 | 98 | 100 | 95 | 98 |

1.2.4. A LEVEGŐ RELATÍV NEDVESSÉGE AZ ABALIGETI-BARLANGBAN

A barlangra jellemző relatív nedvesség középértéke $\bar{x}(u) = 96\%$ ($n = 4611$), a hozzátartozó szórás értéke 7% . A kapott átlag valamivel magasabb a régebbi szerzők által megállapított átlagnál. A viszonylagos nedvesség $99,9\%$ -os valószínűségi szinten várható középértéke a barlangban:

$$\mu(u) = 96 \pm 0,4 (\%).$$

1.2.5. A RELATÍV NEDVESSÉG TÉRBELI ELOSZLÁSA AZ ABALIGETI-BARLANGBAN

A viszonylagos nedvesség évszakos és évi átlagai alapján megállapítható, hogy az értékek a bejáratoktól a barlang legbelsőbb pontjai felé növekszenek (*XV. táblázat*).

Ennek az állapotnak a kialakításában jelentős szerepe van a téli időjárásnak.

A térbeli elrendeződés másik törvényszerűsége, hogy a relatív nedvesség értékei – a hőmérséklettel és párányomással ellentétben – alulról felfelé csökkennek. 10 és 150 cm között azonban januárban nincsenek lényeges különbségek, ugyanis ebben a légrétegben erősen érvényesül a szabadból beáramló felszíni levegő hatása, az élelőbb különbségek a 150 cm felett levő légrétegben alakulnak ki.

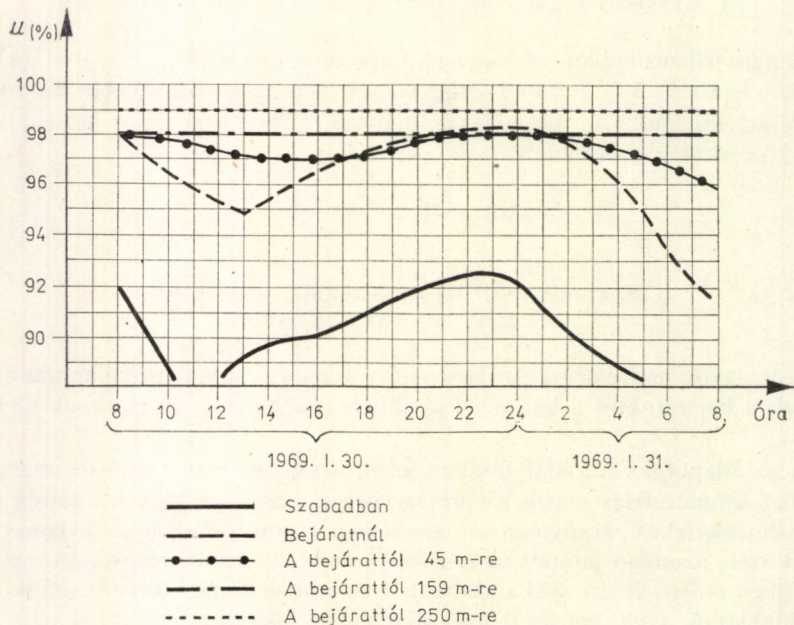
1.2.6. A RELATÍV NEDVESSÉG IDŐBELI VÁLTOZÁSAI AZ ABALIGETI-BARLANGBAN

Az Abaligeti és a hozzá hasonló rendszerű barlangokban a relatív nedvesség felszíni változásai (pl. a felszíni napi menet) csak télen és csupán a barlang bejárat térségében éreztetik hatásukat. Itt a relatív nedvesség napi menetének görbéje télen jó közelítéssel követi a felszín relatív nedvességgörbéjének futását (*39. ábra*), de függ a külső levegő hőmérsékletétől, a vízgőznyomástól is. A barlangba befelé haladva ezek a változások egyre kisebbek lesznek, és némi késéssel követik a felszíni értéket. 160 m mélyen pedig már semmi változást sem okoz a felszín rövid periódusú – 24 óra – ingadozása.

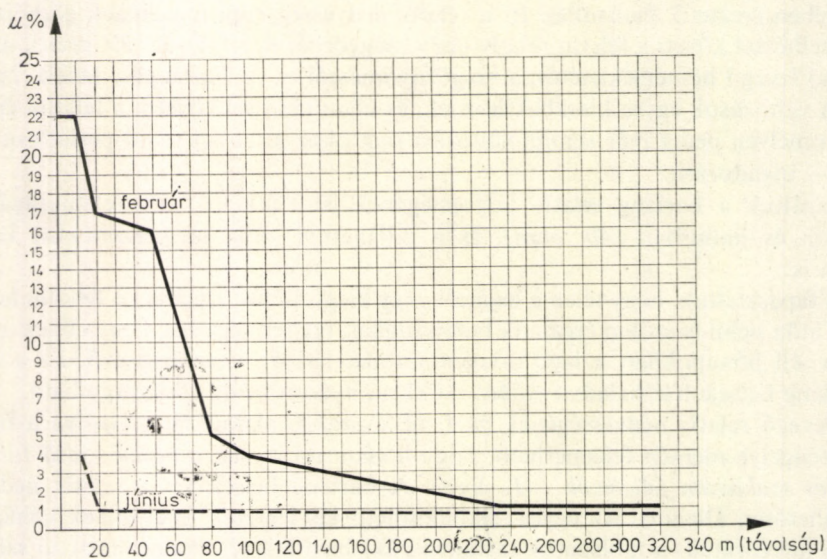
Vizsgáltuk a barlang relatív nedvességének havi átlagos változékonyságát februárban és júniusban (*40. ábra*), és a pillanatnyi időjárási helyzetekkel kapcsolatban is.

Azt tapasztaltuk, hogy télen a bejárat vagy kiegyenlítési zónában a felszíni hatások rövid időn belül is erősen éreztetik befolyásukat, így természetes, hogy ebben a zónában a téli hónapokban a havi átlagos változékonyság is számottevő. Ez azonban a barlang belseje felé haladva erősen csökken, nyáron pedig elhanyagolható.

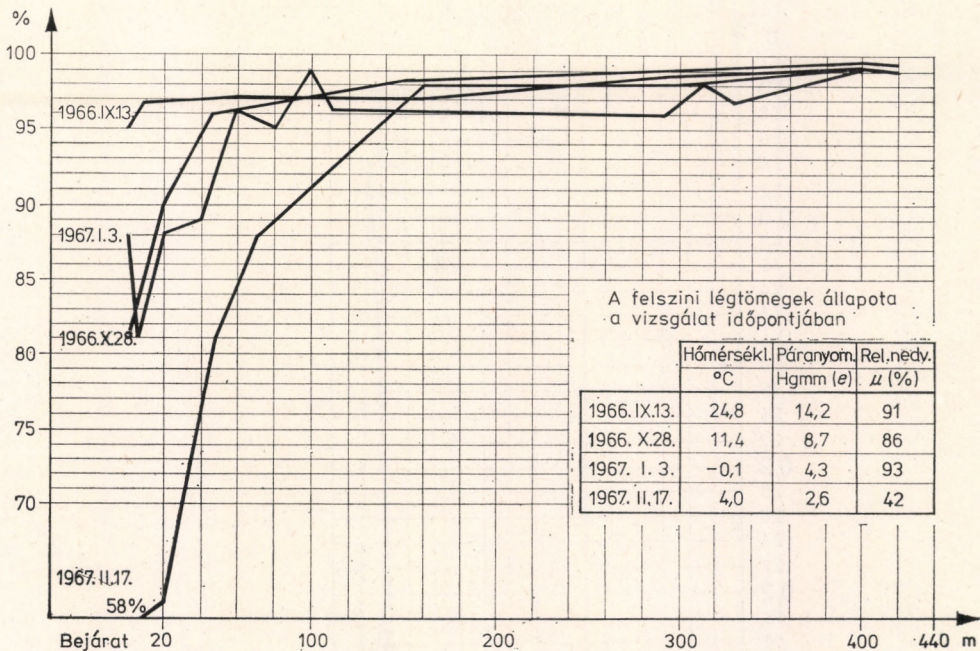
A levegő relatív nedvességének havi, ill. évszakos alakulását vizsgálva a barlang hossz tengelye mentén felismerhető, hogy a változások csak a barlang első 100–150 méteres szakaszán jellemzők (*41. ábra*). A barlang belsejében a relatív nedvesség meglehetősen állandó. Az egyes, elkülöníthető kis légterek (melyeknek néhány jellemző mérőszámát a táblázatok tartalmazzák) havi átlagértékeihez tartozó szórások is mindenhol 1% alatt maradnak: $\sigma(u) < 1\%$. A szélső ingások pedig egy-egy ilyen kis légtérben sehol sem haladták meg a 10% -ot (a Színház-teremben pl. 5%).



39. ábra. A relatív nedvesség (%) napi menete az Abaligeti-barlang különböző pontjain, 150 cm magasan, 1969. I. 30-31-én



40. ábra. A relatív nedvesség (%) február és június havi átlagos változékonysága az Abaligeti-barlangban, 150 cm magasságban

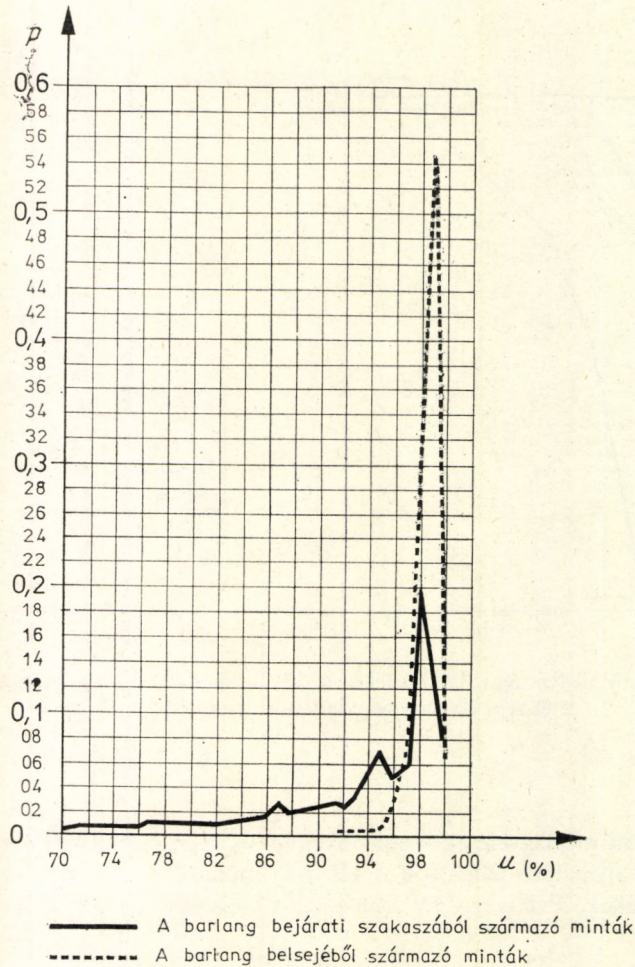


41. ábra. A relatív nedvesség (%) alakulása az Abaligeti-barlangban különböző időjárási helyzetekben, 200 cm magasan (1 Hgmm = 1,33 mbar)

A tapasztalati megfigyelések eredményeinek összegezéséből kitűnik, hogy a relatív nedvesség évi menetére jellemzők a téli minimumok és a nyári, valamint az őszi maximum-értékek. Ezt igazolják az abszolút szélsőségek előfordulásai is.

A relatív nedvesség empirikus valószínűségi sűrűségfüggvénye az Abaligeti-barlangban

A bejáratú térség és a barlang belsejének relatív nedvesség tapasztalati sűrűségfüggvényeit egybevetve (42. ábra), szembevetően kiugrik a bejáratú zóna változékonysága, amely a levegő nedvességviszonyait befolyásoló külső meteorológiai tényezőkre utal (a felszíni téli légtömegek állandóan változó nedvességviszonyainak közvetlen hatása, nyáron a barlang belsejének homogén hatása stb.). Ezek a függvények ugyancsak rávilágítanak a barlang belsejének kiegyenlítettebb voltára. A 96%-os vagy annál alacsonyabb nedvességértékek alig 2%-os valószínűséggel fordulnak elő, és 90%-os valószínűséggel várhatók a 97%-os vagy annál nagyobb relatív nedvességi értékek. A 99%-os relatív nedvességi értékek előfordulási valószínűsége 54%; a 100%-os párateltségnek pedig mintegy 8%-os valószínűsége van. Ez elsősorban nyáron és kora ősszel fordul elő, amikor a barlang nedvessége a beszivárgó karsztvizekből és a felszín páradús légtömegeiből egyaránt táplálkozik (konduktív révén).



42. ábra. A relatív nedvesség tapasztalati sűrűségfüggvényei az Abaligeti-barlangból

2. KOMFORTÉRZETET KELTŐ BARLANGOK

2.1. PÁRANYOMÁS-VISZONYOK A TAPOLCAI-TAVASBARLANGBAN

A tavasbarlang párányomásának átlagos értéke 19,86 mbar, amely középértékhez $\sigma = 2,0$ mbar szórás tartozik. Az átlag 99,9%-os valószínűségi szinten meghatározott konfidencia-intervalluma:

$$\mu(e) = 19,86 \pm 0,01 \text{ (mbar)}.$$

Bár a tavasbarlangnál nem különböztettünk meg bejárati és belső térséget, a nedvességviszonyok alapján jól elkülönül a barlang ún. „száraz” része a vízfolyásos térségtől. Az utóbbi részeken jelentősen megnövekszik a párányomás értéke is.

A párányomás évi menetének elemzése során mutatkozott az a törvényszerűség, hogy a barlang aktív vízfolyásos része a kiegyenlítettebb, kb. 21,33 és 22,0 mbar-os értékekkel, az ún. inaktív térségben viszont jelentősebbek a térbeli változások is (XVI. táblázat). A térbeli különbségek kialakulása összefügg az időbeli változásokkal.

XVI. TÁBLÁZAT

A párányomás középértékei és abszolút szélsőségei (mbar)
a Tapolcai-tavasbarlangban 10 és 150 cm magasan (1970–1973)

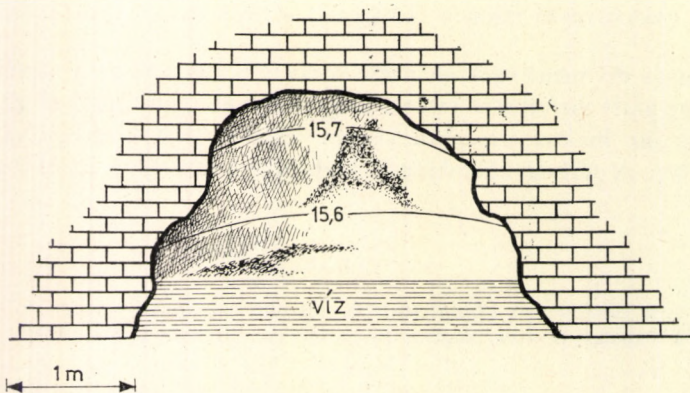
| Hely | Mérési pont | 10 cm magasan | | | | | | |
|-----------------------------|-------------|----------------|--------------------|--------------------|---------------|---------|---------|-----------|
| | | Tél (XII–I–II) | Tavaszi (III–IV–V) | Nyár (VI–VII–VIII) | Ősz (IX–X–XI) | Maximum | Minimum | Évi átlag |
| Lóczy-terem | 1* | 13,97 | 16,36 | 20,48 | 18,62 | 21,95 | 13,70 | 17,29 |
| Batsányi-terem | 2 | 16,75 | 18,75 | 20,62 | 19,28 | 21,15 | 16,36 | 18,89 |
| Legbelső-terem | 3 | 17,69 | 19,28 | 20,88 | 19,55 | 21,55 | 17,29 | 19,42 |
| Csónakázó tó partja | 4 | 16,49 | 18,22 | 21,01 | 19,15 | 21,95 | 15,96 | 18,75 |
| Patak felett | 5 | 20,62 | 21,15 | 21,41 | 20,88 | 21,95 | 20,48 | 21,01 |
| Patak felett (kanyar) | 6 | 20,88 | 21,28 | 21,41 | 21,15 | 21,95 | 20,62 | 21,15 |
| Patak felett kórházi átjáró | 7 | 20,62 | 21,15 | 21,28 | 21,01 | 21,81 | 20,35 | 21,01 |

| Hely | Mérési pont | 150 cm magasan | | | | | | |
|-----------------------------|-------------|----------------|--------------------|--------------------|---------------|---------|---------|-----------|
| | | Tél (XII–I–II) | Tavaszi (III–IV–V) | Nyár (VI–VII–VIII) | Ősz (IX–X–XI) | Maximum | Minimum | Évi átlag |
| Lóczy-terem | 1* | 17,56 | 19,15 | 21,28 | 19,68 | 23,67 | 17,16 | 19,42 |
| Batsányi-terem | 2 | 18,49 | 19,02 | 21,01 | 19,68 | 21,81 | 17,96 | 19,55 |
| Legbelső-terem | 3 | 18,75 | 19,82 | 21,41 | 20,08 | 22,61 | 18,35 | 20,08 |
| Csónakázó tó partja | 4 | 18,49 | 19,55 | 22,08 | 20,35 | 23,94 | 18,09 | 20,08 |
| Patak felett | 5 | 21,15 | 21,41 | 21,95 | 21,15 | 22,88 | 20,75 | 21,41 |
| Patak felett (kanyar) | 6 | 21,15 | 21,81 | 22,21 | 21,68 | 23,01 | 20,88 | 21,68 |
| Patak felett kórházi átjáró | 7 | 20,75 | 21,41 | 21,95 | 21,28 | 22,74 | 20,48 | 21,28 |

* A mérési pontok térbeli elhelyezését lásd a mellékelt térképen.

Télen, amikor a barlang alsóbb légrétegében – a felszínről beáramló szárazabb hideg levegő hatására – jelentősen csökken a párányomás értéke, a függőleges különbségek az inaktív részben különösen megnőnek. Ugyanakkor az aktív, melegvízes térségben – ahol a felszíni hatás nem érvényesül – a függőleges különbség elhanyagolható (1,5 m-es magasságkülönbségre mindössze 0,1 mbar; 43. ábra).

Nyáron a térbeli különbségek nem ilyen szélsőségesek, de a barlang belsejében is magasabbak mint télen (valószínűleg antropogén hatások következtében).



43. ábra. A párányomás (Hgmm) keresztmetszet szerinti elrendeződése a Tapolcai-tavasbarlang aktív vízfolyásos részéből, 1971. II. 24. (1 Hgmm = 1,33 mbar)

2.1.2. A PÁRANYOMÁS IDŐBELI VÁLTOZÁSAI

A párányomás napi menetét a Tapolcai-tavasbarlangban is vizsgáltuk. A 24 órás megfigyelések alapján változások ugyan adódtak, de azoknak – különösen természetes állapotban – nincs semmiféle kapcsolatuk a felszíni viszonyokra jellemző napi menettel. Rövid időn belül tehát itt sem érvényesülnek a felszíni hatások.

A havi középértékek alapján kitűnik, hogy a párányomásnak szabályos évi menete van, amely pontosan követi a barlang léghőmérsékletének menetét, januári minimummal és augusztusi maximummal (*XVI. táblázat*).

A párányomás értékei a barlang ún. „száraz” részében különösen novembertől csökkenni kezdnek jelentős mértékben és december, január, február együttes átlagai is 14,66 mbar alatt vannak 10 cm magasan. Az aktív, vízfolyásos részben azonban ekkor is 20 mbar fölött maradnak az átlagok, tehát a két barlangrész között jelentősek a különbségek.

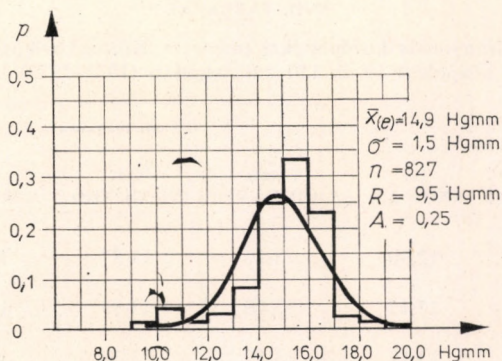
Tavasszal (márciustól májusig) az inaktív térségben erősebb ütemű növekedés indul meg, míg az aktív, vizes részben néhány tizedes emelkedés után 21,33 mbar fölé emelkednek az átlagok, 10 és 150 cm magasan egyaránt, és egészen december végéig – az augusztusi nyári maximumokat leszámítva – alig változnak.

A párányomás abszolút szélsőségei (l. a *XVI. táblázatot*) is jellemzik az évi menetet. A maximum-értékek augusztusban jelentkeznek, bár ebben a hónapban nehéz kiszűrni a sok látogató okozta zavarokat (augusztusban tetőzik az idegenforgalom is, mintegy 40–50 000 főnyi látogatóval).

Az abszolút minimumok januárban és februárban következnek be.

A Tapolcai-tavasbarlang párányomás értékeinek empirikus valószínűségi sűrűségfüggvénye vizsgálata alapján (*44. ábra*) megállapíthatjuk, hogy a 12,0–13,33 mbar közötti értékek mindössze 1%-os valószínűséggel fordulnak elő. Az 5%-os valószínűséghez a 14,66 mbar alatti értékek tartoznak. A 22,66 mbar feletti értékekhez 1%-os valószínűség tartozik. Ugyanakkor mintegy 80%-os valószínűséggel jellemzik a barlang légterét a 18,66–22,66 mbar-os értékek.

A tapasztalati sűrűségfüggvény (*44. ábra*) az eloszlás keverék jellegére utal. Az χ^2 próba alapján szignifikánsan eltér a normális eloszlás sűrűségfüggvényétől ($p < 0,05$).



44. ábra. A páryanomás valószínűségi sűrűségfüggvénye a Tapolcai-tavasbarlangból (1Hgmm = 1,33 mbar)

A függvény torzultságának foka a Köppen-féle aszimmetriai mérőszám szerint: $A = 0,25$, amelynek az a magyarázata, hogy az úgynevezett inaktív „száraz” részben a téli, hűvös és alacsony páratartalmú levegő erősebben érezteti hatását. A hozzá tartozó értékek leválasztásával tapasztalati sűrűségfüggvényünket két valódi normál eloszlású görbére bonthatjuk.

2.1.3. A PÁRYANOMÁS ALAKULÁSA A KÓRHÁZBARLANGBAN (TAPOLCA)

Az átlag 10,73 mbar, melynek szórása mindössze 0,4 mbar. A 99,9%-os valószínűségi szinten várható középérték:

$$\mu(e) = 13,73 \pm 0,05 \text{ mbar.}$$

A páryanomás alakulásában a havi középértékek alapján meglehetősen szabályos évi menetet ismerhetünk fel (XVII. táblázat), amelyben a januári minimum még e homogén viszonyok mellett is egyértelműen kivehető, a legmagasabb értékek azonban már novemberre helyeződnek át. (Megjegyzendő, hogy a vizsgálatok idején az őszi hónapokban több beteg tartózkodott a barlangban, mint nyáron.)

A páryanomás-viszonyok erős kiegyenlítetttségére utalnak az egyes termek évi átlagainak igen alacsony ingadozásai is (0,67–0,90 mbar).

A térbeli elrendeződés hasonló tendenciát mutat a komfort- és hűvösérzetet keltő barlangokban egyaránt (Tapolcai-tavasbarlang, Baradla, Abaligeti-barlang stb.).

Ezt a tapasztalati sűrűségfüggvény (45. ábra) is megerősíti.

2.1.4. A RELATÍV NEDVESSÉG JELLEMZÉSE A TAPOLCAI-TAVASBARLANGBAN

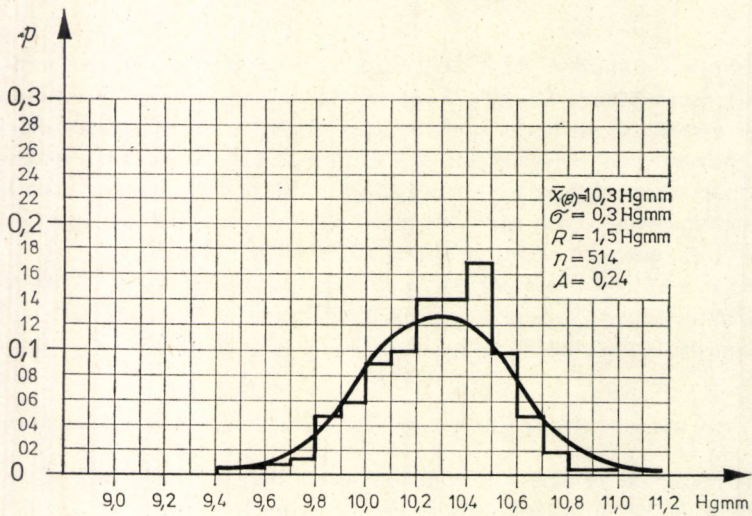
A relatív nedvesség értékei a Tapolcai-tavasbarlangban 1–2%-kal alacsonyabbak mint a hűvös karsztbarlangok belsejében (pl. Abaliget).

$$\mu(u) = 96 \pm 0,3 (\%).$$

XVII. TÁBLÁZAT

A páryanomás középértékei (mbar) a Kórházbarlangban
(Tapolca) 10 és 150 cm magasan (1971–1973)

| Hely | 10 cm magasan | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------|
| | Tél (XII-I-II) | Tavaszi (III-IV-V) | Nyár (VI-VII-VIII) | Ősz (IX-X-XI) | Évi átlag |
| Előcsarnok | 12,90 | 13,17 | 13,57 | 13,43 | 13,33 |
| I. sz. Gyógyterem (Nagy-terem) | 13,17 | 13,70 | 13,83 | 13,70 | 13,57 |
| II. sz. Gyógyterem (Kis-terem) | 13,17 | 13,57 | 13,70 | 13,83 | 13,57 |
| Hely | 150 cm magasan | | | | |
| | Tél (XII-I-II) | Tavaszi (III-IV-V) | Nyár (VI-VII-VIII) | Ősz (IX-X-XI) | Évi átlag |
| Előcsarnok | 13,17 | 13,57 | 13,70 | 13,57 | 13,57 |
| I. sz. Gyógyterem (Nagy-terem) | 13,43 | 13,83 | 13,97 | 13,83 | 13,83 |
| II. sz. Gyógyterem (Kis-terem) | 13,43 | 13,97 | 13,97 | 13,97 | 13,83 |



45. ábra. A páryanomás tapasztalati sűrűségfüggvénye a Kórházbarlangból (Tapolca)
(1Hgmm = 1,33 mbar)

2.1.5. A RELATÍV NEDVESSÉG TÉRBELI VÁLTOZÁSAI
A TAPOLCAI-TAVASBARLANGBAN

A relatív nedvesség térbeli elrendeződésében a komfort-típusú barlangban is vannak különbségek. A barlang belsejében érvényesül az az általános törvényszerűség, hogy a relatív nedvesség értéke alulról felfelé csökken. Ez alól azok a térségek képeznek kivételt, amelyekben a felszíni, hűvösebb és szárazabb légtömegek jól érzetik hatásukat (pl. Lóczy-terem). Itt a relatív nedvesség a barlang talapzatától felfelé csökken, majd a nedves barlangfalakhoz közeledve ismét növekszik.

A barlang ama térségeiben, ahol a külszíni hatások közvetlenül nem érvényesülnek, a relatív nedvesség értéke alulról felfelé növekszik télen és nyáron egyaránt.

2.1.6. A RELATÍV NEDVESSÉG IDŐBELI VÁLTOZÁSAI

A Tapolcai-tavasbarlangban a relatív nedvességnek nincs szabályos napi menete. A különböző kis légterekben, termekben 24 óra alatt tapasztalható 1–2%-os változások aperiodikus jellegűeknek tűntek.

XVIII. TÁBLÁZAT

A relatív nedvesség középértékei és abszolút szélsőségei (%)
a Tapolcai-tavasbarlangban 10 és 150 cm magasan (1970–1973)

| Hely | Mérési pont | 10 cm | | | | | | |
|-----------------------------|-------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|---------|---------|-----------|
| | | Tél (XII–I–II) | Tavaszi (III–IV–V) | Nyár (VI–VII–VIII) | Ősz (IX–X–XI) | Maximum | Minimum | Évi átlag |
| Lóczy-terem | 1* | 93 | 94 | 96 | 95 | 98 | 90 | 95 |
| Batsányi-terem | 2 | 95 | 97 | 97 | 96 | 99 | 93 | 96 |
| Legbelső terem | 3 | 96 | 97 | 97 | 97 | 98 | 93 | 97 |
| Csónakázó tó partján | 4 | 93 | 94 | 97 | 96 | 99 | 87 | 95 |
| Patak felett | 5 | 97 | 98 | 98 | 97 | 99 | 96 | 98 |
| Patak felett kanyar | 6 | 98 | 98 | 97 | 97 | 99 | 96 | 98 |
| Patak felett kórházi átjáró | 7 | 97 | 98 | 98 | 98 | 99 | 95 | 98 |
| Hely | Mérési pont | 150 cm | | | | | | |
| | | Tél (XII–I–II) | Tavaszi (III–IV–V) | Nyár (VI–VII–VIII) | Ősz (IX–X–XI) | Maximum | Minimum | Évi átlag |
| Lóczy-terem | 1* | 94 | 95 | 95 | 96 | 98 | 92 | 95 |
| Batsányi-terem | 2 | 94 | 97 | 96 | 95 | 99 | 93 | 96 |
| Legbelső terem | 3 | 94 | 96 | 95 | 95 | 97 | 93 | 95 |
| Csónakázó tó partján | 4 | 95 | 96 | 95 | 95 | 98 | 90 | 95 |
| Patak felett | 5 | 96 | 97 | 97 | 97 | 98 | 94 | 97 |
| Patak felett kanyar | 6 | 95 | 96 | 96 | 96 | 98 | 92 | 96 |
| Patak felett kórházi átjáró | 7 | 96 | 97 | 97 | 97 | 98 | 90 | 97 |

* A mérési pontok térbeli elhelyezését lásd a mellékelt térképen.

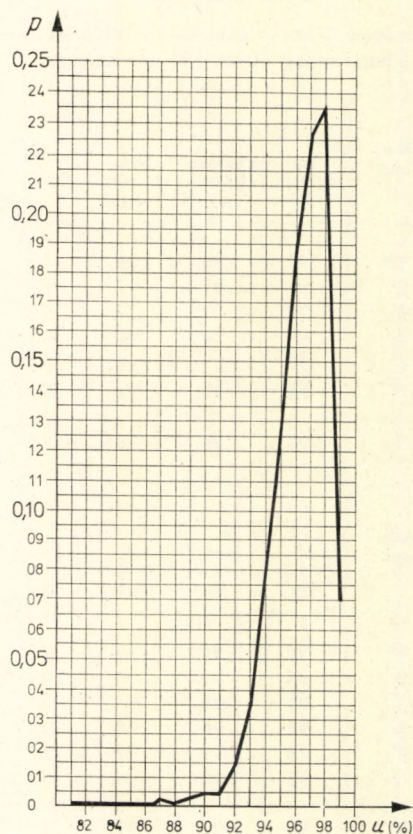
A havi közepek alapján kitűnik, hogy a *relatív nedvesség* egész éven át alig változik (*XVIII. táblázat*). Sőt a téli hónapokat és az idegenforgalom hatását leszámítva közel állandónak tekinthető.

A relatív nedvesség empirikus valószínűségi sűrűségfüggvénye (*46. ábra*) tükrözi, hogy a barlangban a 91% alatti relatív nedvességi értékek elhanyagolhatók, de a 92% és 93%-hoz tartozó 1%, ill. 3%-os valószínűségek sem uralkodók. A barlang jellegét a 94–99%-os relatív nedvességi értékek határozzák meg, ezen belül is több mint 20–20%-os valószínűséggel fordulnak elő a 97 és 98%-os relatív nedvességi értékek, amelyek egyben legjellemzőbbek a Tapolcai-tavasbarlangra.

2.1.7. A RELATÍV NEDVESSÉG ALAKULÁSA A KÓRHÁZBARLANGBAN

A relatív nedvesség térbeli eloszlására az *jellemző*, hogy *télen a függőleges gradiens felfelé növekszik, tavasztól őszig viszont a változás iránya fordított*.

A kórház alatti barlang relatív nedvesség-alakulását jól jellemzik a havi és évi középértékek (*XIX. táblázat*). Télen a nedvesség 1–2%-os csökkenése mellett meg lehetőségen kiegyenlített állapot uralkodik. Ezt a megállapítást igazolja, hogy a bar-



46. ábra. A relatív nedvesség empirikus valószínűségi sűrűségfüggvénye a Tapolcai-tavasbarlangból

XIX. TÁBLÁZAT

A relatív nedvesség középértékei (%) a Kórházbarlangban
(Tapolca) 10 és 150 cm magasan (1971–1973)

| Hely | 10 cm | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------|
| | Tél (XII-I-II) | Tavaszi (III-IV-V) | Nyár (VI-VII-VIII) | Ősz (IX-X-XI) | Évi átlag |
| Előcsarnok | 96 | 98 | 98 | 98 | 98 |
| I. sz. Gyógyterem (Nagy-terem) | 97 | 96 | 98 | 98 | 97 |
| II. sz. Gyógyterem (Kis-terem) | 97 | 97 | 98 | 98 | 97 |
| Hely | 150 cm | | | | |
| | Tél (XII-I-II) | Tavaszi (III-IV-V) | Nyár (VI-VII-VIII) | Ősz (IX-X-XI) | Évi átlag |
| Előcsarnok | 96 | 97 | 97 | 97 | 97 |
| I. sz. Gyógyterem (Nagy-terem) | 96 | 97 | 97 | 97 | 97 |
| II. sz. Gyógyterem (Kis-terem) | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 |

langban a relatív nedvességnek nincsenek jelentős napi változásai, de havi ingadozásai sem. Néhány százalékos változást ugyan gyakran kivált a nagyszámú beteg barlangban való tartózkodása. Ezek a változások azonban nem tekinthetők a napi menet részének, nem is tartósak, hisz néhány órán belül megszűnnek, és a barlangklíma eredeti állapota helyreáll.

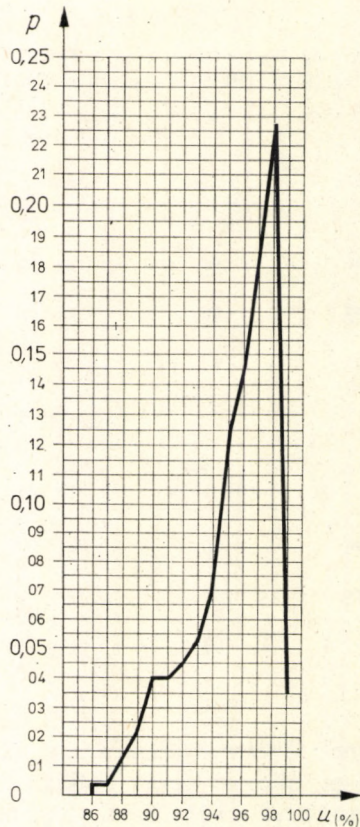
A relatív nedvesség empirikus valószínűségi sűrűségfüggvényének (47. ábra) tanúsága szerint a 93% alatti relatív nedvességi értékek 5%-os valószínűség alatt maradnak. A barlangra legjellemzőbb értékek pedig a 95–99%-os viszonylagos nedvességi tartományban találhatók.

3. HIDEGÉRZETET KELTŐ BARLANGOK

3.1. A PÁRANYOMÁS ALAKULÁSA A TELKIBÁNYAI-JEGESBARLANGBAN

A Telkibányai-jegesbarlang nedvességét – a barlang kis légteréből következően – különösen télen a felszíni légtömegek igen erősen befolyásolják. A párányomás értékei decembertől erősen csökkennek és márciusig 4,00–5,33 mbar között változnak. Az egész jeges periódusra (decembertől júniusig) jellemző értékek a következők: 3,20–7,46 mbar között változnak.

Az évi menetire jellemző a január–februári minimum, amikor a párányomás nagysága 3,2–4,0 mbar között változik, ez mintegy 0,7 mbar-ral alacsonyabb a Dobsinai-jegesbarlangra jellemző értékeknél. Ugyanis télen a kőzetfelszín erősen kiszárad és



47. ábra. A relatív nedvesség empirikus valószínűségi sűrűségfüggvénye a Kórházbarlangból (Tapolca)

a Telkibányai-barlangban decembertől februárig – a már említett okok miatt – alig van jégfelszín, amely párolgás révén a vízgőzkészlet forrása lehetne.

Márciusban és áprilisban, amikor a külső levegő felmelegszik, abszolút páratartalma pedig a barlangénak mintegy másfélszeresére emelkedik, a barlangban lehűlő levegőtől telítődés után m^3 -enként mintegy 2 g vízgőz csapódik le.

A páranomás évi menetének csúcspontjai augusztusban jelentkeznek 9,2–9,6 mbar-os értékkel, azt követően a páranomás fokozatosan csökken a tél beálltáig.

A függőleges különbségekre a barlang egészében átlag 0,1–0,26 mbar/m-es érték jellemző, de szélsőséges esetekben 1,33–2,67 mbar/m-es érték is előfordul (pl. tél elején). A páranomás eloszlása, akár a léghőmérséklet, alulról felfelé növekvő.

3.1.1. A RELATÍV NEDVESSÉG ALAKULÁSA A TELKIBÁNYAI-JEGESBARLANGBAN

A relatív nedvesség időbeli változásai a Telkibányai-jegesbarlangban is a nagy barlangokra jellemző törvényszerűségekhez hasonlóak.

Télen az egész barlang „szárazabb”, 86–95%-os relatív nedvesség jellemzi. A minimum 10 cm magasan 67–79%, a maximum pedig 98–100%; 150–200 cm magasan a szélső értékek 74–98% között változtak.

Nyáron a zárt barlang esetében az egész légtérre a telített és a telítettséghez közeli állapot jellemző (98–100%).

A relatív nedvesség térbeli eloszlására jellemző, hogy – a hőmérséklet változásával ellentétben – alulról felfelé csökkenő tendenciát mutat.

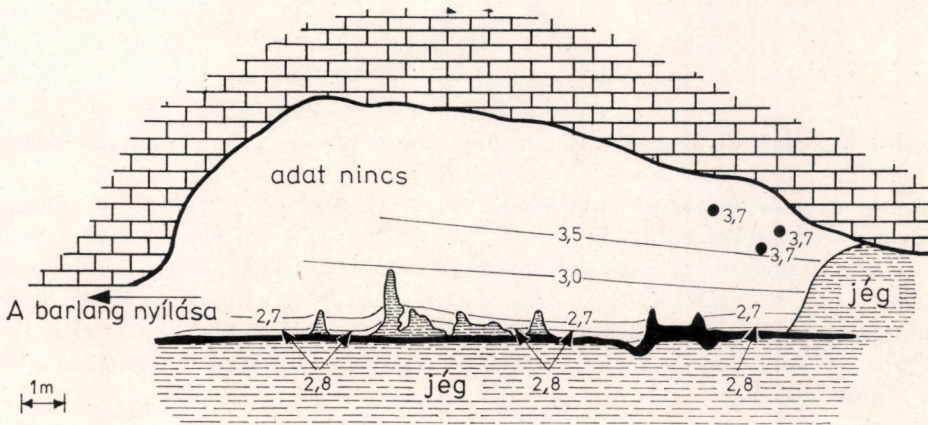
3.2. A PÁRANYOMÁS ALAKULÁSA A DOBSINAI-JEGESBARLANGBAN

3.2.1. A PÁRANYOMÁS TÉRBELI ELRENDEZŐDÉSE JANUÁRBAN A DOBSINAI-JEGESBARLANGBAN

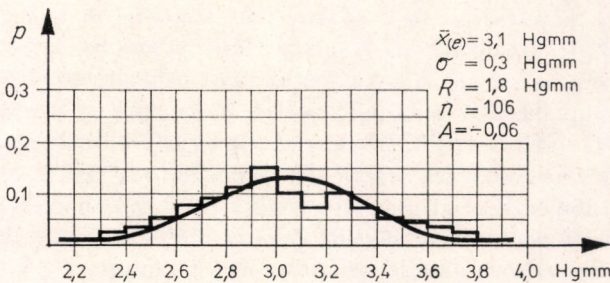
A párányomás értékei télen erősen változnak a barlangi térben. Ebben jelentős mértékben felismerhetjük a külső időjárási változások hatását.

Az egyes termekben a párányomás elrendeződésére az alulról felfelé irányuló növekedés a jellemző, melynek mértékére a párányomásnak a magassággal fennálló szoros korrelációs összefüggése is rámutat: $r = 0,814$ (48. ábra).

A párányomás januári értékeit a valószínűségi sűrűségfüggvény segítségével is elemeztük. A függvény paraméterei: $\bar{x} = 4,13$ mbar; $\sigma = 0,4$ mbar; $n = 106$; $R = 2,4$ mbar. A függvény pontosabb kiértékelése (49. ábra) arra enged következtetni, hogy a barlang januárban a párányomás tekintetében két részre osztható:



48. ábra. A párányomás (Hgmm) keresztmetszet szerinti eloszlása a Dobsinai-jegesbarlangból, Kis-terem, 1972. I. 26. (1 Hgmm = 1,33 mbar)



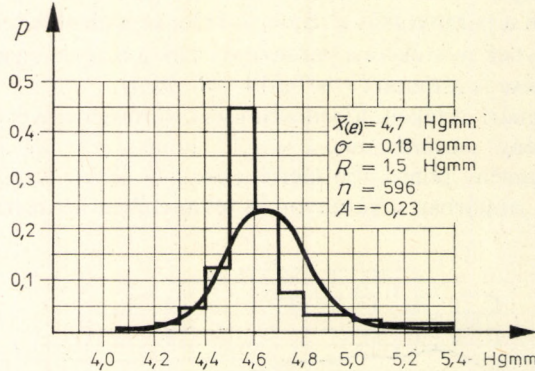
49. ábra. A párányomás januári valószínűségi sűrűségfüggvénye a Dobsinai-jegesbarlangból

a) a barlang felső része (Kis-terem, Nagy-terem), amely a külső időjárási változásokra érzékenyebb,

b) a barlang belső, mélyebb része, ahol a párányomás kiegyenlítettébb és valamivel magasabb, mint a barlang felső részében.

3.2.2. A PÁRANYOMÁS TÉRBELI ELRENDEZŐDÉSE AUGUSZTUSBAN A DOBSINAI-JEGESBARLANGBAN

A párányomás nyáron az alsó néhány méteres légrétegben alig változik és csupán a nagyobb magasságokban (pl. kürtők, mennyezeti hasadékok stb.) növekszik erősebben. Az augusztusi középérték 6,26 mbar, melyhez mindössze 0,24 mbar szórásérték tartozik.



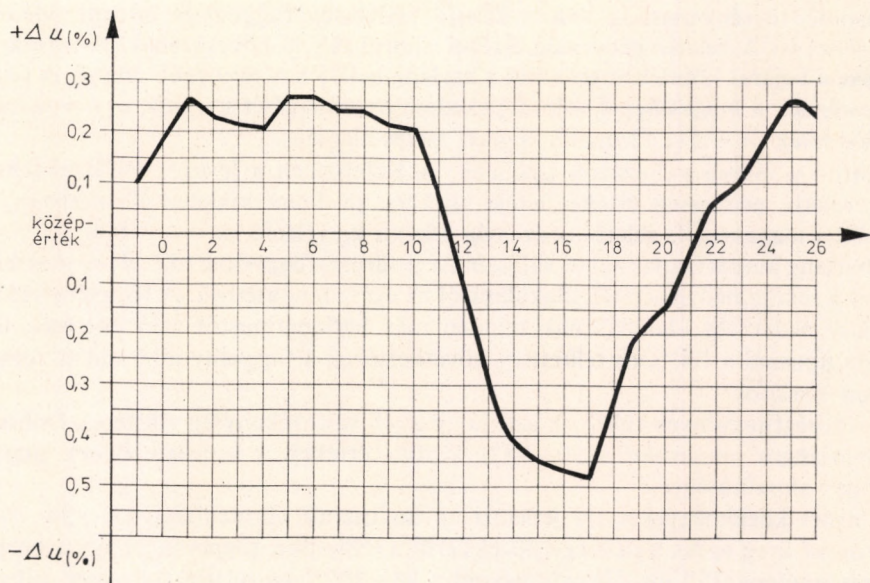
50. ábra. A párányomás augusztusi valószínűségi sűrűségfüggvénye a Dobsinai-jegesbarlangból

A párányomás augusztusi valószínűségi sűrűségfüggvénye (50. ábra) jól mutatja, hogy a Dobsinai-jegesbarlangban, a vízgőznyomásra jellemző értékek 6,00 és 6,26 mbar között sűrűsödnek legnagyobb mértékben. Ebbe a tartományba kerülnek az értékek, 80%-os valószínűséggel. Az alacsonyabb értékek mintegy 6%-os valószínűséggel a barlang mélyebb pontjaira jellemzők, míg a nagyobb értékek kb. 14%-os valószínűséggel a barlang magasabb részeiben (mennyezeti térségek, kürtők stb.) fordulnak elő.

3.2.3. A RELATÍV NEDVESSÉG JELLEMZÉSE A DOBSINAI-JEGESBARLANGBAN

A relatív nedvesség változékonyságában ugyanazt a téli és nyári kettősséget ismerhetjük fel, mint a hőmérséklet és a párányomás esetében. A nyári, meglehetősen kiegyenlített helyzettel szemben a téli évszakban térben és időben egyaránt erős változékonyság jellemzi a barlangot. A novembertől márciusig terjedő időszakokra jellemző relatív nedvesség napi menetét mutatjuk be az 51. ábrán. Az ábra STEINER L. (1922a,b) adatai alapján 1912 novembertől 1918 decemberig terjedő időszak napi középértékét és az attól való közepes eltérések óráértékeit szemlélteti (de csak azokra a napokra, amikor a felszíni hőmérséklet alacsonyabb mint a barlang léghőmérséklete).

A relatív nedvesség napi menete mintegy kétórás késéssel követi a felszíni időjárás-változásokat. A napi változások átlagos értékei igen kicsinyek, 1% körül maradnak, szélső esetekben azonban 24 óra alatt 6–18%-os változások, sőt STEINER hosszú

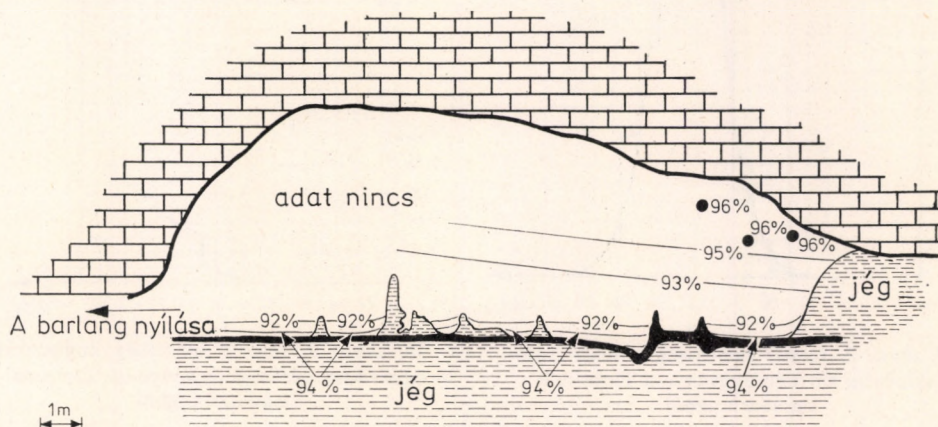


51. ábra. A relatív nedvesség (%) napi menete télen a Dobsinai-jegesbarlangban (a sok éves napi középérték = 88,79%-tól való eltérések óraértékei alapján; STEINER adatai)

sorának elemzése szerint 10%-os napi változások is előfordulhatnak. Természetesen a bejáratától való távolság függvényében ezek az ingadozások fokozatosan csökkennek.

3.2.4. A RELATÍV NEDVESSÉG TÉRBELI ELOSZLÁSA JANUÁRBAN ÉS AUGUSZTUSBAN A DOBSINAI-JEGESBARLANGBAN

A relatív nedvesség térbeli eloszlására jellemző, hogy télen nagyobbak a különbségek vízszintes és függőleges irányban, mint a tavasztól ősziig terjedő időszakban. A relatív nedvesség a barlang belseje felé növekvő tendenciát mutat.



52. ábra. A relatív nedvesség (%) keresztmetszet szerinti eloszlása a Dobsinai-jegesbarlangban télen, Kis-terem, 1972. I. 26.

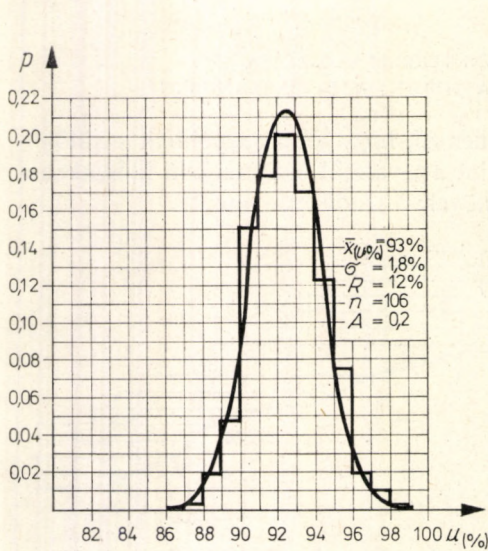
Hasonló törvényszerűség van a relatív nedvesség függőleges elrendeződésében (52. ábra) is. A relatív nedvesség értékei alulról felfelé növekszenek. A növekedés mértéke a bejárat közelében erősebb, a barlang belsejében gyengébb ütemű. A relatív nedvességnek a magassággal való növekedése összefüggését mutatja az $r = 0,7$ korrelációs érték ($n = 51$; 12 napon végzett mérés alapján).

Nyáron a térbeli változások kisebbek. A jégfelszínen a levegő vízgőzzel telített, de a relatív nedvesség értéke felfelé csökken (a hőmérséklettel ellentétben). Ezt igazolja a magasság és relatív nedvesség közötti korreláció is: $r = -0,8$.

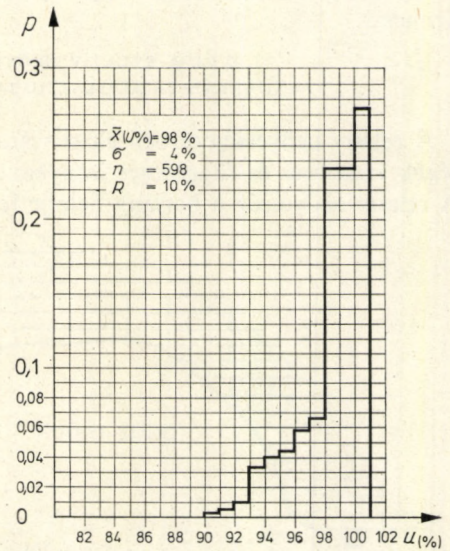
A barlang januári tapasztalati valószínűségi sűrűségfüggvénye (53. ábra) jó áttekinthetést ad a relatív nedvesség téli alakulásáról az egész rendszerben. A függvény tükrözi a relatív nedvesség alakulásának minden más barlangtípustól való eltérését, mert a többi típusnál a 100%-os telítettség következtében a függvény jobb oldala minden esetben korlátos.

A sűrűségfüggvények tükrözik azt, hogy a téli változékonyság ellenére a Dobsinai-jejesbarlangra januárban a 90–95% közötti értékek a legjellemzőbbek mintegy 97%-os valószínűséggel.

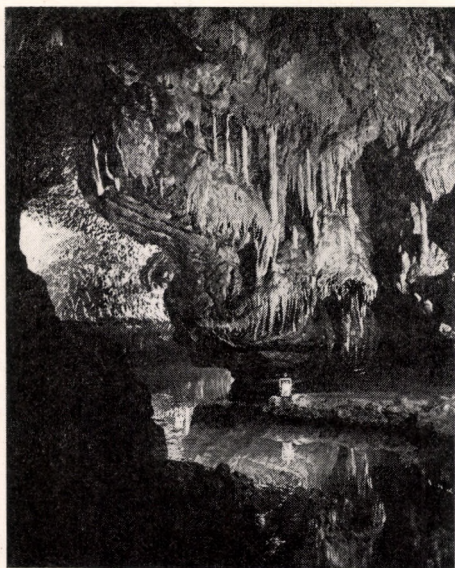
A nyári körülményeket jól jellemzi az augusztusi sűrűségfüggvény (54. ábra). Nyáron az üreg egész légtömege közel kerül a telítettség állapotához. Így a barlang légterét mintegy 75%-os valószínűséggel a 98–100%-os relatív nedvesség jellemzi. A 95%-os relatív nedvesség alatti értékek pedig alig 10%-os valószínűséggel jellemzők. A 4–5%-os telítési hiány kialakításában pedig már nem a természeti tényezők, hanem antropogén folyamatok játszzák a fontosabb szerepet (turizmus).



53. ábra. A relatív nedvesség januári valószínűségi sűrűségfüggvénye a Dobsinai-jejesbarlangból



54. ábra. A relatív nedvesség augusztusi empirikus sűrűségfüggvénye a Dobsinai-jejesbarlangból



17. kép. Részlet a Béke-barlang főágából
(Fotó: Borzsák P.–Prágai A.)



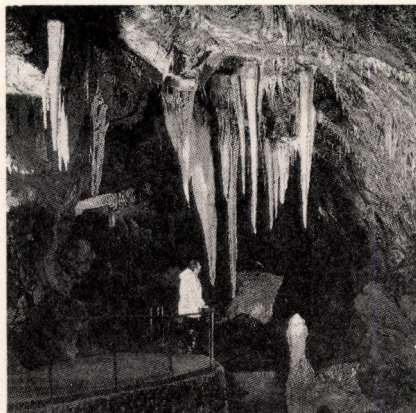
18. kép. Részlet a Baradla-barlang aggteleki
főágából (Fotó: Borzsák P.–Prágai A.)



19. kép. A barlangokba bevezetett műfény egyre jobban elburjánzó, az úgynevezett „lámpa”-
flóra virulását idézi elő (Fotó: Földesi Gy.)



20. kép. A dús cseppkőképződmények annyira megnövelik a barlang párologtató felületeit, hogy számos helyen egyenes arányú összefüggés mutatható ki a cseppkősrűség és a légtér párateltsége között. Fekete kő-barlang a Jád völgyében
(Fotó: Borzsák P.–Prágai A.)



21. kép. Részlet a Baradla-barlangból
(Fotó: Borzsák P.–Prágai A.)



22. kép. Részlet a Baradla-barlangból,
Csipkésút (Fotó: Borzsák P.–Prágai A.)



23. kép. Részlet a Tapolcai-tavasvarlangból (Fotó: Borzsák P.–Prágai A.)

V. A BARLANGOK LÉGÁRAMLÁSA

A levegő mozgásának ugyancsak fontos szerep jut a barlangklíma sajátos jellegének kialakításában.

Az áramlás mértéke és minősége egyben mutatója a szabad és a barlangi légtömegek cseréjének, ezen keresztül egyik jelentős tényezője a barlangok anyag- és energiaforgalmának.

A barlangi szélnek a bioszféra szempontjából szintén van jelentősége pl. az ott élő flóra elemeinek léte szempontjából, mint pl. gombák vagy a barlangokba települt mohák és harasztok spóráinak terjesztésében.

A légmozgás végzi el a barlangokban az antropogén szennyező anyagok elszállítása és más zavaró tényezők megszüntetését (turisták, gyógykúrát vevők után a felmelegedett levegő kiegyenlítődése, a baktériumok szétszóródása és elpusztulása, a villanyreflektorok által felmelegített levegő keveredése stb.).

Az állandó légcseréje révén a barlangokban tiszta és egészséges levegő uralkodik. A légmozgás befolyásolja a barlangokban hosszabb vagy rövidebb ideig tartózkodók (betegek vagy turisták) komfortérzetét is. Ezért a huzatos, szélcsatorna-barlangok egyáltalán nem alkalmasak pl. földfelszín alatti szanatóriumok szerepének betöltésére.

A barlangok bejáratánál, elágazásainál észlelhető légáramlást a gyakorlati barlangkutatás is sokszor hasznosítja. A speleológiában közismert tény, hogy a nagyobb, eddig fel nem tárt üregek jelenlétének egyik fontos bizonyítéka a barlangi légáramlás jelenléte (JAKUCS L.–MARKÓ L. 1956).

1. A BARLANGI LÉGÁRAMLÁSOK KIALAKULÁSÁNAK FIZIKAI TÖRVÉNYSZERŰSÉGEI

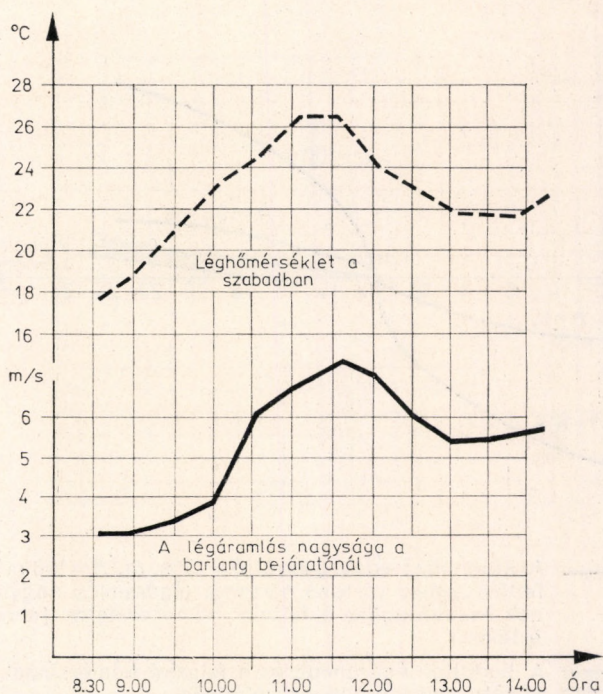
A barlangi légáramlást – éppen a speleológia szempontjából fontos szerepétől indítva – számos szerző vizsgálta, összefüggésbe hozva a légnyomás, a lég-hőmérséklet és a levegő sűrűségének változásával. Nem ok nélkül, hiszen a barlangi légáramlás a fenti változásokkal és ezeken kívül még számos tényezővel (a barlang morfogenetikája, a felszíni szél iránya és erőssége stb.) mutat szorosabb vagy kevésbé szoros összefüggést.

BÉLL B. (1945) a bányáknak, mint mesterséges földalatti térségeknek, JAKUCS L.–MARKÓ L. (1956) pedig a barlangoknak, mint természetes földfelszín alatti légtereknek az áramlási rendszerét vizsgálta, az áramlást kiváltó és az azt fenntartó okozati összefüggésnél hangsúlyozva a légnyomáskülönbség meghatározó szerepét.

A légáramlással foglalkozó irodalom alapján (JAKUCS L.–MARKÓ L. 1956, BALÁZS D. 1960, 1969, CIGNA, A. 1967, FODOR I. 1971a) ismertté vált az a *kapcsolat*, amely a *barlangi légáramlás iránya és nagysága, valamint a külső hőmérséklet változása között van*. BALÁZS D. vizsgálatai rámutatnak, hogy a felszíni időjárási elemek – köztük a légnyomásváltozások is – gyenge kapcsolatot mutatnak a barlangi légáramlással. Kivétel a felszíni hőmérséklet, amely a barlangi légáramlással szoros összefüggésben van. A hőmérsékletnek és légáramlásnak ezt a kapcsolatát feltételezték megfigyeléseim is (55. ábra), kiegészítve a korábbi tapasztalatokat azzal, hogy a barlangi légáramlásokhoz mindig tartozik mérhető horizontális nyomásgradiens is (nagysága az Abaliget-i-barlangban 10^{-3} -tól 10^{-2} mbar/m, iránya pedig a légáramlás irányába mutatott).

A fenti összefüggés teljesen egyértelmű, ha azt mondjuk, hogy a barlangi levegő áramlását kiváltó erőt a barlangban és a felszín felett ugyanazon horizontális szintben uralkodó *légnomás különbsége* jelenti (BÉLL B. 1945, JAKUCS L.–MARKÓ L. 1956), ez a nyomásgradiens kapcsolatban van a két eltérő fizikai állapotú légtömeg (felszíni és barlangi levegő) *hőmérsékletkülönbségével*. Ezért a következőkben a barlangi légáramlás összefüggését a felszíni és barlangi levegő hőmérsékletkülönbségével hozzuk kapcsolatba. A kérdés most már az, hogy milyen jellegű és milyen szoros ez az összefüggés.

MARKÓ László (1962a) a barlang ajtajánál mért áramlási sebesség és a belső–külső hőmérsékletkülönbség közötti összefüggést az alábbiakban adja meg: $c = K \cdot \sqrt{\Delta T}$,

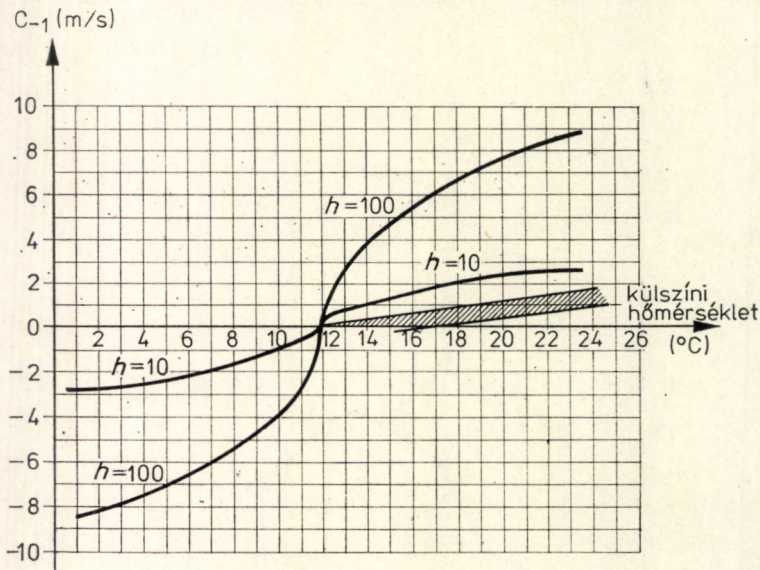


55. ábra. A felszíni léghőmérséklet és a barlangi légáramlás intenzitásának összefüggése a Baradla-barlang jósvafői bejáratánál, 1960. VIII. 1.

amely szerint a légáramlás sebessége a barlang levegőjének és külső levegő hőmérséklet közötti különbség négyzetgyökével arányos. MARKÓ kapcsolatba hozza a légáramlás sebességét a barlangot fedő kőzet vastagságával is. Az elméletileg számított értékek alapján az 56. ábrán bemutatott összefüggés várható.

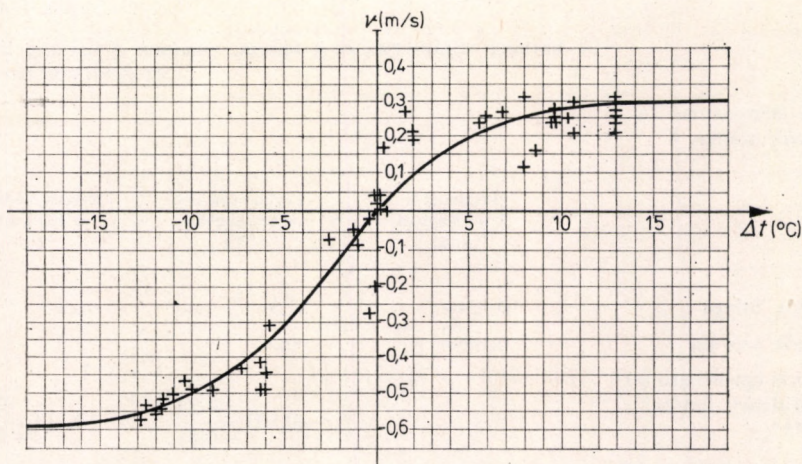
Ugyancsak tapasztalati megfigyelésekből tudjuk, hogy a barlangi légáramlás intenzitását a létrehozó nyomásgradiensén kívül számos más tényező is befolyásolja. Így, mielőtt a fenti megfontolás alapján a hőmérséklet és a légáramlás kapcsolatát részletesen elemeznénk, a matematikai statisztika módszerével megvizsgáljuk a barlangi légáramlás összefüggését a felszíni légnyomással, léghőmérséklettel, relatív nedvességgel és párányomással, valamint a barlangi levegő hőmérsékletével, relatív nedvességével és párányomásával.

A fenti elemzésekből MARKÓ L. (1962a) korábbi megállapításával egybehangzóan mi is arra következtettünk, hogy a hőmérsékletkülönbség (ΔT) és a barlangi légáramlás kapcsolata kifejezetten nem lineáris, ezért saját mérési értékeinkre a lejátszódó fizikai folyamatoknak megfelelően olyan lineáris függvényt illesztettünk, amely bizonyítja azt a tényt, hogy a hőmérsékletkülönbség (Δt) növekedésével nem növekszik minden határon túl a légáramlás erőssége. Az 57. ábra tükrözi a kapcsolatra jól jellemző összefüggést, ugyanis alacsony Δt értékek mellett a hőmérsékletkülönbség növekedésével a légáramlás sebessége erősebben, magasabb Δt értékek mellett pedig



- A különböző vastagságú ($h=10$ m, ill. $h=100$ m) fedőkőzethez tartozó barlangi légáramlás nagyságának összefüggése a felszíni hőmérséklettel (elméleti értékek)
- ▨ A barlangi légáramlás és a felszíni hőmérséklet közötti tapasztalati összefüggés

56. ábra. A barlangi légáramlás összefüggése a külszíni hőmérséklettel és a barlang feletti fedőkőzet vastagságával az égérszögi Szabadság-barlangból, MARKÓ L. után



57. ábra. A barlangi légáramlás nagyságának és irányának összefüggése a felszíni és a barlangi levegő hőmérsékletkülönbségével az Abaligeti-barlangra számítva

gyengébben növekszik. Ezt a jelenséget a levegőnek a barlang falával történő súrlódásával (a levegő, tömegéhez viszonyítva – a karszt hajszálrepedéshálózatát is figyelembe véve [JAKUCS L. 1953] – óriási felületen érintkezik a barlang járataival és a hozzájuk tartozó repedések rendkívül egyenetlen falfelületével), a belső súrlódás és egyéb, a barlang speciális adottságaiból származó (a légmozgást akadályozó) hatásokkal magyarázom.

Ennek alapján belátható, hogy a MARKÓ L. által (1962a) alkalmazott négyzetgyökös közelítés csak egy bizonyos tartományban (kisebb hőmérsékletkülönbségek esetén) írja le a természetben lejátszódó folyamatot.

A mérési pontokból meghatároztunk olyan empirikus közelítő függvényt, amely a fentebb vázolt fizikai folyamatot pontosabban leírja.

Ez a szigmoid-típusú függvény (l. az 57. ábrát), amely alkalmazását az illeszkedésvizsgálat ellenőrző próbái is kellőképpen alátámasztották.

A szigmoid görbe általános egyenletét a barlangi légáramlásra az alábbiakban adom meg:

$$v = A \cdot \frac{1}{1 + b \cdot e^{c \cdot \Delta t}} + B,$$

ahol v = a barlangi légáramlás nagysága m/s-ban,

t = a külső és belső hőmérséklet különbsége °C-ban,

b és c = a görbe alakját meghatározó konstansok.

A számítások elvégzésével az Abaligeti-barlangra a következő eredményeket kaptuk:

$$v = \frac{0,9}{1 + 0,521 \cdot e^{-0,278 \cdot \Delta t}} - 0,6.$$

A görbe alakját meghatározó konstansok és azok konfidencia-intervallumai:

$$\begin{aligned} 0,048 \leq b = 0,521 \leq 5,68 \quad (P = 95\%), \\ -0,319 \leq c = -0,278 \leq -0,237 \quad (P = 95\%). \end{aligned}$$

A barlangi légáramlás és a felszín, valamint a barlang légtere az Abaligeti-barlangból

A minta elemszáma: 16

A változók száma: 8

| | Légáramlás a barlangban (m/s) | Léghőmérséklet a barlangban (°C) | Relatív nedvesség a barlangban (%) |
|--|-------------------------------------|--|--|
| A változók átlaga | 0,1244 | 11,3 | 96,4 |
| A változók szórása | 0,1430 | 0,5 | 3,8 |
| Korrelációs együttható (r) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | | -0,803 $\frac{-0,93***}{-0,51}$ | -0,714 $\frac{-0,89**}{-0,33}$ |
| Parciális korrelációs együttható (r) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | | ++ | ++ |
| Többszörös korrelációs együttható (R) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | 0,9746 $\frac{0,99***}{0,93}$ | | |
| Determinációs együttható (R^2) | 0,9498 | | |

⁺ A korrelációs együtthatók számított értékei a barlangi légáramlás és a vizsgált változók közötti kapcsolatra vonatkoznak.

⁺⁺ A megjelölt korrelációs együtthatók nem különböznek szignifikánsan 0-tól ($p \geq 0,05$).

* A korrelációs együtthatók $p < 0,05$ szinten szignifikánsan különböznek 0-tól.

** A korrelációs együtthatók $p < 0,01$ szinten szignifikánsan különböznek 0-tól.

*** A korrelációs együtthatók $p < 0,001$ szinten szignifikánsan különböznek 0-tól.

A szigmoid görbe lineárisra való transzformálásakor az alábbi korrelációs értéket kaptuk:

$$r = -0,886 (p < 0,001).$$

A függvény értelmezése szerint a hőmérsékletkülönbség (Δt) változásával a szél-erősség növekedése nem lép túl egy meghatározott nagyságot, tehát Δt növekedésével görbénk aszimptotikusan tart egy y határértékhez.

Minden barlangról rajzolható egy ilyen görbe, amely jól jellemzi az adott földfelszín alatti rendszer természetes szellőzését.

A görbe meredeksége a természetes szellőzés jellemzője, mégpedig úgy, hogy a meredekség mutatja az átszellőzöttségi fokot, és utal a barlang nyitabb vagy zártabb voltára.

Amennyiben a görbe átmegy a 0-ponton, ez azt jelenti, hogy ugyanazon barlang nyílásán keresztül változik a légáramlás iránya is. Jelen esetben (57. ábra) a görbe inflexiós pontja az origóban van, vagyis amikor a barlang és a felszíni levegő hőmérsékletkülönbsége nulla ($\Delta t = 0$), akkor a barlang bejáratánál szélcsend van.

éghajlati elemei közti kapcsolat statisztikai elemzése
nyári helyzetben

| Párányomás a barlangban (mbar) | Léghőmérséklet a szabadban (°C) | Relatív nedvesség szabadban (%) | Párányomás a szabadban (mbar) | Légnyomás a szabadban (mbar) |
|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 12,83 | 17,8 | 65,8 | 12,42 | 999,331 |
| 0,77 | 7,3 | 23,2 | 1,20 | 4,838 |
| | ++ | ++ | ++ | ++ |
| -0,8721 $\frac{-0,95^{***}}{-0,66}$ | | | | |
| ++ | 0,77 $\frac{0,91^*}{0,43}$ | 0,73 $\frac{0,90^*}{0,37}$ | -0,68 $\frac{-0,87^*}{-0,28}$ | ++ |

Mind az 57. ábra, mind a számítások eredményei azt mutatják tehát, hogy a barlangi légáramlásnak a külső és belső hőmérsékletkülönbséggel való kapcsolatát szigmoid görbével a korábbi módszereknél pontosabban meghatározhatjuk.

A görbe általános egyenlete azonban arra enged következtetni, hogy a barlangi légáramlásnak a hőmérsékletkülönbség (a nyomásgradiens létrehozásán keresztül) közvetve kiváltó oka, de nem egyedüli meghatározója, hanem jelentősen befolyásolják még más fizikai tényezők is (a felszín áramlási viszonyai – a szél iránya, erőssége, a turbulencia foka – a fronttevékenységek, légnyomásingadozások, a barlangrendszer morfogenetikai viszonyai stb.). A matematikai összefüggéseket a XX. táblázat tartalmazza.

Szembetűnő, hogy a parciális korrelációs együtthatók szerint a barlangi légáramlás a felszíni hőmérséklettel és a levegő nedvességtartalmával a közepesnél alig jobb korrelációt ad. A többi tényező csak elenyésző mértékben befolyásolja.

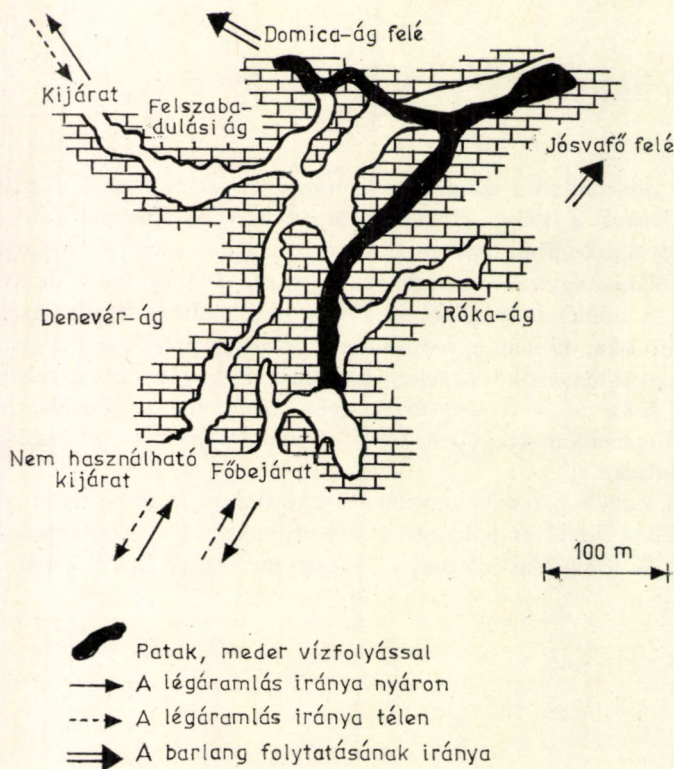
2. A KÜLÖNBÖZŐ BARLANGTÍPUSOK ÁRAMLÁSI RENDSZEREI

2.1. A BARADLA-DOMICA-BARLANGRENDSZER

A levegő áramlási viszonyai a dinamikus jellegű Baradla-Domica-barlangrendszerben sajátosak, amelyben olyan, szinte önálló rendszerek jöttek létre, mint az aggteleki rész, vagy a Domica bejáratainak környéke.

2.1.1. AZ ÁRAMLÁS IRÁNYAI A BARADLA-DOMICA-BARLANGRENDSZERBEN

A légmozgás irányváltozásainak jellemző évi menete van. Benne a légmozgás nyári iránya a barlang minden pontján ellentétes a téli iránnyal. *Nyáron* a Baradla-Domica-barlangrendszer jósvafői szakaszán a teljes keresztmetszetben kifelé áramlik a levegő. A csehszlovák Domica szállónál nyíló főbejáratnál ugyancsak kifelé áramlik a levegő. Az aggteleki szakaszon korábban (1960 előtt) még két nyílás határozta meg a légáramlás főirányát és nyáron a Denevér-ágon befelé, az aggteleki főbejáraton kifelé áramlott a levegő. A Kis-Baradla-víznyelő teljes kiépítésével – ahol nyáron szintén kifelé áramlik a levegő – némi rendszertelenség jelentkezik a légcirkuláció irányában és erősségében is. A Baradla-barlang aggteleki szakaszának bejáratait és a jellemző légáramlási irányokat az 58. ábrán tüntettük fel, a bejáratokhoz rajzolt



58. ábra. A Baradla-barlang aggteleki részének légáramlási modellje

nyilakkal. A légmozgás iránya a *téli időszakban* valamennyi helyen a nyári helyzettel ellentétessé válik.

A főágból nyíló oldalágakban is kettős irányú légáramlási rendszert tapasztaltunk. Nyáron lent a főágból kifelé áramlik a hidegebb levegő 4–5 cm/s sebességgel, fent pedig befelé áramlik a melegebb levegő, hasonlóan kis sebességgel. Télen a légmozgás iránya itt is fordított.

2.1.2. A LÉGÁRAMLÁS SEBESSÉGE A BARADLA-DOMICA-BARLANGBAN

Nyári időszak

Nyáron a jósvafői barlangszakasz teljes keresztmetszetében a szabadba áramlik a barlang 9,5 °C-os, esetenként 11 °C-os levegője. A légáramlás a járat tengelyében és a tengelytől a talaj felé a legerősebb. 1959. június 18-án maximális értéke 4,5 m/s volt. Ekkor a szabadban a hőmérséklet 9,0 °C-szal magasabb volt, mint az Óriások termének lég hőmérséklete.

Vizsgálataim során a jósvafői barlangrészben – különösen a bejárathoz közeli részeken – az áramlás legnagyobb sebessége idején 7–8 m/s-ot is elért. A termék kiszélesedésével az áramlás már alig észlelhető.

Az utóbbi évek vizsgálatai azt bizonyítják, hogy – mesterséges átalakítások eredményeként – a zárt bejáratok következtében a légcseré intenzitása jelentős mértékben csökkent. A jósvafői kijárat térségében zárt ajtók mellett sem haladja meg a nyári maximális érték a 0,4–0,5 m/s értéket.

Az aggteleki oldalon a légáramlás irányváltozásainak hatása van az áramlás sebességére is. Itt a barlangnak három nagy, szabályosan kibontott bejárata van. A légáramlás vizsgálatakor ezek mellett tekintetbe kell vennünk a felszíni víznyelők tágasabb és a kőzet hajszáltrepedés-hálózatának óriási kiterjedését is (JAKUCS L. 1953).

A Baradla magyarországi szakaszának legmagasabb pontján (t. sz. f. 250 m) levő barlangbejárat (Denevér-ág) és az ahhoz kapcsolódó szakasz a barlang legmelegebb része. A légáramlás nyáron a szabadból a barlang belseje felé irányul.

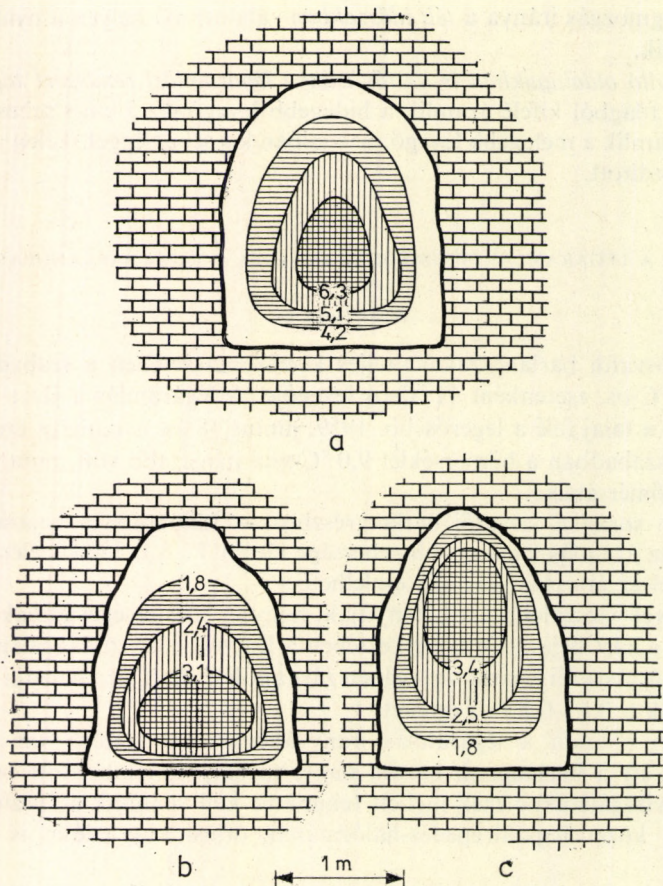
A szabad levegő nagyfokú felmelegedése esetén a Denevér-ág nyílásánál általában 3–4 m/s a légáramlás sebessége. A beáramló meleg levegő maximális sebessége a járat tengelyének felső részén észlelhető, a főág Aggtelek felőli bejáratával és a Jósvafői bejáratával szemben. Az 59. ábra a légáramlás sebességét mutatja a vizsgált időpontban; a) az aggteleki főbejáratnál és b) a Denevér-ág bejáratánál.

Ugyancsak a légáramlás intenzitását vethetjük egybe az 59. ábra alapján a Baradla-barlangban Jósvafőnél és Aggteleken, a két régi bejáratnál.

Az átmeneti időszak

A Baradla-Domica-barlangrendszerben az átmeneti időszak április és október hónapban van. A Δt értéke (külső és belső hőmérsékletkülönbség) többnyire kicsiny. A barlang szellőzöttsége is gyengébb, mint nyáron (JAKUCS L. 1957).

A jósvafői-barlangrészben az átmeneti időszakban *nincs állandó irányú légáramlás, nagysága pedig alig néhány cm/s. A légáramlás irányának változása követi a hőmérséklet alakulását.*



59. ábra. A légáramlás sebességének keresztmetszet szerinti eloszlása a Baradla-barlangban (m/s), 1960. VIII. 1.

a = a jósvafői bejáratnál (tszf. 262 m); b = az aggteleki főbejáratnál (tszf. 333 m); c = a Denevér ág bejáratánál (tszf. 350 m)

Az aggteleki bejáratoknál az átmeneti időszakban a következő törvényszerűség érvényesül: a barlang levegőjénél hűvösebb szabad levegő akadálytalanul jut be az alsóbb részen elhelyezkedő főbejáraton. Ilyen esetben a barlang melegebb levegője a magasabb Denevér-ágon áramlik ki.

A Domicá-ág mesterséges kijáratán zárt ajtónál októberben többnyire változó iránnyal áramlik a levegő 0,04–0,05 m/s sebességgel. Nyitott ajtónál ugyanakkor 0,09–0,26 m/s a barlangi áramlás sebessége. A barlang belsejében ekkor 10,1 és 11,3 °C között változik a hőmérséklet.

Téli időszak

A téli időszakban a Baradla–Domicá-barlangrendszer légáramlására a következő a jellemző: a Jósvafői bejáratnál iránya a szabadból a barlangba mutat. A bejárat közelében nyitott ajtónál több mint 4 m/s az erőssége. A 60. ábra az 1960. december

7-én észlelt légmozgás keresztmetszetét adja a jósvafői bejáratnál. Az ábrán látható, hogy a sebesség maximális értéke a járat tengelyében észlelhető.

A megváltoztatott természeti feltételek (a légrések, bejáratok mesterséges lezárása) mellett itt is jelentős csökkenés állt be a légáramlás erősségében, alig 0,20–0,30 m/s értéket kaptunk.

A Vöröstói-oldalág nyílásán befelé áramlik a levegő, szintén nem túl nagy intenzitással. Aggteleken az ismert módon oszlanak meg az irányok.

Az aggteleki oldal főbejáratánál 2–3 m/s-os erősséggel befelé, a Denevér-ágnál pedig hasonló erősséggel kifelé áramlik a levegő. Ez a légáramlási rendszer nagyon érdekes következménnyel jár. A főágon télen beáramló hideg levegő teszi lehetővé, hogy a Csonttermet egész éven át igen hűvös levegő tölti meg. Itt a hőmérséklet 1954 januárjában -14°C volt (JAKUCS L. 1957).

A Denevér-ágon kiáramló barlangi eredetű levegő melegebb a külső levegőnél, ennek következtében a bejáraton egész télen át párás levegő távozik (gőzölög a barlang).

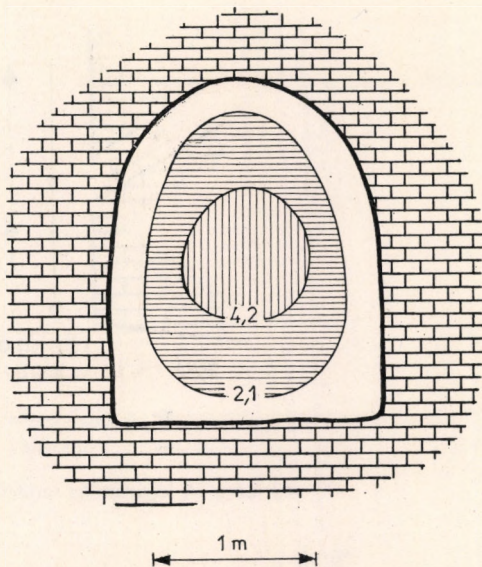
A Baradla–Dolica-barlangrendszer belsejében igen rövid időszakoktól eltekintve állandóan van légmozgás. Az áramlás sebessége azonban éppen a belső tágas járatok, hatalmas termek következtében kis értékű, de állandóan változik a 0,00–0,15, esetleg 0,20 m/s-os értékek között.

A vízszintes irányú légmozgás mellett konvektív légmozgással is számolnunk kell, mert a levegőáramlásában a barlangrepedések mikro-rendszerének igen jelentős szerepe van. Sőt CSOMOR M. és ZALAVÁRI L. (1964) a függőlegesen felfelé tartó légáramlást állandóbbnak tartja mint a vízszintest.

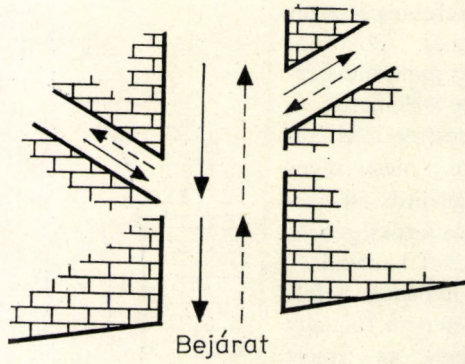
2.2. AZ ABALIGETI-BARLANG ÁRAMLÁSI RENDSZERE

Az Abaligeti-barlangban, amely a Gressel-féle felosztás alapján (1958) sztatodinamikus barlang, a légáramlás rendszere is egyszerűbb, mint a Baradlaban (61. ábra). Itt nyáron a bejáraton át kifelé irányul a levegő mozgása, télen pedig a barlang belseje felé. A kiegyenlítést előidéző ellenáramlás ebben a barlangban elsősorban az oldalágak, a különböző rések és repedések mentén lép fel.

Amikor a két légtér – a külső és belső levegő – hőmérséklete azonos ($\Delta t = 0$), a horizontálisan terjeszkedő barlangban szélcsend uralkodik. Ilyen helyzet az átmeneti időszakban tavasszal és ősszel, valamint az erősebben lehűlő nyári éjszakákon

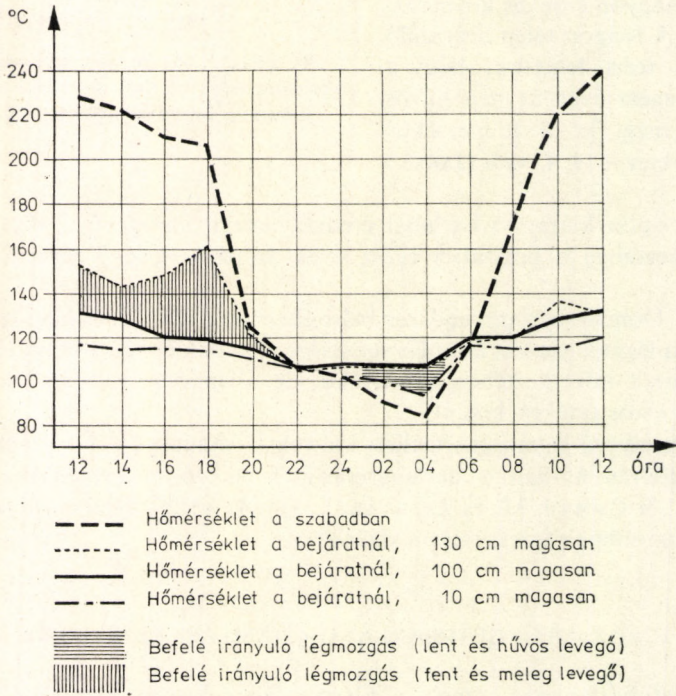


60. ábra. A légáramlás sebességének (m/s) keresztmetszet szerinti eloszlása a jósvafői bejáratnál, Baradla-barlang, 1960. XII. 7.



- ▶ A légáramlás iránya téli félévben
- ▶ A légáramlás iránya nyári félévben

61. ábra. A légáramlás modellje az Abaligeti-barlangból



62. ábra. A hőmérséklet változásának összefüggése a barlangi légáramlással az Abaligeti-barlang bejáratánál, 1967. VIII. 22.

fordul elő. A 62. ábrán ezeket a kritikus pontokat az időtengelyen egy jellemző meleg nyári nap, derült éjszakáján kb. 21 órától 6 óráig terjedő időközbe tehetjük. Az ábra csak a barlangba befelé irányuló légmozgás időtartamát, mint nyáron ritka jelenséget tünteti fel. Ezzel egyidőben ugyanezen a bejáraton keresztül nagymennyiségű hűvös

levegő áramlik kifelé. Általánosan jellemző, hogy a külső levegőnek a barlang átlagos hőmérséklete fölé való emelkedésével a barlangból egyirányú, folyamatos kiáramlás kezdődik meg, amely erősebb felmelegedés esetén csak a déli órákig tart (viszonylag nagy intenzitással, 0,25–0,30 m/s).

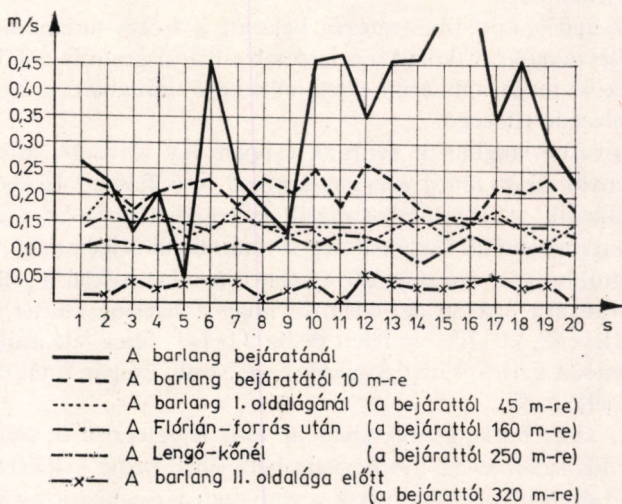
Az Abaligeti-barlang légáramlási rendszere egyszerű, a barlangi légáramlás modellezésére kiválóan alkalmas.

Télen, amikor a külső levegő hőmérséklete a barlang belsejének hőmérséklete alá süllyed, a barlang száján befelé áramlik a levegő, amely 0°C alatti külső hőmérséklet esetén a bejáratnál kb. 0,20 m/s átlagos sebességű és mintegy 350 m-ig mérhetően követhető.

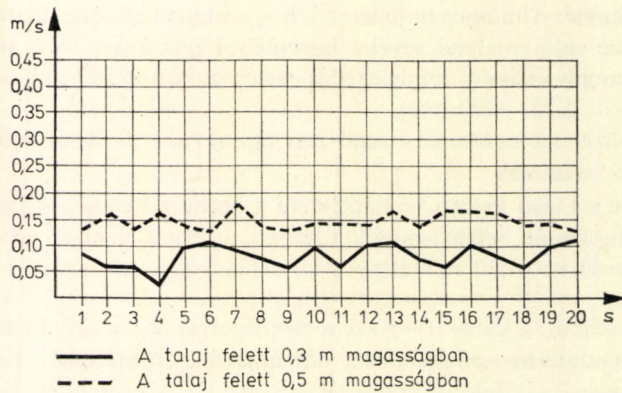
A nyári időszakban, a külső levegő felmelegedésével (a barlang belső hőmérséklete fölé) az egész rendszerben emelkedik a hőmérséklet, ellentétessé válik a légmozgás iránya. A bejáratnál a kifelé irányuló levegőáramlás legnagyobb sebessége az erős külső felmelegedések esetén átlagosan 0,25–0,35 m/s körül mozog. A kifelé áramló levegő sebessége azonban minden időszakban igen szélsőséges értékek között ingadozik (0,00 és 0,45 m/s között). Egyes lökések elérik a 0,60 m/s értéket is. A 63. ábra az Abaligeti-barlang több pontján a légáramláserősség ingadozását ábrázolja 50 cm magasan, 20–20 másodperces intervallumban. Az ábra jól mutatja, hogy a belső terek légmozgására a fokozott kiegyenlítetttség a jellemző. A légáramlás ingadozását mutató amplitúdók már csak kismértékben változnak, illetve az áramlás felerősödése és gyengülése fokozatosan történik.

Ilyen kis szélesség mellett az áramlás már lamináris jellegű (BÉLL B. 1945). A bejárat közelében érvényesülő lökésesség, a sebesség nagyságának állandó ingadozása a felszíni légáramlás turbulens hatásával magyarázható.

A barlang belsejében az áramlás már zavartalanul lamináris lesz, melynek nagysága az időjárásviszonyoktól függően változhat. Ezt mutatja a 64. ábra is, amely a bejárat-tól 250 m távolságban kialakult viszonyokat tükrözi.



63. ábra. A barlangi légáramlás sebességének változása (m/s) a barlang különböző pontjain a talaj felett 0,5 m magasan, 1967. IV. 19.



64. ábra. A légáramlás sebessége (m/s) az Abaliget-barlangban a bejáratától 250 m távolságban, a talaj felett 0,3 és 0,5 m magasságban

2.3. A TAPOLCAI-BARLANGRENDSZER LÉGÁRAMLÁSI VISZONYAI

A barlangrendszer légáramlási viszonyait is – a már tárgyalt klímaelemhez hasonlóan – jól elkülöníthető kettősség jellemzi:

- a tavasbarlang légáramlási rendszere,
- a kórház alatti barlangrész áramlási rendszere.

2.3.1. A BARLANGI LÉGÁRAMLÁS IRÁNYÁNAK ÉS SEBESSÉGÉNEK JELLEMZŐI A TAPOLCAI-TAVASBARLANGBAN

A barlang légáramlási viszonyainak sajátosságát az szabja meg, hogy az év nagy részében a barlang levegője melegebb mint a felszíni légtömegek, és a felszín alatt mélyebben zárt üregben helyezkedik el. Így a Tavasbarlangot egész éven át kettős irányú áramlás jellemzi.

A különböző nyílásokon (mesterséges bejárat, a Lóczy-terem melletti szellőző, a „Kút” nevű beszakadás, a kórházi átjáró stb.) befelé áramlik a hűvösebb levegő, ugyanazon járatok magasabb szintjeiben ellenkező irányban, a barlangból kifelé áramlik a felmelegedett levegő.

A Tapolcai-tavasbarlangban a nyárnak csupán egy rövidebb időszakában érvényesül az ún. nyári légáramlási helyzet, amikor is a felszíni levegő hőmérséklete 20°C fölé emelkedik. A légáramlás másik jellemzője, hogy az áramlási irányok a hőmérséklet napi menetétől függően még 24 órán belül is igen nagy valószínűséggel változnak (a legtöbb nyári éjszakán 20°C alatti léghőmérséklet a jellemző).

Az áramlás irányára nyáron az jellemző, hogy a barlang száraz térségében lent kifelé áramlik a levegő, kb. 200 cm felett pedig a belső részek felé irányul, tehát a téli helyzethez hasonlóan kettős irányú áramlás érvényesül, csupán a téli helyzettel ellentétes irányok a jellemzők.

Az ún. aktív, vizes barlangszakaszban az alsó légrétegben a száraz barlangrész felől áramlik a hűvösebb levegő. A barlang belsejében pedig a Kórház felől áramló hűvösebb levegő érezteti hatását, míg a mennyezeti térségben a tavasbarlang melegebb levegője áramlik a barlang hasadékein át felfelé és a Kórházbarlang felé. Itt az áramlási irányok megegyeznek a téli helyzettel.

A Tapolcai-tavasbarlang vízszintes irányú légáramlása egész éven át lamináris jellegű. Az áramlás sebessége sokkal kevésbé változékony, mint pl. az Abaliget-i vagy Baradla-barlangban. Nagysága 0,02–0,2 m/s között változik a barlang különböző pontjain.

Télen az áramlás sebessége növekszik, mert a sokkal hidegebb külső levegő a lehetőséghez mérten nagyobb sebességgel áramlik a barlangba (0,15–0,2 m/s; a hideg levegő beáramlását mesterséges torlaszokkal mérséklük), mint a nyáron észlelt szélsebesség. Ez a jelenség természetesen a felső légrétegre jellemző melegebb levegő ellenáramlását is gyorsítja.

Nyáron a légáramlás sebessége csökken, átlag 0,06–0,09 m/s és 0,02 és 0,14 m/s szélső értékek között változik. Ilyenkor gyakori jelenség a „szélcsend” a barlangban, amely kedvezőtlenül befolyásolja a turizmus hatása következtében érvényesülő hőtárolás jelenségét.

A barlang légáramlására a vízszintes irányú mozgás mellett jellemzők a konvektív áramlatok is, miután a barlang tényleges légcsereje ezek nélkül (a barlang morfológiai helyzetéből adódóan) nem valósulhatna meg.

A barlang kicsiny méretei következtében kis szélesebbesség mellett is végbemegegy a Tapolcai-tavasbarlang napi átszellőződése és klímájának regenerálódása.

2.3.2. A TAPOLCAI KÓRHÁZBARLANG LÉGÁRAMLÁSI VISZONYAI

A barlang természetes és mesterséges (kórház alatti lejáró) nyílásai zártak, így légáramlás a barlang labirintus jellegű folyosóin alig érezhető. A laminárisan áramló levegő sebessége 0,04–0,08 m/s. Az áramlás irányára általánosan jellemző, hogy a barlang mesterséges bejáratán keresztül hűvösebb levegő áramlik végig a járatokon. Az ún. „körtermek” vagy „gyógytermek” a szellőzést illetően sajátos helyzetben vannak, mert nem a barlang folyosórendszere tágul ki egy-egy teremre, így tehát a légáramlás szempontjából szinte „zárt rendszert” képeznek, amelyek a barlang folyosóján át szellőznek. Ennek az a következménye, hogy az említett barlangtermekben egy-egy gyógykúra után érezhetően megváltozik a mikroklíma. Az eredeti klíma stabilis állapotának helyreállításához azonban itt sem szükséges 4–6 óránál több idő, ami a betegek délelőtti és délutáni benttartózkodását egyaránt lehetővé teszi.

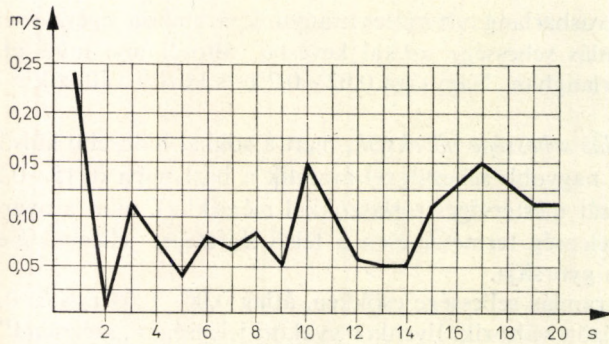
2.4. A TELKIBÁNYAI-JEGESBARLANG ÁRAMLÁSI VISZONYAI

A Telkibányai-jegesbarlang légáramlási rendszere megközelítően a sztatodinamikusan barlangokét követi.

A légáramlás télen többnyire egyirányú, de időben gyakran változik (a barlangba, ill. onnan a felszín felé).

Nagyságára *télen* a következő értékeket kaptuk: a hideg levegő mintegy 10–15 percig 0,01–0,03 m/s erősséggel áramlik kívülről a barlangba, közben az értéke nullára csökken, mint ahogy a 65. ábrán láthatjuk. Az ábra egy ilyen befelé irányuló légáramlás 20 másodpercét ábrázolja. Kb. 10–15 perc után az áramlás iránya megváltozik és ugyanezzel az intenzitással kifelé áramlik a levegő. Ennek a barlang kis légtere az oka.

Szélcsendes időszakban a barlangban a levegő áramlását laminárisnak tekinthetjük, a legérzékenyebb műszerekkel is alig mérhető 0,0–0,1 m/s-os értéket mutatnak.



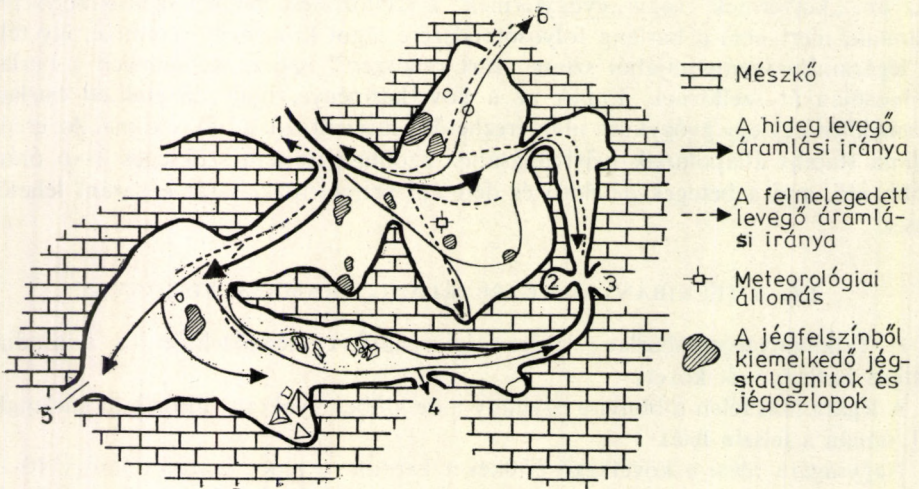
65. ábra. A légáramlás sebességének változása (m/s) a Telkibányai-jegesbarlangban, 1970. II. 28.

Tavasztól egészen november–decemberig zárt ajtó mellett a hideg levegő állandóan kifelé áramlik 0,01–0,03 m/s-os sebességgel. Ez a kiáramlás egész nap érezhető, így a levegőtáncpótlás más réseken kell, hogy végbemenjen.

2.5. A DOBSINAI-JEGESBARLANG LÉGÁRAMLÁS VISZONYAI

Légáramlás a Dobsinai-jegesbarlangban télen

A Dobsinai-jegesbarlang – a hozzá hasonló rendszerekkel együtt – a téli fél-évben, amikor a felszíni léghőmérséklet a barlang léghőmérséklete alá süllyed ($t_{sz} < t_b$), mindig dinamikus rendszerként működik, ami azt jelenti, hogy a barlang és a felszín között intenzív levegőcsere indul meg.



- 1 = A barlang bejárata
- 2 = Kápolnácska
- 3 = Átjáró más földalatti részbe
- 4 = Átjáró a cseppkőes részbe
- 5 = Lejárát a pokolba
- 6 = Átjáró a cseppkőes részbe

66. ábra. A légáramlás iránya télen a Dobsinai-jegesbarlangban (vízszintes metszet)

A jelenség úgy játszódik le, hogy a felszíni hideg levegő a talaj, illetve a jég felszínén beáramlik a barlangba — egészen a legmélyebb pontokig — közben 2–3 °C-t melegszik is, így a barlang belső részei télen mindig melegebbek, mint a barlang bejáratához közeledek.

A bejáratnál befelé áramló levegő a Kis-teremben két ágra oszlik, egyik ága a Nagyterem felé áramlik, és azon keresztül mintegy 15–20 perc múlva már eléri a cseppköves barlangrészt (66. ábra). A másik ágon a Kis-teremből a hideg levegő egyenesen a Pokol felé áramlik (végig a jégfolyosón és a mellett), sőt még a Kápolnába is eljut. A közben 2–3 °C-szal, vagy a még jobban felmelegedett levegő a Ruffinyi-folyosóban már felfelé is emelkedik. A légáramlásnak más meteorológiai elemekkel fennálló kapcsolatát a XXI. táblázat szemlélteti.

XXI. TÁBLÁZAT

A barlangi légáramlás és a barlang léghőmérséklete, relatív nedvessége, vízgőznyomása, valamint a felszíni hőmérséklet közötti kapcsolat statisztikai elemzése a Dobsinai-jegesbarlangban téli helyzetben

A minta elemszáma: 47

A változók száma: 5

| | Légáramlás sebessége a barlangban (m/s) | Léghőmér- séklet a barlangban (°C) | Relatív nedvesség a barlangban (%) | Vízgőz- nyomás a barlangban (mbar) | Léghőmérséklet a szabadban (°C) |
|---|--|---|--|---|---------------------------------------|
| A változók átlaga | 0,1394 | -4,3 | 93,8 | 4,20 | -6,0 |
| A változók szórása | 0,0960 | 1,6 | 1,9 | 0,49 | 0,5 |
| Korrelációs együttható (r) ⁺ és konfidencia- határai ($P = 95\%$) | | ++ | ++ | ++ | ++ |
| Parciális korrelációs együttható (r) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | | ++ | ++ | ++ | 0,5487 $\frac{0,72^{***}}{0,31}$ |
| Többszörös korrelációs együttható (R) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | 0,5924 $\frac{0,75}{0,37}$ | | | | |
| Determinációs együttható (R^2) | 0,3510 | | | | |

+ A korrelációs együtthatók számított értékei a barlangi légáramlás (bejáratnál mérve) és a változók közötti kapcsolatra vonatkoznak.

++ A megjelölt korrelációs együtthatók nem különböznek szignifikánsan 0-tól ($p \geq 0,1$).

* A korrelációs együtthatók $p < 0,05$ szinten szignifikánsan különböznek 0-tól.

** A korrelációs együtthatók $p < 0,01$ szinten szignifikánsan különböznek 0-tól.

*** A korrelációs együtthatók $p < 0,001$ szinten szignifikánsan különböznek 0-tól.

A fenti összefüggésre megállapított lineáris regressziós egyenlet

$$y = 0,3739 - 0,1507 \cdot t_B + 0,004 \cdot u_B + 0,2328 e_B + 0,332 \cdot t_{sz},$$

ahol y = a barlangba befelé áramló levegő sebessége m/s-ban,

B = a barlangban mért hőmérséklet (t), relatív nevéesség (u) és párányomás (e),

sz = a felszínen mért hőmérséklet (t).

A többváltozós regressziós összefüggésből (prognózis becslés) esetén a várható hiba: $\Delta \pm 0,55$.

A barlangrendszer nyári áramlási viszonyaira jellemző, hogy az a dinamikus állapotból a sztatikus állapotba megy át ($t_{sz} > t_b$). Ilyenkor a barlangban kétfajta légáramlással számolhatunk:

a) a felszínnel történő levegőcsere vagy advektív barlangi áramlatok (ez nyáron minimális);

b) a barlang úgynevezett lokális áramlási rendszere, amelyet a belső hőmérsékletkülönbség — és az ezáltal előidézett termikus nyomásgradiens — hoz létre.

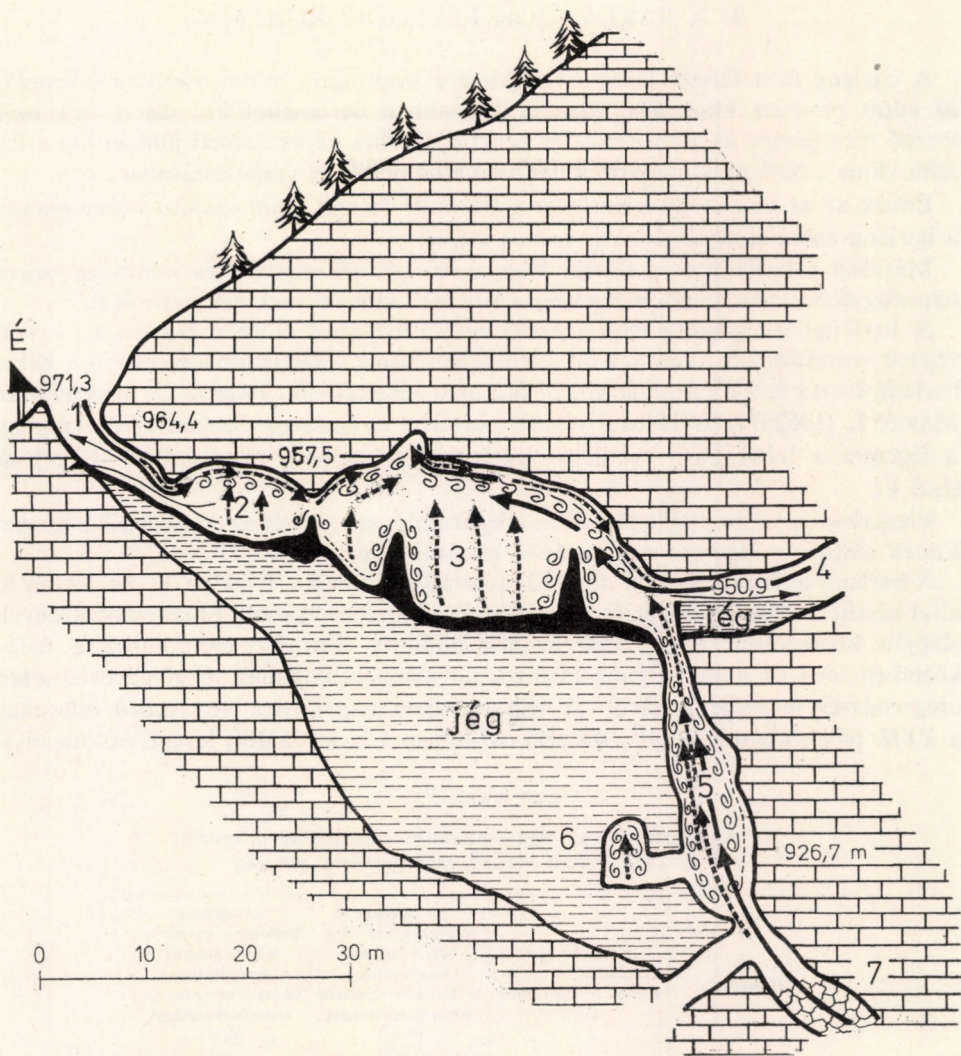
a) A Dobsinai-jegesbarlangból — annak fizikai adottságai miatt — nyáron a hidegebb és nehezebb fajsúlyú levegő a bejáraton át nem tud kiáramlani, így csupán a mélyebben fekvő szűk tektonikus hasadékokon át áramlik kifelé (ez a barlang ösztérfogatához képest nem jelentős). Az így kiáramló hideg levegő utánpótlása ellenkező irányú áramlással a barlang mennyezetéhez közeli keskeny, felső rétegben történik (67. ábra). A barlangon történő ún. dinamikus átáramlás forrásai még azok a melegebb cseppköves térségek, amelyek a jegesbarlanghoz ugyancsak szűk nyílással vagy résekkel kapcsolódnak.

b) Nyáron az ún. lokális áramlási rendszerek jellemzők a Dobsinai-jegesbarlangra. Ezek a jelenségek egy-egy önálló, többé-kevésbé zárt légtérben alakulnak ki (Kisterem, Nagy-terem, Ruffinyi-folyosó, Pokol, Kápolnácska stb.).

Kialakulásuk termikus eredetű. Nyáron különböző forrásokból származó energiák tartják fenn, pl. a jégmentes térségekből átáramló, néhány °C-szal melegebb levegő; a barlangon keresztül folyó csapadékvizek, amelyek hőmérséklete 10–15 °C-szal is magasabb lehet mint a barlang hőmérséklete, antropogén eredetű hőenergiák, elektromos világítás okozta energiák, az erős nyári szellőkésekkel behatoló melegebb felszíni levegő stb.

A felszínről vezetés útján bejutó energiák a barlang fokozatos felmelegedésében játszanak szerepet, a lokális jellegű cirkuláció kialakításában azonban nem, így most hatásukat nem tárgyaljuk.

A fentebb megjelölt energiátöbbletek hatásmechanizmusában az is fontos tényező, hogy csupán időszakosan érvényesülnek, így — ha össz mennyiségükben el is hanyagolhatók az egész barlang energiaforgalma mellett — rövid időn belül jelentősen megváltoztathatják a barlang levegőjének pillanatnyi termikus állapotát. A nagy barlangrendszeren belül egy-egy önálló egységnek tekinthető légtér (legyen az egy szűk jégfolyosó, vagy akár több ezer m³ térfogatú terem) hőmérsékletét ez a hőenergia-többlet rövid időn belül akár 1–2 °C-szal is felemelheti. Az ismert fizikai törvényszerűség következtében a melegebb levegő felszáll (67. ábra) és a jégmennyezet közelében már mintegy 1,5 és 2,0 °C-os értékek alakulnak ki, kis gömbfülke alakú üregeket olvasztva a jégbe. Közben a jég közvetlen felszínén hőenergiájukat leadva a jégfelszín mentén mikroturbulens folyamattal ismét lejutnak az alsó, hűvösebb légtérbe. Ezekből a folyamatokból áll össze a jegesbarlang lokális áramlási rendszere, amelyet az időszakosan változó, a barlangon dinamikus átáramló levegőtömegek az egész rendszerben összekapcsolnak.



- 1 = A barlang bejárata
- 2 = Kis-terem
- 3 = Nagy-terem
- 4 = Cseppkőbarlang
- 5 = Ruffinyi-folyosó
- 6 = Kápolnácska
- 7 = Átjáró más barlangrészbe

- A jeges barlangból kiáramló hideg levegő
- A jeges barlangba beáramló melegebb levegő
- A hideg levegő lokális áramlása
- - - - A meleg levegő lokális áramlása

67. ábra. A légáramlás augusztusi profilja a Dobsinai-jegebarlangban (függőleges metszet)

3. A BARLANGOK LEVEGŐFORGALMA

A barlang és a felszín közötti levegőcsere kvantitatív mutatói erősen jellemzők az adott rendszer klímájára. Mennél nagyobb a barlangból ki-, illetve beáramló levegő mennyisége az adott rendszer belső légteréhez képest, annál jobban hat a felszíni klíma a barlang klímájára, különösen a hőmérséklet vonatkozásában.

Ennek az az oka, hogy a barlangon átáramló levegő, mint szállító közeg egyben a barlang energiaforgalmának is fontos eleme.

Másrészt a barlang és a felszín közötti levegőcsere mértéke és minősége szoros összefüggésben van az adott barlangra jellemző klímaelemek évi menetével.

A barlangi levegőcsere napi mennyiségi változásaira először JAKUCS L. (1953) végzett számításokat, mely szerint jelentékeny hőmérsékletkülönbség esetén a Béke-barlang összes levegőtartalma kb. 24 óra alatt kicserélődik. BALÁZS D. mérései után MARKÓ L. (1962a) számításokat végzett s eszerint az égerszögi Szabadság-barlangban a légcsera a barlangban található légtömegnek naponta csupán 0,01–0,05%-át teszi ki.

Vizsgálataim során meghatároztam a légáramlás sebességét az Abaligeti-barlangra. Ennek alapján a légcsera nagyságát is kiszámítottam.

A barlang térfogata BOKOR E. (1925), továbbá VASS B., RÓNAKI L. és SZABÓ S. által készített feltérképezések és kiigazítások, valamint hosszanti és keresztshelvények alapján közelítéssel: $v = 20\,000\text{ m}^3$ -nek adódott. Természetesen ehhez a fedőkőzetben levő és a barlanghoz tartozó, de mérés technikailag meghatározhatatlan üregrendszer levegője is járul. A légcsera havi nagyságára vonatkozó adatokat a XXII. táblázatban közöljük. Az első oszlopban a kicserélődött levegő összmenyi-

XXII. TÁBLÁZAT

Az Abaligeti-barlang légáramlásának mennyiségi jellemzői
1970–1974 között végzett megfigyelések alapján

| Hónapok | A barlangon keresztül áramló összes levegőtömeg (m ³) | A barlang bejáratán keresztül befelé áramló levegőtömeg (a barlang számára energiavesztéséget okoz) (m ³) | A barlang bejáratán keresztül kifelé áramló levegőtömeg (a barlang számára energianyereséget okoz) (m ³) |
|------------|---|---|--|
| Január | 1 844 078,4 | 1 808 827,2 | 35 251 |
| Február | 1 261 649,8 | 1 217 630,8 | 44 064 |
| Március | 1 341 013,6 | 1 133 912,8 | 207 101 |
| Április | 669 772,8 | 352 512,0 | 317 261 |
| Május | 1 342 483,2 | 138 067,2 | 1 204 416 |
| Június | 1 620 086,4 | 26 438,4 | 1 593 648 |
| Július | 1 482 753,6 | 17 625,6 | 1 465 128 |
| Augusztus | 1 772 841,6 | 29 376,0 | 1 743 466 |
| Szeptember | 1 227 916,8 | 130 723,2 | 1 097 194 |
| Október | 768 476,2 | 493 516,8 | 274 959 |
| November | 1 109 678,4 | 967 204,8 | 142 474 |
| December | 1 712 231,2 | 1 681 386,4 | 30 845 |
| Összesen | 16 152 982,0 | 7 997 221,2 | 8 155 807,0 |

ségét adtam meg 5 évi átlag alapján, függetlenül az áramlás irányától, hiszen a barlang átszellőzése szempontjából lényegtelen, hogy a barlang bejáratán keresztül áramlik be a levegő, vagy fordítva. A tiszta barlangi levegő szempontjából elsődlegesen tehát *a barlangon átáramló levegő mennyisége lényeges* — az áramlás irányától függetlenül —, amelynek havi nagysága — az átmeneti időszakokat kivéve — nem különbözik lényegesen egész év folyamán. A légcseré januárban a legjelentősebb, amikor átlagosan 58–60 ezer m³/nap levegő áramlik a barlangon keresztül.

Nyáron, augusztusban a legintenzívebb a barlang légcseréje, átlagosan 55–58 ezer m³/nap levegő áramlik át a barlangon. Ekkor a légcseré nagysága megközelíti a januári maximumot. A légcseré intenzitása áprilisban és októberben a legalacsonyabb. A minimum áprilisban alakul ki, de az átszellőzés nagyságának és a barlang effektív, mérhető térfogatának egybevetéséből megállapíthatjuk, hogy többnyire 24 óra még áprilisban is elegendő a barlang teljes átszellőzéséhez; 0,1 m/s áramlási sebesség mellett 1 nap alatt mintegy 18 ezer m³ levegő áramlik keresztül a barlangon.

A barlangi légáramlás ilyen méretű kialakulása egyik alapvető feltétele a mester-séges, vagy természeti tényezők (pl. barlangi árvizek) által megváltoztatott barlangklíma gyors regenerálódásának, azaz a stabilis állapot gyors bekövetkezésének.

Különösen a barlang hő- és nedvességforgalma szempontjából fontos azonban a barlangon keresztül áramló légtömegek nagyságának az áramlás iránya szerinti megoszlása is. Ezt mutatjuk be a *XXII. táblázat* második és harmadik oszlopában. Az így kettéválasztott levegőtömeg fizikai állapota alapvetően különbözik egymástól.

A második oszlopban feltüntetett légtömegek mindig alacsonyabb hőmérsékletűek, mint a barlangi levegő, párányomásuk többnyire ugyancsak alacsonyabb mint a barlangi levegőé (amely tehát magasabb hőmérsékleten a telítettségi állapothoz mindig közel van), relatív nedvessége a felszíni légtömegekre jellemző szélsőségek között ingadozik. Barlangi levegővé transzformálódásuk főként az ember számára is járható tágas barlangrészekben megy végbe. Igaz, hogy a fenti fizikai folyamat nagyrészt már a barlang bejárat vagy kiegyenlítődési zónájában megkezdődik, a jelenség kihat az egész barlangra és különösen novembertől márciusig (amikor a felszíni levegő folyamatosan áramlik befelé és mennyisége a barlang térfogatához viszonyítva jelentős) komoly zavarokat okoz a barlang hő- és nedvességforgalmában. Ezzel magyarázható, hogy a téli hónapokban a barlang klímája változókéonyabb, mint az év bármely más részében.

A *XXII. táblázat* harmadik oszlopa azoknak a légtömegeknek a mennyiségét tünteti fel, amelyek a barlangba való beáramlás előtt mindig melegebbek, mint a barlangi levegő és többnyire vizgőztartalmuk is magasabb, mint amennyi a földfelszín alatti térségben lehetséges. E légtömegek barlangi levegővé transzformálódása már hosszú keskeny mellékágakon, hasadék és más szerkezeti vonalak mentén történő beáramlás folyamán lezajlik. Ezekon a rendkívül kis átmérőjű nyílásokon beáramló felszíni levegő tömegéhez képest nagy felületen érintkezik a kőzettel, és a barlang tágas járataiba jutva lényegében már lezajlik a barlangi levegővé történő teljes transzformáció (lehűlés, esetleg kondenzációs folyamatok stb.), amint az fentebb olvasható.

Amikor ez utóbbi áramlási irány uralkodik — az ún. nyári helyzetben májustól szeptember végéig — a barlang klímája természetes állapotában kevésbé változókéony, mint télen.

A levegőcsere mennyiségi mutatóiból következtethetünk a *légáramlás évi menetére* is. E szerint ellentétes irányú, kettős maximummal (január és augusztus) és kettős minimummal (április és október) számolhatunk. Közülük is a januári maximum és az áprilisi minimum a kiugróbb.

A barlangon átáramló levegő mennyisége – abszolút értékeit is figyelembe véve – szorosan követi a felszíni és barlangi levegő hőmérsékletkülönbségének változását. A két maximum akkor jelentkezik, amikor a Δt legnagyobb, a két minimum pedig, amikor a Δt legkisebb.

Ha az *áramlás irányát* is figyelembe vesszük, akkor az irányhoz tartozó, átáramló levegőmennyiség változása a felszíni léghőmérséklet abszolút értékeivel is igen szoros összefüggést mutat. A barlangból kifelé áramló levegő mennyisége (XXII. táblázat harmadik oszlopa) a felszíni levegő havi középhőmérsékletével igen szorosan korrelál: $r = 0,96$, amely kapcsolat $p < 0,001$ szinten szignifikáns.

A szabadból a barlangba befelé áramló levegő mennyisége a felszíni léghőmérséklettel ugyancsak szoros korrekciót mutat negatív előjellel: $r = 0,9$ mely kapcsolat 5, $p < 0,001$ szinten szignifikáns.



24. kép. Az elszűkült barlangszelvényekben (pl. félszifonokban) a légáramlás felerősödik
(Foto: Jakucs L.)



25. kép. A barlangokban többnyire igen gyenge légáramlás található, mérésére legalkalmasabb a hődrótos anemométer. Részlet az Abaligeti-barlangi bejárati térségéből (A szerző felvétele)

VI. A BARLANGI LEVEGŐ MINŐSÉGE ÉS A MORFOLÓGIA SZERINTI VÁLTOZÁSAI

A barlangok levegője legtöbb esetben igen tiszta, kivéve a sajátos levegőösszetételű gázbarlangokat — mint pl. a torjai Büdös-barlang — gyakorlatilag teljesen pormentes, kondenzációs magokban, így kémiai ingerekben is szegényebb, mint a hegyi levegő.

CAUER megállapításai szerint a légtömegek elektromos állapotában bekövetkező változások a barlang belsejében nem érzetik hatásukat. Következésképpen a barlang a légköri elektromos jelenségekkel szemben Faraday-ketrecként fogható fel, tehát a felszíni légtömegekre jellemző elektromos természetű biológiai ingerek is hiányoznak (CAUER, H. 1954).

1. A BARLANGI LEVEGŐ KÉMIAI ÖSSZETÉTELE

A barlangi levegő összetétele az alapgázokat illetően valamennyi általam vizsgált barlangtípusban a felszíni levegőével közel azonosnak mutatkozott. (Kivételt képeznek a vulkanikus hegységekben kialakult ún. gáz-barlangok, mint a már említett torjai Büdös-barlang, a Timsós- és a Gyilkos-barlang stb.)

A N_2 térfogataránya 78,1–79,1%, amely alig különbözik a felszíni levegő nitrogéntartalmától. A jegesbarlangokban ez az érték átlagosan 78,4 térfogatszázalék. A levegő összetételében az O_2 százalékos értéke 20,2 és 20,9 térfogatszázalék között változik, ami a szabad légkörben levő részaránytól mintegy 0,0–0,7 térfogatszázalékkal tér el.

A felszíni levegőtömeg gázösszetételével szemben azonban mindkét (+, –) irányban jelentősen eltérnek az ún. nyomanyagok. A szennyező elemek csaknem teljesen hiányoznak.

A vízgőz valamennyi barlang klímájának fontos eleme, mennyisége pedig barlangonként a léghőmérséklet függvényében változik. Általánosan érvényes azonban, hogy a földfelszín alatti természetes térrendszerek levegőjének jellemző tulajdonsága a vízgőzzel telített, vagy a telítettséghez közeli állapot. Ennek egyik lényeges következménye, hogy a barlangba mégis bekerülő fizikai és biológiai származású szennyezőanyagokon (amelyek egyben allergéneként is szerepelnek: ásványi és szerves eredetű porok, baktériumok stb.) a vízgőz kicsapódik (kondenzációs magok szerepe). A folyamat eredményeként a szennyező anyagok fokozatosan szedimentálódnak, így a barlang végül is allergénmentes kamrának felel meg.

A gáznemű nyomanyagok közül a *széndioxid* a barlangban fontos morfogenetikai és bioklimatológiai szerepet tölt be.

A széndioxid szerepe a karsztmorfológiában, a barlangok kialakításában, a cseppkőképződésben ismert (JAKUCS L. 1971, BALÁZS D. 1964 stb.). A CO_2 biológiai funkcióját E. SCHULZ foglalta rendszerbe (1952). Ennek alapján a széndioxid-koncentráció valamennyi barlangban egyértelműen túllépi az alsó küszöbértéket, így bioklimatológiai szerepe egyrészt abban nyilvánul meg, hogy jelentősen növeli a légzés intenzitását, másrészt megnyilvánul görcsoldó hatásában és abban, hogy elősegíti a Ca ionizálódását a barlangban.

A CO_2 térfogataránya a legtöbb barlangban lényegesen eltér a felszíni levegőben található arányától. Vizsgálataim alapján a barlang levegőjében 0,01-től 1,1 térfogatszázalékig fordul elő CO_2 a különböző barlangokban más-más értékkel, szemben a felszíni levegő 0,03%-os CO_2 -tartalmával.

A vizsgálati területünkhöz tartozó ún. komfort közérzetű barlangtípusban (Tapolcai-tavasbarlang) 0,11–1,1 térfogatszázalék között változott a CO_2 . Ugyanitt KESSLER H. et al. a felszínen mért értékeknek mintegy tízszeresét találták (1973).

A hűvös közérzetet keltő barlangtípusban (Abaligeti-barlang, Baradla-barlang, Békebarlang stb.) 0,2–0,7 térfogatszázalék között változik a CO_2 .

Legalacsonyabb a széndioxid-tartalom a jegesbarlangokban. A Dobsinai-és Deményfalvi (Demianova)-jegesbarlangban 0,01–0,5% között, a ma már nyitott (felszakadt) stádiumban levő Szilicei-jegesbarlangban pedig 0,1–0,55% között ingadozik a CO_2 aránya. A kicsiny Telkibányai-jegesbarlangban a széndioxid 0,4 térfogatszázaléka ismét magas, de ez a jelenség maradéktalanul magyarázható azzal, hogy a barlangot egész éven át szerves anyagok tárolására használják.

A barlangi levegőben található széndioxid térfogatszázaléka így, a jegesbarlangok kivételével, átlagosan 15-ször magasabb, mint a felszíni levegőben tapasztalható érték.

A CO_2 aránya azonban ugyanabban a barlangban is helyről helyre jelentősen változik, a barlang morfostruktúrája szerint. 1967. december 21-én Jósvafőn az ún. Legfiatalabb teremben 0,21, a Kaffka-teremben 0,23 térfogatszázalékot mértem. A Domicá-barlangban pedig 1967. november 12-én a Szűz-folyosóban 0,33, a Majkó-teremben pedig 0,40 térfogatszázalékos értéket találtam.

Egy hónapon belül többször megismételt mérések alapján a barlang ugyanazon pontján is jelentős eltérések mutatkoztak (1967. decemberében pl. a Baradla-barlang Kaffka-termében 0,20–0,29% között ingadozott a CO_2 -tartalom). Az utóbbi esetben kimutatható a felszíni időjárás változásának hatása a CO_2 -ra, ugyanis a felszíni hideg levegő itt a barlangba befelé áramlik, és a sebességtől függően még a Kaffka-teremben is felhígítja a CO_2 -koncentrációt.

A CO_2 barlangban történő feldúsulási jelenségének törvényszerűségére BALÁZS D. (1964) és JAKUCS L. (1971) mutatott rá.

Különösen az ember által látogatott barlangokban kell jelentős tényezőként számolni az antropogén eredetű CO_2 -feldúsulással.

Kisebbségben nagyszámú látogató esetén néhány óra alatt 0,3–0,4 vagy még nagyobb térfogatszázalékot is elérhet a széndioxid-tartalom. (A Tapolcai-tavasbarlang csónakkikötőjénél pl. 1973. VI. 15-én, mintegy 1000 fős turistaforgalom következtében az átlagosan jellemző értéknél 0,7 térfogatszázalékkal magasabb volt a CO_2 -tartalom. Az Abaligeti-barlang belső kis termeiben hasonló jelenséget figyelhettünk meg.)

Nagyobb térségekben azonban a legkisebb méretű szellőzőtség is elégséges ahhoz, hogy ne emelkedjék a CO_2 -tartalom 0,1–0,2 térfogatszázaléknál nagyobb értékre.

A Dobsinai-jegesbarlang Nagy-termében jelentős turistaforgalom esetében (kb. 1200 fő/nap) is csak 0,001–0,05 térfogatszázalék között ingadozott a CO₂-tartalom. Egy normál turistaforgalmú napon a Baradla-barlang Hangverseny-termében a CO₂-arányban mintegy 0,06 térfogatszázalékos változás következik be.

Vizsgáltunk olyan állapotot is, amikor a barlangban tartósan nagyobb ember-tömeg tartózkodott. A Baradla-barlang Hangverseny-termében megfigyeltük a széndioxid változását egy 1 óra hosszáig tartó hangverseny idején, amelyen 1000 fő vett részt. A hangverseny kezdetekor 0,40 térfogatszázalék, a hangverseny befejeztével már 0,49 térfogatszázalék volt a levegő CO₂-tartalma. A hangverseny után 8 órával a CO₂-tartalom 5 megismételt mérés alapján mindannyiszor 0,33 térfogatszázaléknak adódott, tehát a barlangban az eredeti CO₂-tartalom visszaállása nyolc órán belül befejeződött.

A széndioxid térbeli eloszlása a hőmérséklethez, párányomáshoz stb. hasonlóan a magassággal is összefügg.

Tapasztalat szerint talajközélen a legmagasabb az értéke és az alsó 10 cm-es légrétegben gyorsabban, 10 cm felett pedig egyenletesen csökken a magassággal. 1973. VI. 15-én 16 óra 30 perckor pl. 0,05 m magasan 1,1 térfogatszázalékot, 1 m magasan csak 0,65 térfogatszázalékot, 200 cm magasan pedig 0,33 térfogatszázalékot mértem.

A széndioxid-tartalom és a magasság közti összefüggésre az $r_T = -0,961 - \frac{0,989}{0,864}$

korrelációs együtthatót kaptuk, amely korrelációs érték $p < 0,001$ szinten szignifikánsan különbözik 0-tól (T index a Tapolcai-tavasbarlangra vonatkozik).

A korrelációs koefficiens a feltételezett összefüggés szorosságát mutatja, mégpedig úgy, hogy a CO₂-tartalom változása a magasság növekedésével fordítottan arányos.

2. A BARLANGI LEVEGŐ AEROSZOL-TARTALMA

A barlangi levegő minőségének fontos jellemzője az aeroszol-tartalom. Az aeroszol összetétele egyrészt a vizsgált barlangra genetikusan jellemző, mert esetenként az ott lejátszódó cseppkőképződésre is hatással van (JAKUCS L. 1959a), másrészt a gyógybarlangok hatáskörében is szerepet játszik. Az aeroszol összetétele barlangonként változik, sőt az ugyancsak természetes gyógyhelyként nyilvántartott sóbányákban egészen más összetételű, mint a karsztbarlangokban (CAUER, H. 1954, SPANNAGEL, K. H. 1961, JAKUCS L. 1959a, KESSLER H. et al. 1973, PÁLFI M.–GRISCSENKO, M.–SZABÓ L. 1974).

A karsztbarlangban fontos a kationok közül a Ca⁺⁺ (CAUER, H. 1954, SPANNAGEL, K. H. 1961), amely ozmózis útján be tud hatolni a tüdő szöveteibe és ott görcsoldó, nyálkaoldó, köptető hatást fejt ki.

A vizsgálati eredményeket az idevonatkozó hazai és nemzetközi kutatásokra támaszkodva több szanatóriumként használt barlang adatával egybevetve közöljük.

a) *A levegő kalcium-ion-tartalma*

A tüdőbe kerülő kalcium-ionok görcsoldó, nyálkaoldó, köptető voltukon keresztül fejtik ki kedvező hatásukat. Ismert a kalcium gyulladásgátló hatása is.

| | Átlag | Maximum | Minimum |
|---|-------|---------|---------|
| | mg/l | | |
| <i>Az Abaligeti-barlang</i> | | | |
| — A szerző adatai (1966–1972) | 59,9 | 74,5 | 20,4 |
| — PÁTER J. et al. adatai (1974) | 19,2 | 29,5 | 8,5 |
| — SZABÓ L. et al. adatai (1963) | 36,7 | 60,0 | 13,0 |
| <i>Béke-barlang</i> | | | |
| — Nagytufagátnál JAKUCS L. adatai (1959a) | 85,9 | 98,6 | 73,8 |
| <i>Baradla-barlang</i> | | | |
| — Óriások terme, JAKUCS L. adatai (1959a) | 9,9 | 13,6 | 6,4 |
| <i>Tapolcai-tavasbarlang</i> | | | |
| — A szerző adatai (1969–1972) | 22,6 | 28,8 | 17,2 |
| <i>Tapolca, Kórház alatti barlang</i> | | | |
| — A szerző adatai | 13,2 | 24,3 | 4,8 |
| <i>Klutert-barlang (NSzK)</i> | | | |
| CAUER, H. adatai (1954) | 8,0 | 24,5 | 1,4 |
| <i>Gombaszögi-barlang (Csehszlovákia)</i> | | | |
| RAJMAN, L.–RODA, S.–KLINCKO, K. adatai (1971) | 12,1 | — | — |

b) A barlangi levegő magnézium-ion-tartalma

A Mg-ionok fokozzák a Ca⁺⁺ kedvező hatását

| | Átlag | Maximum | Minimum |
|---|-------|---------|---------|
| | mg/l | | |
| <i>Abaligeti-barlang</i> | | | |
| — A szerző adatai (1966–1972) | 74,5 | 83,9 | 58,0 |
| <i>Béke-barlang</i> | | | |
| — Nagytufagátnál JAKUCS L. adatai (1959a) | 0,8 | 0,9 | 0,7 |
| <i>Baradla-barlang</i> | | | |
| — Óriások termében JAKUCS L. adatai (1959a) | 3,0 | 3,1 | 2,8 |
| <i>Tapolcai-tavasbarlang</i> | | | |
| — A szerző adatai (1969–1972) | 7,8 | 22,8 | 2,4 |
| <i>Tapolca, Kórház alatti barlang</i> | | | |
| — A szerző adatai (1970–1972) | 3,9 | 13,6 | 0,5 |
| <i>Klutert-barlang (NSzK)</i> | | | |
| CAUER, H. adatai (1954) | 1,1 | 5,0 | 0,0 |
| <i>Gombaszögi-barlang (Csehszlovákia)</i> | | | |
| RAJMAN, L.–RODA, S.–KLINCKO, K. adatai (1971) | 4,4 | — | — |

c) *A barlangi levegő kálium-ion-tartalma*

| | Átlag | Maximum | Minimum |
|---------------------------------------|-------|---------|---------|
| | mg/l | | |
| <i>Abaligeti-barlang</i> | | | |
| — A szerző adatai (1966–1972) | 10,4 | 17,3 | 5,9 |
| — PÁTER J. et al. adatai (1974) | 12,7 | 20,5 | 7,5 |
| — SZABÓ L. et al. adatai (1963) | 1,6 | 4 | 0,6 |
| <i>Tapolcai-tavasbarlang</i> | | | |
| — A szerző adatai | 99,5 | 185,0 | 69,2 |
| <i>Tapolca, Kórház alatti barlang</i> | | | |
| — A szerző adatai (1970–1972) | 74,7 | 96,0 | 64,0 |
| <i>Klutert-barlang (NSzK)</i> | | | |
| CAUER, H. adatai (1954) | 0,7 | 7,0 | 0,0 |

d) *A barlangi levegő nátrium-ion-tartalma*

| | Átlag | Maximum | Minimum |
|---------------------------------------|-------|---------|---------|
| | mg/l | | |
| <i>Abaligeti-barlang</i> | | | |
| PÁTER J. et al. adatai (1974) | 23,1 | 42,7 | 10,5 |
| <i>Tapolcai-tavasbarlang</i> | | | |
| — A szerző adatai (1969–1972) | 12,2 | 18,4 | 8,2 |
| <i>Tapolca, Kórház alatti barlang</i> | | | |
| — A szerző adatai (1970–1972) | 11,95 | 15,1 | 8,7 |

e) *A barlangi levegőből kondenzált pára összkeménységének
átlagos értékei (NK°-ban)
(A szerző adatai alapján)*

| | |
|--|-----|
| <i>Abaligeti-barlang</i> (1966–1972) | 29 |
| <i>Tapolcai-tavasbarlang</i> (1969–1972) | 8,9 |
| <i>Tapolca, Kórház alatti barlang</i> (1970–1972) | 6,2 |

1. A fenti eredményekben szembe tűnő az aeroszol elemeinek időbeli változékonysága. Ez különösen JAKUCS L. mintavételéből tűnik ki, aki a barlang ugyanazon helyéről gyűjtötte a vízgőzkondenzációt. Rámutatott, hogy a levegő párateltségi maximumai mindig egybeestek az aeroszol-koncentráció legmagasabb értékeivel (1959a). Ezt a megállapítást abból a folyamatból vezeti le, hogy a legmagasabb relatív nedvességi értékek a barlangban mindig a felszín csapadékosabb periódusait követő erősebb szivárgás és csöpögés mellett alakulnak ki. A jelenség természetes

kísérője az aeroszol-koncentráció feldúsulása, melyet saját megfigyeléseim is megerősítenek.

2. A másik levonható megállapítás, hogy a barlangi aeroszol elemei térben is nagyon változékonyak. (Az utóbbi következtetésnél a barlangok egyidőben történt, különböző térségeiből származó mintavételek eredményeire támaszkodtam.) A térbeli eloszlás magyarázatára is érvényesnek tartom JAKUCS L. korábbi megállapításait (1959a), ugyanis tapasztalati megfigyelések szerint az aeroszol-elemek térbeli változékonyasága is követi a nedvesség térbeli eloszlását, ill. a csepegés intenzitásának változásait.

3. Az aeroszol-elemek barlangonként minden esetben jelentősen eltérnek. Ebből következően — nem tagadva ugyan az aeroszol fontosságát a légzőszervi betegségek gyógyításában, és elfogadva az orvostudomány ide vonatkozó megállapításait — mégis a barlangi levegőben előforduló egyetlen aeroszol-elemnek sem tulajdoníthatunk elsőbbséget a barlangi gyógyhelyek hatékonyságát illetően. Alátámasztja ezt a megállapítást az is, hogy bár a fentebb leírt gyógybarlangok aeroszol-összetétele csupán arányaiban különbözik egymástól, ismerünk olyan földfelszín alatti szanatóriumokat — a sóbányák révén: Wieliczka, Aknaszlatina (Szolotvino), Parajd —, amelyekben hasonló vagy még nagyobb hatásfokkal gyógyítanak légúti betegeket jóllehet aeroszol összetételük elemeiben teljesen eltérő. Hiányzik a Ca^{++} , viszont nagy koncentrációban jelentkeznek a Na- és Cl-ionok.

3. A BARLANGI LEVEGŐ TISZTASÁGA

A barlangi levegőben jelenlevő légplanktonokra vonatkozó vizsgálataim azt mutatják, hogy a barlangban ezek eloszlása térben és időben szintén változó.

Cseppkőbarlangokban (Abaligeti-barlang, Baradla-barlang stb.) egész évben a barlangok bejárati része a legszennyezettebb: az 1 mikron méretű vagy annál nagyobb magok száma befelé húzó légáramlás mellett télen átlag 2–4-re tehető cm^3 -enként, míg nyáron a 4–6-ot is eléri. Feltűnően magas télen az egyes kürtőkben fent található szilárd, nagy magok száma — télen $4–5/cm^3$ —, amikor a barlang belsejében a nagy magok átlagos száma csak $0,4–2,8/cm^3$ között található. E jelenséget a levegő konvektív feláramlása idézi elő és az a körülmény, hogy ezekben a térségekben a legalacsonyabb a relatív nedvesség, tehát nem csapódik ki olyan gyorsan, mint az alacsony térségekben. Nyáron ez még magasabb: $4–8 mag/cm^3$. Az 1 mikron alatti kis magok $9/cm^3$ és $100/cm^3$ érték között változnak.

Az OKI vizsgálatai alapján a Tapolcai-tavasbarlangban a szilárd szennyeződés még magasabb (idegenforgalom nélkül $15–218 mag/cm^3$, idegenforgalom mellett $48–450 mag/cm^3$ (KESSLER et al. 1973).

A jegesbarlang-típusra a Telkibányai-barlangban végeztünk méréseket, ahol hasonlóan alacsony értékeket kaptunk. Az 1 mikron alatti tartományban az átlagos értékek a barlang különböző pontjain $0,1–4,9/cm^3$ között változtak. Itt is a bejárat környékén észleltük a nagyobb értékeket.

Az 1 mikronnál nagyobb szemcsék a barlang belsejében ritkán haladják meg az $1/cm^3$ -es magszámot.

A vizsgálati eredményeket más barlangszanatóriumokra jellemző értékekkel egybevetve (CAUER, H. 1954, RAJMAN, L.–RODA, S.–KLINCKO, K. 1971, PÁLFI M.–

GRISCSENKO, M.–SZABÓ L. 1974) megerősítjük a barlangok tiszta levegőjére vonatkozó megállapításokat. Különösen az alsó 2 m-es légréteg – ahol a szpeleoterápiás kezelés is történik – mondható gyakorlatilag pormentesnek. Ez az egyik fontos biztosítéka az asztmások rohammentességének (CAUER, H. 1954, SPANNAGEL, K. H. 1961, DUDICH E. 1955).

A barlangi levegő minőségének fontos jellemzője biológiai tisztasága. Ez azt jelenti, hogy a barlang légterében található baktériumok száma igen kevés. Ez annál inkább fontos, miután vizsgált barlangjaink egy része nem csupán gyógyhely, de idegenforgalmi funkciót is betölt és csúcsidényben naponta több ezer ember is megfordul bennük. Ez a körülmény jelentős koncentrációjú mikrobiológiai szennyeződést okozhat az adott barlangi légtér nagyságától és bioklimatikus regenerálódó képességétől függően.

Tapasztalataink szerint is valamennyi vizsgált barlang közül mikrobiológiailag legszennyezettebb a Tapolcai-tavasbarlang volt.

A különböző időpontokban végzett mintavételek összefoglaló eredménye a következő:

| | |
|------------------------------|--|
| legalacsonyabb kolónia-szám: | 11/m ³ (40 l levegő/1 perces átszívás mellett), |
| közepes kolónia-szám: | 370/m ³ , |
| legmagasabb kolónia-szám: | 1533/m ³ (30 l levegő/1 perces átszívás mellett). |
| Szedimentációs vizsgálat: | |
| legalacsonyabb kolónia-szám: | 3/Petri csésze, |
| közepes kolónia-szám: | 329/Petri csésze, |
| legmagasabb kolónia-szám: | 840/Petri csésze. |

Szembetűnő, hogy a két módszerrel gyűjtött minta középértéke között nincs jelentős eltérés.

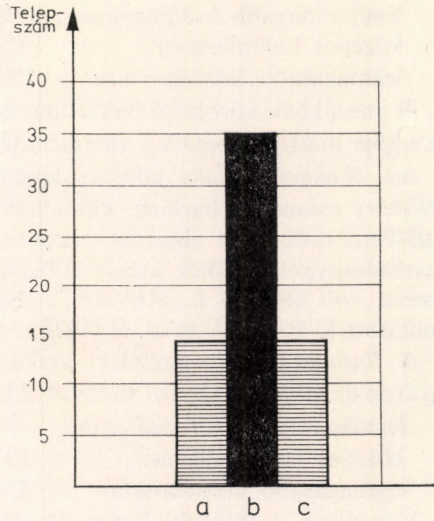
Mikrobiológiai szempontból a *Tapolcai-tavasbarlang* levegője (a turizmus főidényében június–augusztus) a legszennyezettebb. Több mint 1000 fős napi látogatottság mellett az említett nyári hónapokban a „Csónakkikötőben” 10 cm magasan 400–1350 között változott a kolónia-szám 1 m³ levegőben 30 l/perces levegőátszívás mellett; 50 cm magasan pedig 1070–1533-ra emelkedett a kolónia-szám. (A mintákban patogén staphylococcusok és streptococcusok nem fordultak elő, ill. 28 mintavételből egyetlen esetben volt kimutatható *E. coli*.)

Biológiailag itt van a barlang legszennyezettebb része, mert a barlanglátogatás technikai kivitelezéséből adódóan – csónakázásra történő várakozás – itt a legnagyobb az emberek torlódása. A barlang klímájának gyors öntisztulását mutatja, hogy a látogatottság befejeztével – természetes körülmények közé kerülve – mintegy 12–14 óra elteltével a barlangi levegő mikrobiológiai szennyezettsége kb. 1/5-ére csökken.

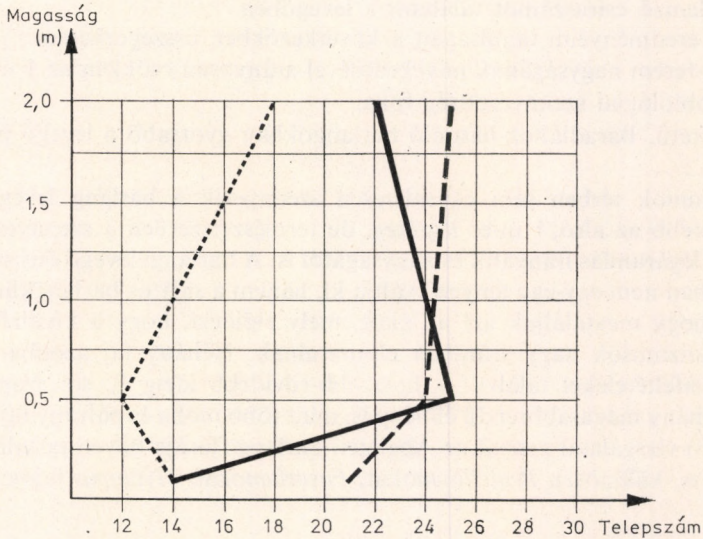
Az idegenforgalom, illetve a barlang látogatottságának csökkenésével a mikrobiológiai szennyezettség is arányosan csökken. Az őszi és téli hónapokban a látogatottság mintegy tizedrésze, a mikrobiológiai szennyezettség foka pedig a nyári értékeknek mintegy huszadrésze (11–75 kolónia-szám/m³). (Természetesen az alacsony forgalmú őszi és téli hónapokban is előfordulnak kiugró értékek egy-egy rövidebb időre, jelezve a barlang látogatottságának esetleges gyors megnövekedését.)

Az idegenforgalomból kizárt *tapolcai Kórház alatti barlang* mikrobiológiai szennyezettsége jóval kisebb méretű, mint a közeli tavasbarlangé. A betegek naponkénti benttartózkodása mellett a következő értékeket mértem:

68. ábra. A barlangi levegő bakteorológiai szennyeződésének és tisztulásának folyamata a Baradla-barlangban, 1973. IX. 23.



- a = Hangverseny előtt 12 órával
a CO₂-tartalom: 0,33 %
- b = Hangverseny alatt
a CO₂-tartalom: 0,49 %
- c = Hangverseny után 12 órával
a CO₂-tartalom: 0,40 %



- A táncteremben a hangverseny után kb. 12 órával
- - - A hangversenyteremben a hangverseny után kb. 12 órával
- A hangverseny színhelyétől kb. 200 m-rel bentről a barlangban, hangverseny után kb. 12 órával

69. ábra. A barlangi levegő bakteorológiai szennyezettsége a magasság függvényében, Baradla-barlang, 1973. IX. 23.

legalacsonyabb kolónia-szám: 1/Petri csésze,
közepes kolónia-szám: 12/Petri csésze,
legmagasabb kolónia-szám: 26/Petri csésze.

A mintákban kórokozó baktérium nem volt kimutatható. A Kórház alatti barlang levegője mikrobiológiailag valamennyi vizsgált barlang közül a legtisztább.

Az *Abaligeti-barlang* közepes szennyezettsége szedimentációs mintavétel mellett 39/Petri csésze, a barlang különböző helyein mért legmagasabb értékek átlaga 103/Petri csésze, az abszolút maximum 200/Petri csésze volt. A barlangban mért legalacsonyabb értékek átlaga 6/Petri csésze, az abszolút minimum pedig 1/Petri csésze volt (SZABÓ L.–KOVÁCS I.–NOSMÜLLER S. 1963). Közel azonos értékeket mutatott ki PÁTER J. et al. is (1974).

A *Baradla-barlang* aggteleki szakaszában a mikrobiológiai szennyezettség foka nyáron az alábbiak szerint változott (33 mintából, szedimentációs mintavétellel):

legalacsonyabb kolónia-szám: 8/Petri csésze,
közepes kolónia-szám: 19/Petri csésze,
legmagasabb kolónia-szám: 35/Petri csésze.

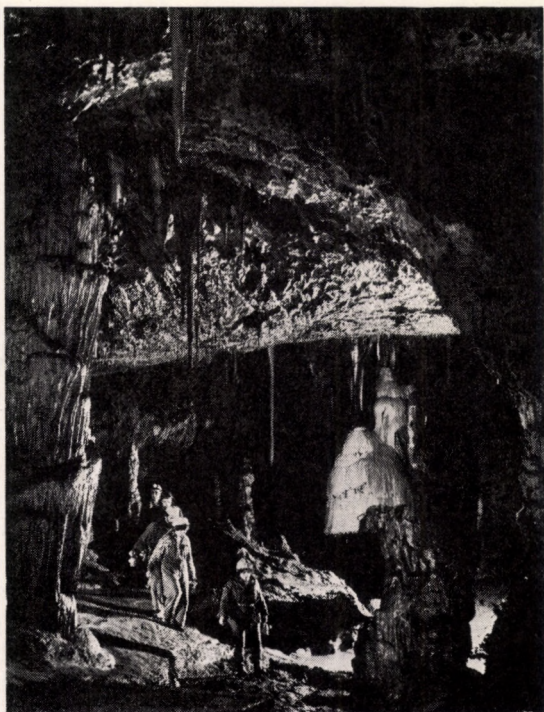
Vizsgáltuk a mikrobiológiai szennyezettség növekedésének összefüggését nagylétszámú embercsoport huzamosabb egyhelyben tartózkodása esetén. 1973. szeptember 23-án délelőtt, barlangi hangverseny alkalmával, kb. 900 fő tartózkodott a barlangban kb. 2 óra hosszat (a hangverseny alatti, valamint előtti és utáni benn-tartózkodással együtt). A kolónia-szám megváltozását a 68. ábrán mutatom be.

Ugyancsak vizsgáltuk a mikrobiológiai szennyezettség változását a magasság függvényében is (69. ábra) 12 órával a hangverseny után, amikor már a természetes állapotról jellemző csíraszámot találtam a levegőben.

Vizsgálati eredményeim tanulságait a következőkben összegezhetem:

1. A barlang-terem nagyságának növekedésével arányosan csökken az 1 m³ levegőre jutó mikrobiológiai szennyezettség foka.
2. A nagyméretű, Baradlához hasonló barlangokban gyorsabb a levegő öntisztulási üteme is.
3. A baktériumok térben sem egyenletesen szennyezik a barlang levegőjét. Legszennyezettebb az alsó, 1 m-es légréteg, de természetesen a szennyeződés függ a barlangi légáramlás irányától és nagyságától is. A barlangi levegő öntisztulásának okát azonban nem egy-egy tényező váltja ki, hanem a sajátos barlangklíma egészében kell, hogy megtaláljuk azt az okot, mely előidézi, hogy a kívülről bekerült mikroorganizmusok nagy számban elpusztulnak. Néhány faj azonban – megfelelő klímafeltételeket találva – hosszabb-rövidebb ideig él, sőt szaporodik is. Köztük néhány magasabbrendű élőlény is, mint több moha és páfrány faj. SZABÓ L. et al. (1963) vizsgálatai szerint az Abaligeti-barlang flórája bőven tartalmaz fonálgombákat is, különösen *Penicillium*okat, *Fusarium*okat, *Hyalopus* fajokat.

26. kép. Részlet a Baradla-barlangból,
Minerva-sisakja (Fotó: Borzsák P.-
Prágai A.)



27. kép. Részlet a Béke-barlang fő-
ágából (Fotó: Borzsák P.-Prágai A.)

VII. A BARLANG-FORMÁK ÉS A KLÍMA KAPCSOLATA

A felszín anyagi és alaki tulajdonságainak, valamint a klíma kölcsönhatása ismert. A barlangokban ez az összefüggés a felszíntől eltérően, sajátos módon alakul. Egyrészt azért, mert a Nap sugárzásából nyert felszíni energiák a barlangklíma alakításában csak közvetve, a barlang és a felszín közötti légcserék közvetítése révén érvényesülnek, másrészt mert a szóban forgó barlangrendszereknél a szubsztrátumot jelentő kőzet a mederfeneket kitöltő hordalékanyaggal – esetleg nyílt víztükörrel – együtt a levegőt (a felszínhez kapcsolódó nyílás kivételével) teljes egészében körülzárja. Ezen belül a barlangban a levegő, saját tömegéhez viszonyítottan, igen nagy felületen érintkezik az őt körülölelő szubsztrátummal, így a kőzet fizikai tulajdonságainak hatása természetszerűen erőteljesen érvényesül.

A barlangok klímájának vizsgálatánál ez a helyzet azért is fontos, mert a *szubsztrátum hatásának érvényesülése* váltja ki azt a folyamatot, melynek során a legkülönbözőbb fizikai állapotú felszíni légtömegek stabilis fizikai állapotú barlangi levegővé alakulnak át. Ez a folyamat a speleo-meteorológiai transzformálódás.

A fentiek alapján belátható, hogy a felszíni levegő konstans tulajdonságú barlangi levegővé transzformálódásában a szubsztrátum hatása döntő jelentőségű. A transzformáció már 30–50 méteres barlangszakaszon a kiegyenlítődési vagy bejárati zónában végbemegy. A nagyobb barlangokra jellemző erősebb légáramlás mellett ez a zóna 100–200 méter hosszú is lehet (pl. a Baradla–Domica-rendszer).

1. A BARLANGOK KLÍMÁJÁNAK VÁLTOZÉKONYSÁGA A BEJÁRATTÓL MÉRT TÁVOLSÁGTÓL FÜGGŐEN

A barlangklíma elemeinek részletes tárgyalása alapján (III., IV., V., VI. fejezet) belátható, hogy azok a barlang bejáratától a belső térségek felé haladva kisebb-nagyobb mértékben, de folytonosan változnak.

A barlang hossz tengelye mentén a távolsággal történő változások szorosságát és mértékét korreláció- és regresszió-analízissel vizsgáltuk. Ezek az elemzések szemléltetik, hogy a barlangi levegő, talaj, illetve kőzet és a barlangi patak vizének hőmérséklete milyen összefüggést mutat a barlang hosszával, azaz mélységével, a bejáratától a legbelsőbb térségekig; minta az Abaliget-i-barlang).

Nyáron a léghőmérséklet változása szoros összefüggést mutat a bejáratától mért távolsággal ($r = 0,79$, amely $p < 0,05$ szinten szignifikáns), a talaj, ill. kőzethőmérséklet pedig még szorosabb kapcsolatot mutat a bejáratától mért távolság változásával ($r = 0,85$, amely $p < 0,05$ szinten szignifikáns; *XXIII. táblázat*). A barlangi levegő

A hőmérséklet változásának összefüggése a bejáratától mért távolsággal nyári félévben, az Abaliget-i-barlangban

A minta elemszáma: 18

A változók száma: 5

| | A levegő hőmérséklete a barlangban (°C) | A talaj hőmérséklete a barlangban (°C) | A víz hőmérséklete a barlangban (°C) | A felszíni levegő hőmérséklete (°C) |
|--|--|---|---|--|
| A változók átlaga | 10,6 | 10,5 | 10,9 | 23,6 |
| A változók szórása | 0,7 | 0,9 | 0,5 | 2,4 |
| Korrelációs együttható (r) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | 0,7894 $\frac{0,92^*}{0,51}$ | 0,8516 $\frac{0,94^*}{0,64}$ | ++ | ++ |
| Többszörös korrelációs együttható (R) ⁺ és konfi- dencia-határai ($P = 95\%$) | 0,9035 $\frac{0,96^*}{0,75}$ | | | |
| Determinációs együttható (R^2) | 0,8163 | | | |

+ A korrelációs együtthatók a bejáratától mért távolságra vonatkoznak.

++ A megjelölt korrelációs együtthatók nem különböznek szignifikánsan 0-tól ($p \geq 0,05$).

* A korrelációs együtthatók $p < 0,05$ szinten szignifikánsan különböznek 0-tól.

A fenti összefüggésre megállapított többváltozós lineáris regressziós egyenlet:

$$y = -1209,51 + 210,24 \cdot t_B + 30,31 \cdot t_{Bk} - 41,78 \cdot t_{Bw} - 31,13 \cdot t_{Fl}$$

ahol:

y = a bejáratától mért távolság (m),

t = hőmérséklet (°C).

Index:

B_l = barlangi levegő, B_k = a barlang kőzete, B_w = a barlangi patak, Fl = a felszíni levegő.

A fenti többváltozós lineáris regressziós összefüggésből történő prognózis esetén a várható hiba $\Delta = \pm 0,35$.

és talaj hőmérsékletével ellentétben a patak vizének hőmérséklete nem mutat szignifikáns kapcsolatot a barlang hossz tengelyével.

Téli helyzetben (XXIV. táblázat) a fenti klímaelemeknek a bejáratától mért távolsággal való változása ugyancsak számottevő, sőt a korrelációs együtthatók konfidencia-intervallumainak szűkebb volta az összefüggések még markánsabb jellegére utal. A barlangi patak vizének hőmérséklete azonban télen sem mutat jelentős összefüggést a barlang hosszával. Az utóbbi összefüggésre megállapított regressziós egyenlet azt mutatja, hogy a bejáratától mért távolsággal legjelentősebben a barlang talajának, illetve kőzetének hőmérsékletváltozása. Ez a bejáratához közel eső térségek erőteljes és tartós lehűléséből adódik, aminek az a következménye, hogy a talajhőmérséklet növekedése a barlang belseje felé haladva mindig jelentős a barlangba beáramló felszíni eredetű levegőtömeg erősen változó fizikai állapotával szemben.

Megvizsgáltuk a bejáratától mért távolság és a barlang légterére jellemző különböző klímaelemek összefüggését a nyári félévben, amikor a felszíni levegő hőmérséklete

A hőmérséklet változásának összefüggése a bejárattól mért távolsággal
téli félévben, az Abaliget-barlangban

A minta elemszáma: 36

A változók száma: 5

| | A levegő hőmérséklete a barlangban (°C) | A talaj hőmérséklete a barlangban (°C) | A barlangi patak vizének hőmérséklete (°C) | A levegő hőmérséklete a szabadban (°C) |
|--|--|---|---|---|
| A változók átlaga | 7,0 | 8,1 | 10,0 | 0,8 |
| A változók szórása | 4,6 | 3,0 | 0,6 | 2,6 |
| Korrelációs együttható (r) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | 0,7760 0,88* 0,61 | 0,8418 0,92* 0,71 | ++ | ++ |
| Többszörös korrelációs együttható (R) ⁺ és konfi- dencia-határai ($P = 95\%$) | 0,8608 0,93* 0,74 | | | |
| Determinációs együttható (R^2) | 0,7410 | | | |

+ A korrelációs együtthatók a bejárattól mért távolságra vonatkoznak.

++ A megjelölt korrelációs együtthatók nem különböznek szignifikánsan 0-tól ($p \geq 0,05$).* A korrelációs együtthatók $p < 0,05$ szinten szignifikánsan különböznek 0-tól.

A fenti összefüggésre megállapított többváltozós lineáris regressziós egyenlet:

$$y = -494,12 - 12,66 \cdot t_{Bl} + 60,37 t_{Bk} + 25,04 \cdot t_{Bw} - 3,54 \cdot t_{Fl}$$

ahol:

 y = a bejárattól mért távolság (m), t = hőmérséklet (°C).

Index:

 Bl = barlangi levegő, Bk = kőzet, ill. talaj a barlangban, Bw = a barlangi patak, Fl = a felszíni levegő.A fenti többváltozós lineáris regressziós összefüggésből történő prognózis esetén a várható hiba $\Delta = \pm 0,47$.

magasabb, mint a barlangra jellemző levegőé ($t_F > t_B$), a téli félévben, amikor a felszínen alacsonyabb a léghőmérséklet, mint a barlangban ($t_F < t_B$) és tavasszal-ősszel, amikor kiegyenlítették a hőmérsékleti viszonyok ($t_F \cong t_B$) (XXV., XXVI., XXVII. táblázatok). Valamennyi esetben figyelembe vettük a felszíni levegő fizikai állapotára jellemző fontosabb paramétereket is. Szembetűnő, hogy nyáron a relatív nedvesség és a légnyomás szorosabb, a párányomás pedig gyengébb összefüggést mutat a barlang hosszával, míg ebben az összefüggésben a barlangi levegő hőmérsékletére vonatkozó korrelációs együttható ($r = 0,2$, ahol $p > 0,1$) nagyon kicsi.

Elemeztük a barlangi légáramlás sebességének (m/s) összefüggését is a bejárattól mért távolsággal. Télen a légáramlás sebessége a barlang hosszával közepes korrelációt mutat, negatív előjellel, ami azt jelenti, hogy a légáramlás sebessége a bejárattól a barlang belseje felé növekvő távolsággal fordított arányban változik, azaz a barlang belseje felé csökken. Ezt a jelenséget főként a levegő áramlása során fellépő súrlódással magyarázhatjuk, míg az összefüggés szorosságának közepes voltára az ad

magyarázatot, hogy a barlangi légáramlás létrehozását és fenntartását jelen esetben más éghajlati tényezők is szabályozzák. Ez az összefüggés nyáron is érvényes, fordított légáramlási irány mellett. Az átmeneti időszakban ($t_F \cong t_B$) a barlangi légáramlás rendkívül változó, nincs meghatározott jellege (XXVIII. táblázat).

A barlangi léghőmérséklet, relatív nedvesség és párányomás mind a téli, mind az átmeneti időszakban közepes, vagy annál szorosabb összefüggést mutat a bejáratától mért távolsággal. Ennek az az oka, hogy a felszíni légtömegek ilyenkor a barlang bejáratán át áramlanak végig a barlangon, és a barlangi levegővé transzformálódás során növekszik a levegő hőmérséklete, valamint relatív és abszolút páratartalma.

Az összefüggésekre vonatkozó regressziós egyenletekből kitűnnek a változások mennyiségi mutatói is, az összefüggésből történő prognózis esetén várható hibával együtt (l. a XX., XXI., XXIII. táblázatokat).

A barlang klímájának a bejáratától való távolság növelésével tapasztalt változásai azonban nem egyenletesek. Vannak barlangszakaszok, ahol ezek a változások gyorsabb üteműek, ezek az ún. kiegyenlítődései vagy bejárat zónák, és vannak szakaszok, amelyekben a klimatikus változások minimálisak.

A többváltozós lineáris regressziós egyenletek meghatározásával az volt a célunk, hogy olyan elméleti összefüggés *módszertani megoldását* keressük, amellyel meghatározhatjuk pl. a gyógybarlang esetében azt a barlangszakaszt, amely az orvos által előírt optimális klímafeltételeknek a legjobban megfelel.

A bemutatott egyenletek példáján általánosan is megfogalmazhatjuk, hogy télen, amikor a hideg felszíni levegő a bejáraton keresztül a barlang főágán áramlik a barlangba befelé, a szeleoterápia szempontjából optimálisnak mondható térség határa a barlang bejáratától számítva beljebb tolódik. A nyári félévben azonban, amikor a levegő áramlása a mellékágak és hajszáltrepedéseken át a barlang főágán keresztül a bejárat felé irányul, a szanatórium létesítésére legkedvezőbb térség a barlang nyílásához közelebb található; láthatóan még mindig kellő távolságban a barlang közvetlen bejáratától. Az elméleti számítások mindkét esetben teljes egészében megegyeznek a tapasztalati megfigyelések eredményeivel.

2. A BARLANGKLÍMA ELEMEINEK FÜGGŐLEGES VÁLTOZÁSAI

Vizsgáltuk a barlangklíma elemeinek változásait a matematikai statisztika módszerével, a magasság függvényében is. Az Abaliget-barlangra vonatkozó nyári és téli megfigyelések eredményeit a XXIX. és XXX. táblázatokban tekinthetjük át. Az adatok a Flórián-forrás mellett levő szanatóriumterem viszonyaira vonatkoznak, egy nyári és egy téli időpontban. Az összefüggések jellegéből, továbbá a tapasztalati megfigyelések eredményére támaszkodva – a kis minta elemszám ellenére is – levonhatunk általános következtetéseket.

A magassággal legszorosabb kapcsolatot nyáron és télen egyaránt a léghőmérséklet mutat fel, amely a talaj felszínétől felfelé a magassággal növekszik. A relatív nedvesség nyáron a magassággal csökken, télen az összefüggés nem szignifikáns. Télen a légáramlás változása szorosabb összefüggést mutat a magassággal (csökkenő tendenciával) mint nyáron. A kapcsolat azonban itt sem teljesen lineáris, erre a kereszt-

A barlangklíma elemeinek változása a bejáratától számított távolsággal a különböző meteorológiai

A minta elemszáma: 23

A változók száma: 9

| | Légáramlás a barlangban (m/s) | Léghőmérséklet a barlangban (°C) | Relatív nedvesség a barlangban (%) |
|--|-------------------------------------|--|--|
| A változók átlaga | -0,0496 | 11,0 | 96,6 |
| A változók szórása | 0,1673 | 0,7 | 2,7 |
| Korrelációs együttható (r) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | ++ | 0,8772 $\frac{0,95^*}{0,73}$ | 0,4429 $\frac{0,72^*}{0,04}$ |
| Többszörös korrelációs együttható (R) ⁺ és konfi- dencia-határai ($P = 95\%$) | 0,9389 $\frac{0,97}{0,86}$ | | |
| Determinációs együttható (R^2) | 0,8816 | | |

⁺ A korrelációs együtthatók a bejáratától mért távolságra vonatkoznak.

⁺⁺ A megjelölt korrelációs együtthatók nem különböznek szignifikánsan 0-tól ($p \leq 0,05$).

* A korrelációs együtthatók $p < 0,05$ szinten szignifikánsan különböznek 0-tól.

A fenti összefüggésre megállapított lineáris regressziós egyenlet:

$$y = 48\,465,9 + 260,69 \cdot V_B + 10,19 \cdot t_B - 5,86 \cdot U_B + 285,28 \cdot e_B + 83,87 \cdot t_F + \\ + 15,23 \cdot U_F + e_F - 53,1 \cdot p_F,$$

ahol:

y = a bejáratától mért távolság (m),

metszet-vizsgálatoknál rámutattunk. A változások mennyiségi értékeit a regressziós egyenletek tükrözik.

A komfortklímájú Tapolcai-tavasbarlangban végzett mérések eredményeinek matematikai elemzése azt igazolta, hogy a magasság változásával itt is szoros összefüggést mutat a légáramlás (a magasság növelésével a légáramlás erőssége csökken), a léghőmérséklet, amely a magassággal együtt növekszik, és ugyancsak növekvő tendencia mellett mutat szoros összefüggést a magassággal a párányomás is. A relatív nedvesség változása a magassággal nem mutat szignifikáns kapcsolatot. A regressziós egyenletből az utóbbiról is megtudhatjuk, hogy a magassággal csökken.

A hidegérzetet keltő jegesbarlang típusát a dobsinai eredmények reprezentálják. Nyáron (*XXXI. táblázat*) a léghőmérséklet és a relatív nedvesség szoros összefüggést mutat a magassággal, mégpedig úgy, hogy a hőmérséklet növekszik, a relatív nedvesség csökken a jégfelszíntől mért magassággal. A párányomás változása nem szignifikáns. Télen (*XXXII. táblázat*) mind a három elem (léghőmérséklet, relatív nedvesség és párányomás) szorosan korrelál a magassággal, ezt a konfidencia-intervallumok is igazolják. Ilyenkor valamennyi elem értéke alulról felfelé növekszik, miután a felszínről beáramló hideg levegő hűvösebb és többnyire szárazabb is mint a barlangi levegő.

elemek statisztikai elemzésének alapján a nyári félévben ($t_F \geq t_B$) az Abaligeti-barlangban

| Páramomás a barlangban (mbar) | Léghőmérséklet a szabadban (°C) | Relatív nedvesség a szabadban (%) | Páramomás a szabadban (mbar) | Légnomás a szabadban (mbar) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---|------------------------------------|-----------------------------------|
| 12,67 | 16,8 | 67,9 | 12,26 | 997,8391 |
| 0,75 | 6,3 | 19,6 | 1,09 | 4,6138 |
| 0,8786 $\frac{0,95^*}{0,73}$ | ++ | ++ | ++ | ++ |

t = léghőmérséklet (°C),
 U = relatív nedvesség (%),
 e = páramomás (mbar),
 p = légnomás (mbar).

Index:

B = a barlangban mért értékek, F = a szabadban mért értékek.

A fenti többváltozós lineáris regressziós összefüggésből történő prognózis esetén a várható hiba: $\Delta = \pm 0,28$.

3. A BARLANGOK FORMAKINCSENEK ÉS KLÍMÁJÁNAK ÖSSZEFÜGGÉSEI

A földfelszín változékonysága az energiamérlegek különbözőségéből adódóan kis légterek fizikai tulajdonságainak – a mikroklímáknak – változékonyságát okozza. A barlangok belső formakincse rendkívül változatos. A napsugárzás teljes hiányából adódóan a szabad felszínre jellemző energiakülönbségek nem alakulhatnak ki. Logikusan következik tehát az a feltevés, hogy ugyanazon a barlangon belül a kis légterek klímája hasonló vagy megegyező.

A feltevés eldöntésére az egymintás t-próbát alkalmazom, mert ugyanazon barlang különböző formáinak légtereit sem tekinthetjük egymástól teljesen függetlennek.

A kiegyenlítődési vagy bejárati zónák klimatikus sajátosságai

A kiegyenlítődési vagy bejárati zónák klímájának változékonysága ismert az irodalomból (GÁDOROS M. 1968, KORDOS L. 1970 stb.). Néhány sajátos vonását a korábbi fejezetek már megvilágították (IV., V., VI. fejezet). Elemeztük az egyes éghajlati elemek változékonyságát. A felszíni eredetű levegő a barlang valamely nyílásán befelé áramlik és mintegy 6–10 m után pl. a léghőmérséklet már 2–3°C-os változást mutat, nyáron lehűl, télen felmelegszik. A folyamat teljes térbeli lejátszó-

XXVI. TÁBLÁZAT

A barlangklíma változása a bejáratról számított távolsággal a különböző meteorológiai elemek statisztikai elemzésének alapján a téli félévben ($t_{sz} \leq t_B$) az Abaligeti-barlangban

A minta elemszáma: 40

A változók száma: 8

| | Légáramlás a barlangban (m/s) | Léghőmérséklet a barlangban (°C) | Relatív nedvesség a barlangban (%) | Párányomás a barlangban (mbar) | Léghőmérséklet a szabadban (°C) | Relatív nedvesség a szabadban (%) | Párányomás a szabadban (mbar) |
|--|-------------------------------------|--|--|--------------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------------------|
| A változók átlaga | 0,1505 | 8,0 | 91,7 | 10,34 | 2,6 | 82,9 | 6,51 |
| A változók szórása | 0,1440 | 4,1 | 13,1 | 3,27 | 4,0 | 17,7 | 2,77 |
| Korrelációs együttható (r) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | -0,5944 -0,76* -0,35 | 0,7407 0,85* 0,56 | 0,5151 0,71* 0,24 | 0,7859 0,88* 0,63 | ++ | ++ | ++ |
| Többszörös korrelációs együttható (R) ⁺ és konfi- dencia-határai ($P = 95\%$) | 0,9258 0,96 0,86 | | | | | | |
| Determinációs együttható (R^2) | 0,8572 | | | | | | |

⁺ A klímaelemek korrelációs együtthatója a bejáratról mért távolságra vonatkozik.

⁺⁺ A megjelölt korrelációs együtthatók nem különböznek szignifikánsan 0-tól ($p \geq 0,05$).

* A korrelációs együtthatók $p < 0,05$ szinten szignifikánsan különböznek 0-tól.

A fenti összefüggésre megállapított többváltozós lineáris regressziós egyenlet:

$$y = 140,13 - 125,45 \cdot V_B - 49,04 \cdot t_B - 7,69 \cdot U_B + 161,51 \cdot e_B + 30,17 \cdot t_F + 3,32 \cdot U_F - 96,04 \cdot e_F.$$

ahol:

y = a bejáratról mért távolság,

V = a légáramlás sebessége (m/s),

t = léghőmérséklet (°C),

U = relatív nedvesség (%),

e = párányomás (mbar).

Index:

B = a barlangban mért értékek, F = a felszínen mért értékek.

A fenti többváltozós lineáris regressziós összefüggésből történő prognózis (becslés) esetén a várható hiba: $\Delta = \pm 0,35$.

dását a III. 1. 2. fejezet 10. ábráján követhetjük a barlang bejáratától befelé néhány méter távolságon keresztül. A barlangra jellemző konstans meteorológiai értékeit a levegő mintegy 50–70 m után veszi fel, mely értékek lényegesen nem változnak a hossz tengelye mentén több 100, sőt 1000 m után sem. Mielőtt azonban a levegő a barlangot elhagyja, hirtelen felmelegszik még tél végén is 11,0–13,5 °C-ra azokban a mellékágakban, szerkezeti vonalakban, amelyek egész éven át melegebbek (nyáron ezek a barlangrészek a meleg levegő beáramlása révén jelentősen felmelegednek, télen viszont éppen a légáramlás irányának változása révén nem hűlnek le – ilyen oldalág a Baradla–Domicá-rendszerben pl. a Denevér-ág). Hasonló törvényszerűségek érvényesülnek a nedvességviszonyoknál is. A november elejétől március végéig vett minták összehasonlításából ($t_F < t_B$) kitűnik, hogy a téli időjárási helyzetekben – amikor a külső hideg levegő a barlang bejáratán át befelé áramlik – a felszíni levegő és a közvetlen bejáratú térség levegőjének hőmérséklete között nincs szignifikáns eltérés ($p > 5\%$), azaz a hőmérsékleti transzformálódás még nem kezdődött meg. Ha azonban ugyanebből az időszakból származó, a felszínen és a Flórián-teremben mért mintákat vetjük egybe, kiderül, hogy közöttük a szignifikáns eltérés jelentős.

Az átmeneti időszakban (áprilisban és októberben) van ugyan különbség a felszíni és a barlang bejárata közötti levegő hőmérséklete között ($p < 5\%$), ez a különbség azonban nem lépi túl a 2%-os szignifikancia szintet ($p > 2\%$). Ennek az az oka, hogy áprilisban és októberben a barlang és a felszín közötti energia és légcseré is a legkisebb értékeket veszi fel egész évi viszonylatban, a két légtér közti különbségek ekkor mosódnak el leginkább. A jelenség a légáramlás irányának többszöri változásában nyilvánul meg. Amikor a felszíni eredetű hűvösebb levegő áramlik a barlangba, akkor a két hely közötti léghőmérsékletkülönbség minimális, nem szignifikáns, amikor azonban a felszínen felmelegszik a levegő és a bejáraton át viszonylag hűvös levegő áramlik ki, a hőmérsékletkülönbség jellemző, mint az a nyári helyzetre (május elejétől szeptember végéig) általánosan érvényes. Ekkor a felszíni és bejáratú térség léghőmérséklete közti különbség $p < 0,001$ szinten szignifikáns (az okokra már utaltam).

Hasonló törvényszerűségek mutatkoznak a levegő nedvességtartalmának vizsgálatakor is. Ugyancsak az áramlási viszonyokkal magyarázhatjuk, hogy mind télen, mind az átmeneti hónapokban a két légtömeg (a felszíni és a barlang bejáratú térsége) párányomás értékei között az eltérés nem szignifikáns, ($p > 0,1$), ill. csupán $p < 0,2$ szinten mutatkozik jellemző eltérés, ami a transzformálódás folyamatának megindulására enged következtetni. A felszíni levegőből és a barlang belsejéből vett minták azonban az év minden részében szignifikánsan különböznek egymástól ($p > 0,01$).

Ugyancsak megvizsgáltuk az ún. bejáratú zóna és a barlang belső térségei közti eltérést. A számítások a tapasztalati megfigyeléseket igazolták.

A különbségek a hőmérséklet esetében egész éven át szignifikánsak voltak ($p < 0,01$), a párányomás esetében pedig télen szignifikánsak ($p < 0,01$), nyáron ($p > 0,05$) nem.

A fentiek alapján a kiegyenlítési vagy átmeneti zónák klimatikus sajátosságai a következőkben nyilvánulnak meg.

A rendkívül különböző fizikai állapotú felszíni légtömegek ebben a bejáratú vagy kiegyenlítő zónában olyan barlangi levegővé alakulnak át, amelyek fizikai

A barlangklíma változása a bejáratától számított távolsággal különböző meteorológiai elemek amikor ($t_F \approx t_B$)

A minták elemszáma: 31

A változók száma: 10

| | Légáramlás a barlangban (m/s) | Léghőmérséklet a barlangban (°C) | Relatív nedvesség a barlangban (%) |
|--|-------------------------------------|--|--|
| A változók átlaga | -0,0013 | 10,9 | 97,0 |
| A változók szórása | 0,1589 | 0,7 | 3,6 |
| Korrelációs együttható (r) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | ++ | 0,8477 $\frac{0,92^*}{0,71}$ | 0,4756 $\frac{0,71^*}{0,15}$ |
| Parciális korrelációs együt- hatók (r) ⁺ és konfidencia- határai ($P = 95\%$) | ++ | ++ | ++ |
| Többszörös korrelációs együttható (R) ⁺ és konfi- dencia-határai ($P = 95\%$) | 0,9507 $\frac{0,99^*}{0,90}$ | | |
| Determinációs együttható (R^2) | 0,9037 | | |

+ A klímaelemek korrelációs együtthatója a bejáratától mért távolságra vonatkozik.

++ A megjelölt korrelációs együtthatók nem különböznek szignifikánsan 0-tól ($p \geq 0,05$).

* A korrelációs együtthatók $p < 0,05$ szinten szignifikánsan különböznek 0-tól.

A fenti összefüggésre megállapított többváltozós lineáris regressziós egyenlet:

$$y = -5855,85 - 60,22 \cdot V_B - 242,19 \cdot t_B - 57,17 \cdot U_B + \\ + 687 \cdot e_B - 9,12 \cdot p_B - 86,13 \cdot t_F - 18,68 \cdot U_{sz} + 145,03 \cdot t_F + 12,2 \cdot p_F,$$

ahol:

y = a bejáratától mért távolság méterben,

állapotában igen kis eltérések mutatkoznak, amennyiben a barlangi levegőre jellemző változások tendenciái a gyors felszíni időjárásváltozásokat nem vagy alig követik. Ez természetesen nem a levegő, hanem a barlang tulajdonsága. A bejárat zónában lejátszódó változások a felszín és a barlang belsejére jellemző változások közti átmenetet tükrözik.

Ennek következménye, hogy a kiegyenlítő zónában a barlangok belső légteréhez viszonyítva még jelentősek a tér- (mind a vízszintes, mind a függőleges gradiensek) és az időbeli változások (a különböző klímaelemek változásai révén itt még jellemző napi menetek is kialakulhatnak).

Eltérő nagyságú barlang-termek

A barlangoknak olyan belső formáit sorolom ebbe a kategóriába, ahol az adott barlang járatrendszere (folyosója) számottevően kitágul, így az egyes termek légtere a barlang-rendszer egészéhez mérten jelentős. Az itt kialakuló mikroklíma sajátos-

statisztikai elemzése alapján „átmeneti” időjárási periódusokban (április, október), az Abaliget-barlangban

| Páryanomás a barlangban (mbar) | Légnyomás a barlangban (mbar) | Léghőmérséklet a szabadban (°C) | Relatív nedvesség a szabadban (%) | Páryanomás a szabadban (mbar) | Légnyomás a szabadban (mbar) |
|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------------------|
| 12,63 0,82 | 996,28 4,36 | 15,4 5,9 | 68,5 16,8 | 11,55 1,58 | 996,52 4,55 |
| 0,8711 $\frac{0,94^*}{0,75}$ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ |
| 0,4530 $\frac{0,70}{0,12}$ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ |

V = a légáramlás sebessége (m/s),

t = léghőmérséklet (°C),

U = relatív nedvesség (%),

e = páryanomás (mbar),

p = légnyomás (mbar).

Index:

F = léghőmérséklet a felszínen, B = léghőmérséklet a barlangban.

A fenti többváltozós lineáris regressziós összefüggésből történő prognózis (becslés) esetén a várható hiba $\Delta = \pm 0,255$.

sága, hogy a barlangok fala (a kőzet) a levegő tömegéhez viszonyítva itt érintkezik legkisebb felületen a levegővel.

Irodalmi ismereteink nincsenek arról, hogy a barlang belső légterében a különböző nagyságú és formájú termek klímájukat illetően mutatnak-e eltéréseket, vagy a különböző klímaelemek változásai olyan kisméretűek, hogy azok a barlangok belsőjében tovább lehatárolható kis légterekre nézve már teljesen elhanyagolhatók.

Vizsgáltuk közepes nagyságú termek légterének klimatikus hasonlóságát (Abaliget-barlang), amelyek méreteikben a legtöbb barlangra jellemzőek. Ezek: a Flórián-forrás térsége a bejáratától 159 m-re és az Elefánt környéke, amely 204 m-re található. A két légtér között kb. 40 m-es távolság van, a légáramlás rendszere folyamatosan biztosítja a levegőcserét. A t-próba eredménye azt mutatta, hogy az átmeneti időszakban valóban nincs eltérés (a hőmérsékleti átlagok közti eltérés 0,1 °C, amely egyáltalán nem szignifikáns: ($p > 0,2$). Azonban a téli (novembertől márciusig) és a nyári időszakban is számottevő eltérés mutatkozott. A téli időszakban az átlagok közti eltérés 0,35 °C, amely $p < 0,01$ szinten szignifikáns. Ez azt jelenti, hogy az áramló

XXVIII. TÁBLÁZAT

A barlangi légáramlás sebessége, a léghőmérséklet, a relatív nedvesség és a párányomás változása a magasság függvényében az Abaligeti-barlangban, nyáron

A minta elemszáma: 6

A változók száma: 5

| | Felszíntől mért magasság a barlangban (m) | Légáramlás sebessége a barlangban (m/s) | Léghőmérséklet a barlangban (°C) | Relatív nedvesség a barlangban (%) | Párányomás a barlangban (mbar) |
|--|---|---|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| A változók átlaga | 0,1–3,5 m között | –0,0283 | 12,6 | 96,6 | 14,05 |
| A változók szórása | | 0,0422 | 0,4 | 2,4 | 0,20 |
| Korrelációs együttható (r) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | | $0,8505 \frac{0,98^*}{0,12}$ | $0,9333 \frac{0,99^*}{0,48}$ | $-0,8103 \frac{-0,98^*}{0,00}$ | ++ |
| Többszörös korrelációs együttható (R) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | $0,9722 \frac{1,0^*}{0,74}$ | | | | |
| Determinációs együttható (R^2) | 0,9452 | | | | |

+ A korrelációs együtthatók a talajfelszínétől mért magasságra vonatkoznak.

++ A megjelölt korrelációs együtthatók nem különböznek szignifikánsan 0-tól ($p \geq 0,05$).

* A korrelációs együtthatók $p < 0,01$ szinten szignifikánsan különböznek 0-tól.

XXIX. TÁBLÁZAT

A barlangi légáramlás sebessége, a léghőmérséklet, a relatív nedvesség és a párányomás változása a magasság függvényében az Abaliget-barlangban, télen

A minta elemszáma: 6

A változók száma: 5

| | A felszíntől mért magasság a barlangban (m) | Légáramlás sebessége a barlangban (m/s) | Léghőmérséklet a barlangban (°C) | Relatív nedvesség a barlangban (%) | Párányomás a barlangban (mbar) |
|--|---|---|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| A változók átlaga | 0,1–3,5 | 0,1417 | 8,3 | 90,0 | 9,89 |
| A változók szórása | 1,3790 | 0,1278 | 0,6 | 2,4 | 0,60 |
| Korrelációs együttható (r) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | | $-0,9530$ $-0,60$ | $0,9489$ $0,60$ | ++ | ++ |
| Többszörös korrelációs együttható (R) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | $0,9994$ $1,0^*$ $0,91$ | | | | |
| Determinációs együttható (R^2) | 0,9989 | | | | |

+ A korrelációs együtthatók a talaj felszínétől mért magasságra vonatkoznak.

++ A megjelölt korrelációs együtthatók nem különböznek szignifikánsan 0-tól ($p \geq 0,05$).

* A korrelációs együtthatók $p < 0,05$ szinten szignifikánsan különböznek 0-tól.

XXX. TÁBLÁZAT

A barlangi légáramlás sebessége, a léghőmérséklet, a relatív nedvesség és a párányomás változása a magasság függvényében a Tapolcai-tavasbarlangban, télen

A minta elemszáma: 6

A változók száma: 5

| | A felszíntől mért magasság a barlangban (m) | Légáramlás a barlangban (m/s) | Léghőmérséklet a barlangban (°C) | Relatív nedvesség a barlangban (%) | Párányomás a barlangban (mbar) |
|--|---|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| A változók átlaga | 0,05–1,8 | 0,0450 | 12,8 | 96,0 | 14,26 |
| A változók szórása | | 0,1214 | 2,1 | 2,2 | 2,05 |
| Korrelációs együttható (r) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | | $-0,9687 \frac{-1,00^*}{-0,73}$ | $0,9611 \frac{1,00^*}{0,68}$ | ++ | $0,9064 \frac{0,99^*}{0,36}$ |
| Többszörös korrelációs együttható (R) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | $0,9993 \frac{1,00^*}{0,99}$ | | | | |
| Determinációs együttható (R^2) | 0,9987 | | | | |

⁺ A korrelációs együtthatók a talaj felszínétől mért magasságra vonatkoznak.

⁺⁺ A megjelölt korrelációs együtthatók nem különböznek szignifikánsan 0-tól ($p \geq 0,05$).

* A korrelációs együtthatók $p < 0,05$ szinten szignifikánsan különböznek 0-tól.

XXXI. TÁBLÁZAT

A léghőmérséklet, relatív nedvesség és párányomás változása a magasság függvényében a Dobsinai-jegesbarlangban, nyáron

A minta elemszáma: 10

A változók száma: 4

| | A felszíntől mért magasság a barlangban (m) | Léghőmérséklet a barlangban (°C) | Relatív nedvesség a barlangban (%) | Párányomás a barlangban (mbar) |
|--|---|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| A változók átlaga | 0,01—2,0 | 0,6 | 97,1 | 6,17 |
| A változók szórása | | 0,7 | 3,5 | 0,13 |
| Korrelációs együttható (r) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | | 0,8931 $\frac{0,97^*}{0,60}$ | -0,9610 $\frac{-0,99^*}{-0,84}$ | ++ |
| Parciális korrelációs együttható (r) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | | ++ | -0,7420 $\frac{-0,93^*}{-0,21}$ | ++ |
| Többszörös korrelációs együttható (R) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | 0,9702 $\frac{0,99^*}{0,88}$ | | | |
| Determinációs együttható (R^2) | 0,9412 | | | |

⁺ A korrelációs együtthatók a jégfelszíntől mért magasságra vonatkoznak.

⁺⁺ A megjelölt korrelációs együtthatók nem különböznek szignifikánsan 0-tól ($p > 0,05$).

* A korrelációs együtthatók $p < 0,05$ szinten szignifikánsan különböznek 0-tól.

levegő még a barlang belsejében is fokozatosan változik. A nyári hónapokban az említett két barlangi terem középhőmérséklete közti különbség 0,3 °C, amely ugyan-csak $p < 0,01$ szinten mutatkozik szignifikánsnak.

A levegő párányomásában jelentkező eltérések hasonlóak, mint amit a hőmérséklet esetében tapasztaltunk.

A barlang belsejéből származó minták alapján összehasonlítottuk egy kisebb térség (az ún. Lengőkő környéke) és egy-egy nagyobb légtér (Színház-terem) léghőmérsékletét és nedvesséviszonyait is. A két légtér közti nagyságbeli eltérés kb. százszoros az utóbbi javára.

A Lengőkő és a Színház-teremből vett minták alapján a téli félévben a hőmérsékleti közepek között 1,1 °C-os eltérés van. Az ún. Színház-terem a melegebb, az átlag szórása ugyanakkor kisebb (Lengőkő = 0,38 °C; Színház-terem = 0,20) a két terem közötti eltérés szignifikáns ($p < 0,01$). Nyáron a különbségek jóval kisebbek $\bar{x}t = 0,08$ °C; $\sigma = 0,03$ °C, de ekkor is szignifikánsak ($p < 0,01$). Az átmeneti hónapokban (áprilisban és októberben) a különbségek további csökkenése a jellemző ($\bar{x}t = 0,03$ °C). A két minta szóráskülönbsége elenyészően növekszik ($\Delta\sigma = 0,04$ °C). Ebben az időszakban a barlang egészére jellemző kiegyenlítetttség a barlang két belső termék hőmérsékleti viszonyaiban is megmutatkozik, amennyiben a két légtér hőmérsékletkülönbsége 5%-os szinten ugyan szignifikáns ($p < 0,05$), 2%-os szinten azonban már nem ($p > 0,02$).

A léghőmérséklet, relatív nedvesség és párányomás változása
a magasság függvényében a Dobsinai-jegesbarlangban, télen

A minta elemszáma: 10

A változók száma: 4

| | A felszíntől mért magasság a barlangban (m) | Léghőmérséklet a barlangban (°C) | Relatív nedvesség a barlangban (%) | Párányomás a barlangban (mbar) |
|---|--|--|--|--------------------------------------|
| A változók átlaga | 0,01–3,0 m között | –4,1 | 92,1 | 4,14 |
| A változók szórása | | 0,5 | 1,8 | 0,23 |
| Korrelációs együttható (r) ⁺ és konfidencia- határai ($P = 95\%$) | | 0,9654 $\frac{0,99^*}{0,86}$ | 0,8942 $\frac{0,97^*}{0,61}$ | 0,9298 $\frac{0,98^*}{0,72}$ |
| Parciális korrelációs együttható (r) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | | 0,8676 $\frac{0,97^*}{0,52}$ | ++ | ++ |
| Többszörös korrelációs együttható (R) ⁺ és konfidencia-határai ($P = 95\%$) | 0,9832 $\frac{1,00^*}{0,93}$ | | | |
| Determinációs együt- tható (R^2) | 0,9666 | | | |

+ A korrelációs együtthatók a magasságra vonatkoznak.

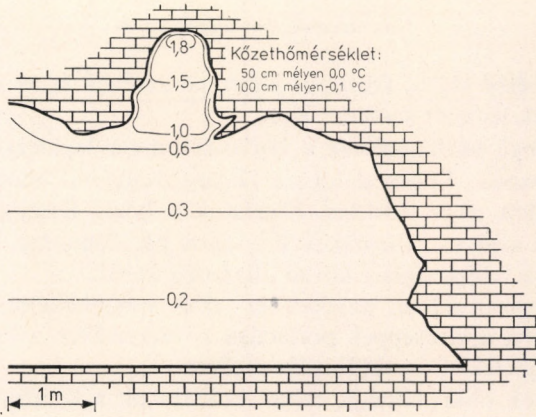
++ A megjelölt korrelációs együtthatók nem különböznek szignifikánsan 0-tól ($p > 0,05$)

* A korrelációs együtthatók $p < 0,05$ szinten szignifikánsan különböznek 0-tól.

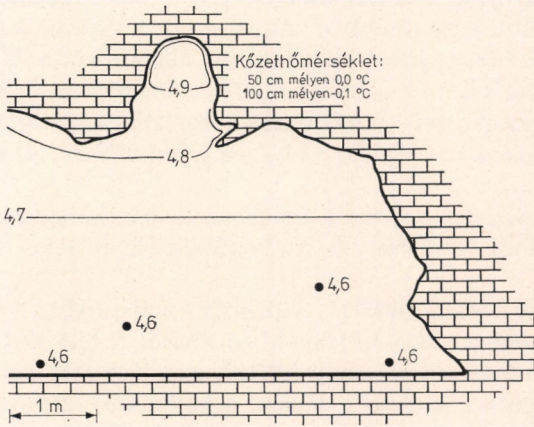
Vizsgáljuk meg ugyanezen termék nedvességviszonyainak hasonlóságát a párányomás értékeivel. A léghőmérséklethez teljesen hasonló törvényszerűségek jelentkeznek, azaz a párányomás értékei a vizsgált kis- és nagytermekben szignifikánsan különböznek ($p < 0,01$). Az átmeneti hónapokban (áprilisban és októberben) azonban csupán $p = 5\%$ -os valószínűségi szinten jellemző az eltérés ($p < 0,02$).

A barlangtermek mikroklímájára általánosan jellemzőnek találtam a légáramlás minimumra csökkenését és ezzel egyidőben a léghőmérsékletnek stabilis rétegződését, amely mellett a barlangban jelentős függőleges hőmérsékleti gradiensek alakulhatnak ki (70. ábra). A párányomás függőleges eloszlására ugyanez jellemző, bár a változások lényegesen kisebbek (0,27–0,40 mbar), sőt az alsó, 2–3 m-es légrétegben értékük rendszerint nulla (70. és 71. ábra). A relatív nedvesség változása a léghőmérséklet és a párányomás eloszlásával fordított – mint általánosan a barlangok egészében – alulról felfelé csökken (72. ábra). Közvetlenül a talaj felett többnyire a telítettség a jellemző, az alsó, néhány méteres légtérben pedig a 98%-os párateltség. A relatív nedvesség gyors csökkenése a termék magasabb légtérére jellemző.

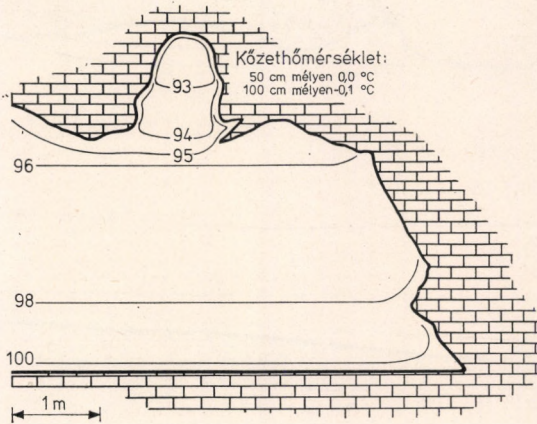
A vizsgálati eredmények azt igazolják, hogy terápiás célokra legalkalmasabb térségek a barlangnak a felszínre kivezető nyílásaitól távol eső, kiegyenlített klímájú, közepes nagyságú barlang-termek.



70. ábra. A léghőmérséklet (°C) keresztmetszet szerinti elrendeződése nagyterjedésű földalatti légtérben (Dobsina, Nagy-terem), 1971. VIII. 28.



71. ábra. A párányomás (Hgmm) keresztmetszet szerinti elrendeződése nagyterjedésű földalatti légtérben (Dobsina, Nagy-terem), 1971. VIII. 28. (1 Hgmm = 1,33 mbar)



72. ábra. A relatív nedvesség (%) keresztmetszet szerinti elrendeződése nagyterjedésű földalatti légtérben (Dobsina, Nagy-terem), 1971. VIII. 28.

A barlangok kevésbé tágas, zezugos járatrendszerének és az ugyancsak szűkebb folyosórendszerének légterét sorolom ide.

A labirintus jellegű barlangrészek a barlangrendszer legkiegyenlítettebb klímájú térségei közé tartoznak. Éppen a forma változatosságából adódik, hogy a levegő lassú áramlás mellett nagy felületen érintkezik a kőzet felszínével, átveszi annak hőmérsékletét és a nedves falfelületek folytonos párologtatása következtében telítetté válik, illetve a telítettséghez közeli állapotba kerül.

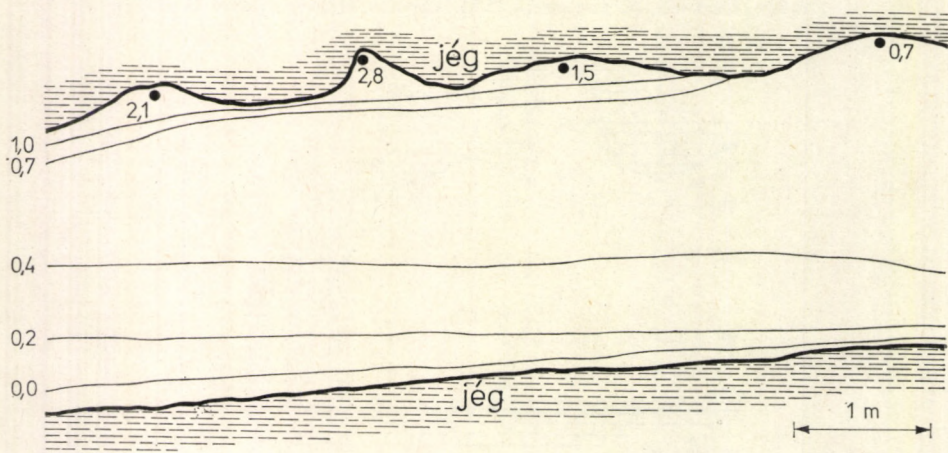
Azokban a labirintusokban, amelyekben aktív cseppkőképződés is van, éppen a folytonos csepegés, a vízcseppek porladása következtében a levegő telítettségével számolhatunk, megfelelő CO_2 feldúsulás mellett.

A barlangfolyosók mikroklímája abban különbözik a labirintus jellegű barlangrészekétől, hogy a keresztmetszet összeszűkülésével arányosan növekszik a légáramlás sebessége, bár az áramlás még mindig lamináris, így mód van a különböző éghajlati elemek rétegződésére. Ezek a térbeli különbségek azonban pillanatról pillanatra az egész barlangon belül a leggyorsabban változhatnak a légáramlástól függően.

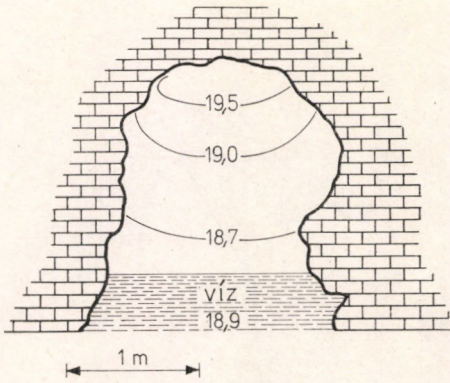
A hőmérséklet eloszlására jellemző pillanatnyi állapotokat a 73. ábra szemlélteti. Ezekre a formákra is jellemző a levegő stabilis rétegződése. A legkiegyenlítettebb klímája pedig valamennyi típus közül a hűvös karsztbarlang-típusnak van, a hideg és a meleg barlangokra is nagyobb különbségek jellemzőbbek. Az utóbbit a 74. ábra szemlélteti.

A párányomás eloszlására nyáron a különbségek feltűnő elmosódása a jellemző, azonban a bejáratoktól távolabb eső barlangfolyosókban télen sem alakulnak ki jelentős eltérések.

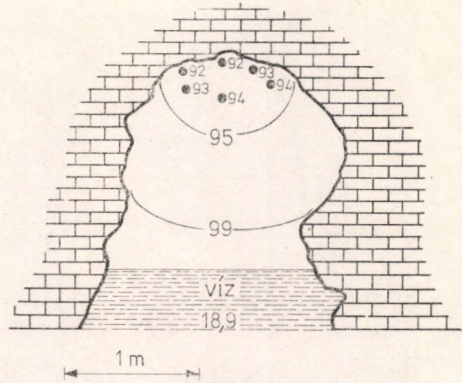
A relatív nedvesség térbeli eloszlása különböző folyosókban barlangtípusonként jelentősebb eltérést mutat. Jegesbarlangokban alulról felfelé lényeges különbségek alakulnak ki, a szélsőségesen alacsony értékek azonban már nem a szűk keresztmetszetű térségek típusára jellemzők, hanem a különböző mennyezeti formációkra, amelyek a kürtöknél kerülnek tárgyalásra. Az egyéb barlangtípusok változékonyabb



73. ábra. A léghőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$) keresztmetszet profilja jégfolyosóban (Dobsina), 1971. VIII. 28.



74. ábra. A léghőmérséklet (°C) keresztmet-
szet szerinti eloszlása a Tapolcai-tavasbar-
lang „aktív” vízfolyásos szakaszában, 1971.
IX. 3.



75. ábra. A relatív nedvesség (%) kereszt-
metaszet szerinti eloszlása a Tapolcai-tavas-
barlang „aktív” vízfolyásos szakaszából,
1971. IX. 3.

állapotot tükröznek (75. ábra). Falközelen azonban minden esetben nedvesebb a levegő mint a járat közepén, ami a levegő áramlásának következménye. A vizsgál-
lati eredmények igazolják azt a törvényszerűséget, hogy a relatív nedvesség alulról
felfelé növekszik a barlangfolyosókban is.

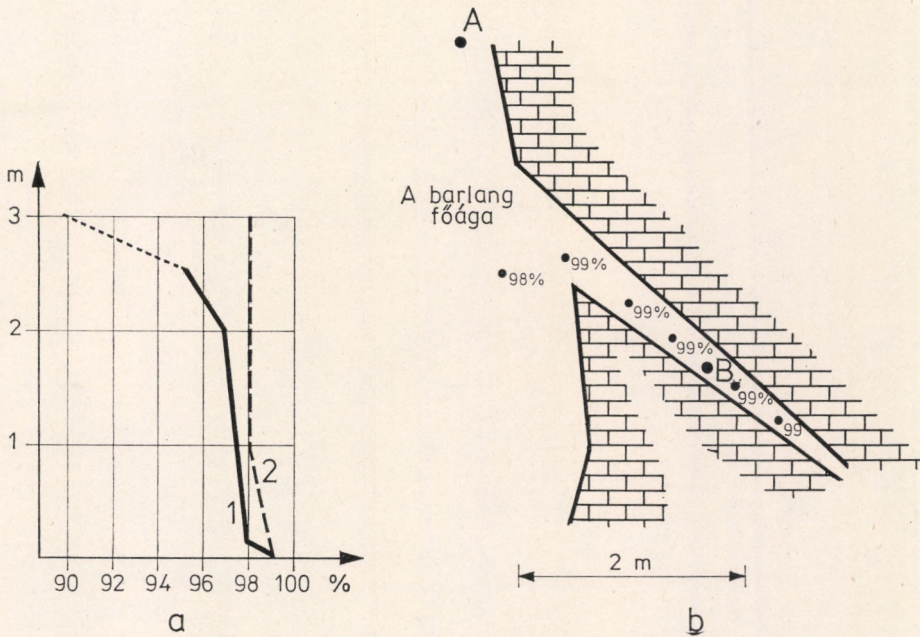
A kürtők

E kategóriába tartozó formák közé nem csupán a barlangok többségére oly jel-
lemző kürtöket sorolom, hanem mindazt a mennyezeti formát, amelyek hasonló
mikroklímát alakítanak ki.

Az oldalt és felül zárt mennyezeti formák – köztük a kürtők – barlangonként
a legváltozatosabb mikroklímát alakítják ki. Ezekre a kis légterekre (olykor alig
néhány cm magasak) nagy különbségek is jellemzők. A vízszintes irányú légáram-
lástól védettek. Így a mennyezeti formákban a melegebb levegő konvektív feláramlás
következtében a barlangok legmelegebb zugai alakulnak ki (76. és 77. ábra). Olyan
eltérések ezek a barlangok egész térségében (olykor 8–10% is), amelyeket az eddigi
szakirodalom nem írt le és a barlangok általános klímájának jellemzésénél nem vett
figyelembe, és ahol ugrásszerűen növekszik a párányomás értéke (78. ábra), csökken
a relatív nedvesség (79. ábra).

A szerkezeti vonalak

A szerkezeti vonalakon értem a sajátos barlangi mikroklímák kialakulása szem-
pontjából azokat a tektonikus eredetű hasadék-rendszereket, amelyek a levegő szá-
mára járhatók és szerepük van a barlang klímájának alakításában. Jellemző rájuk,
hogy a levegő ezekben a formákban érintkezik legnagyobb felületen a kőzetfelszínnel,
így ennek hatását leginkább a szerkezeti vonalak kis légtereinek mikroklímája viseli
magan (ennek különösen nagy jelentősége van barlangi levegővé történő átalakulá-

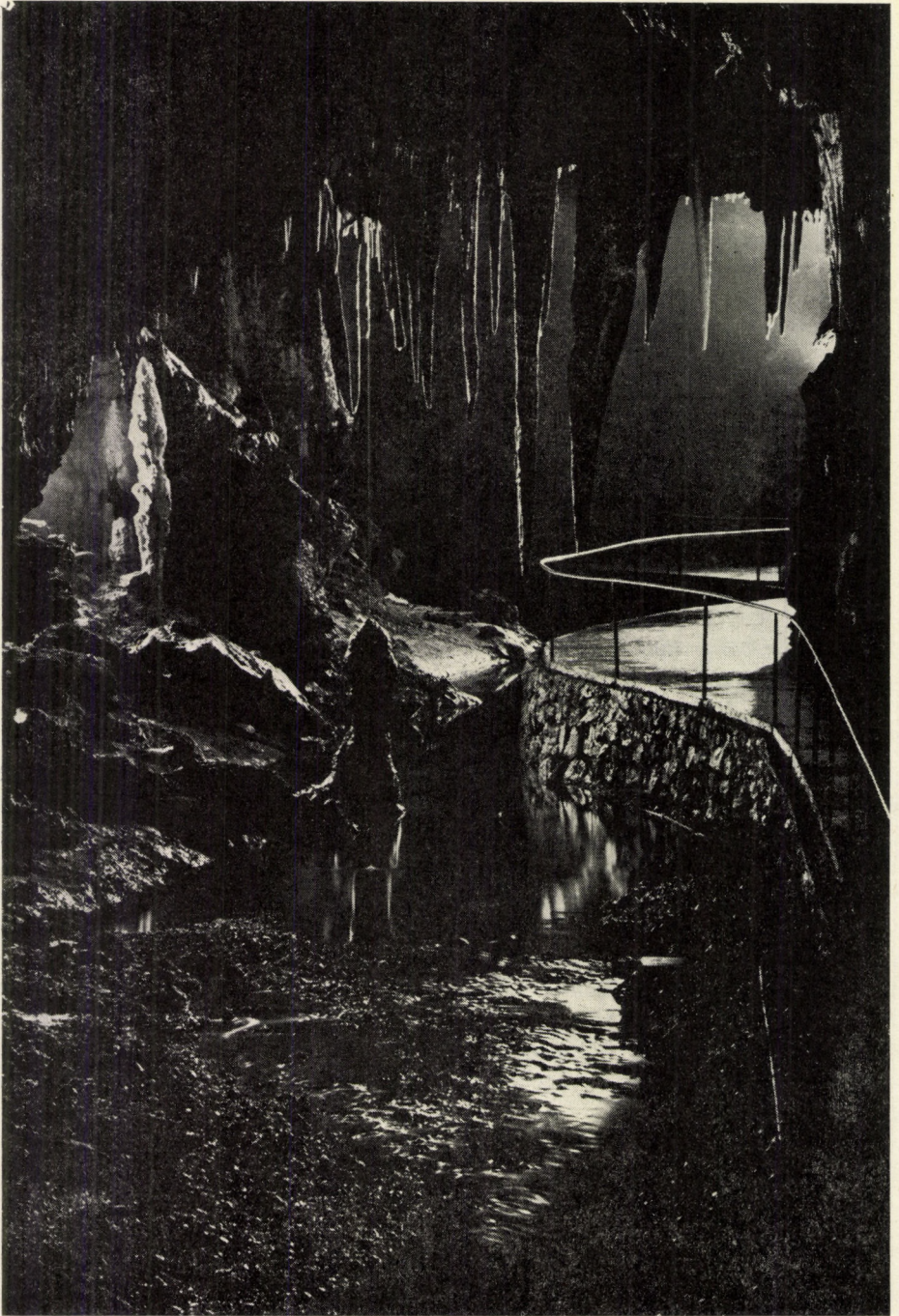


80. ábra. A léghőmérséklet térbeli változásai a barlang főágához kapcsolódó diaklázisában, Abaliget, 1971. IX. 9.

A = a barlang főágában; B = a diaklázisban

sában). A léghőmérséklet függőleges elrendeződését az Abaligeti-barlangból a 80. ábrán mutatjuk be. Az 1. grafikon a léghőmérséklet magasság szerinti változását mutatja a barlang főágában, a 2. grafikon pedig a hasadékbán, azon a ponton, amely még hozzáférhető volt termisztoros készülékkel.

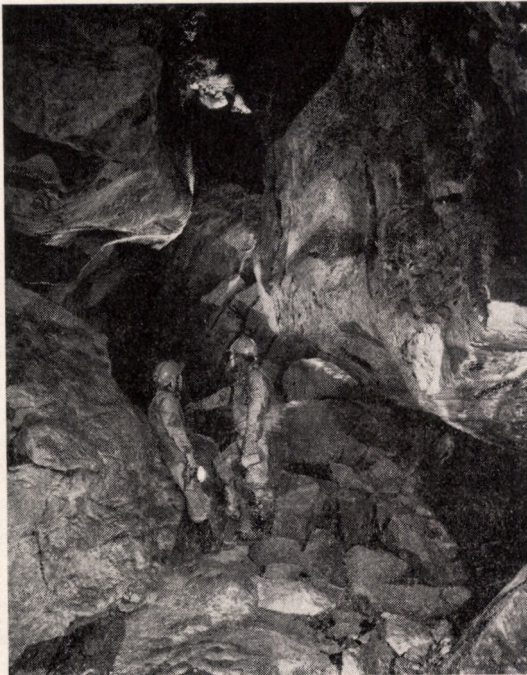
Következtetésünk az, hogy a különböző méretű szerkezeti vonalak mentén találjuk a barlang legkiegyenlítettebb klímáját. Ezekben a rendszerekben az áramló levegő tömege igen kicsi az érintkező kőzetfelszínhez képest, így, amikor a felszíni levegő ezeken az erősen összeszűkülő rendszereken keresztül áramlik a barlangba befelé (pl. az abaligeti-típusnál nyáron), a felszíni levegő barlangivá alakulása gyorsan és rövid úton megy végbe (hőleadás, párakondenzáció stb.). Így a barlang járható térségeibe már olyan levegő érkezik, amelynek fizikai állapota a jellegzetes barlangi levegőével azonos.



28. kép. Különösen a nagytermek tágas folyosóiban a barlangok kiegyenlítettebb klímája alakul ki. Részlet a Baradla-barlangból (Fotó: Borzsák P. -Prágai A.)



29. kép: A vakon végződő kúrtók a barlangok meleg légszákjai. István-barlang, Kürtő
(Fotó: Borzsák P.—Prágai A.)



30. kép. A szerkezeti vonalak mentén találjuk a barlang kiegyenlítettébb klímáját. Részlet a Mátyáshegyi-barlangból (Fotó: Borzsák P.—Prágai A.)

VIII. A KLIMATIKUS BARLANGTÍPUSOK ÖSSZEHASONLÍTÓ ÉRTÉKELÉSE

A barlangokban végzett meteorológiai megfigyelések nagy száma természet-szerűen vezetett el bennünket különböző klimatikus rendszerezések megalkotásához. A barlangok első, átfogó éghajlati osztályozása A. PENCKTŐL származik (1889), aki klimatológiai szempontból a barlangoknak három típusát különböztette meg:

1. A felül zárt, nehezen hozzáférhető, száraz barlang, állandóan meleg hőmérséklettel,
2. felül nyitott, nedves jégbarlang, állandó alacsony hőmérséklettel,
3. két oldalt nyitott, patakvíz által keresztülfolyt barlang, érzékeny hőmérsékleti ingadozásokkal.

R. OEDL (1923) hivatkozva CRAMER (1890), BOCK, H. (1913), FUGGER, E. (1888), PENCK, A. (1889), ROSCHKOTT, A. (1921) és STEINER L. (1922a), valamint saját ausztriai, svájci és felső-bajorországi kutatásaira, a barlangok új klimatológiai felosztását kísérli meg, amelyet általános érvényű elfogadásra javasol. OEDL két nagy csoportot különböztetett meg:

1. vizes barlangok (Wasserhöhlen),
2. száraz barlangok (Grotten der Trocken Höhlen) csoportja.

1. A vizes barlangok további típusai:

- a) víznyelő barlangok (Wasserschwinden, horvátul: ponor),
- b) forrásbarlangok (Quellenhöhlen).

R. OEDL a száraz barlangok csoportosítását, amelyekben az erózió mélyebbre nyomulása által befejeződött a barlangképződési folyamat, már csak különböző szempontok alapján tudta elvégezni (hőmérséklet, légmozgás, a barlangot kitöltő anyag fizikai keletkezése). E szempontok figyelembevétele ezt a rendszert differenciáltabbá, de inhomogénné teszi a PENCK-féle osztályozással szemben.

Ezek alapján OEDL a száraz barlangokat hőmérséklet szerint meleg és hideg barlangokra osztja. A barlangot kitöltő anyag fizikai keletkezése szempontjából cseppkő- és jégbarlangokat, a légmozgás alapján pedig statikus és dinamikus barlangokat (Grotten und Höhlen) különböztet meg. A barlangok Höhle és Grotte-rendszerbe helyezését zavarja, hogy PENCK (1889) már mindkét fogalmat használta az ugyanazon típusú vizes barlang megjelölésére is.

W. GRESSEL (1958) bírálja a barlangok klimatikus osztályozásának korábbi kísérleteit. Csupán a hőmérsékleti faktorokon nyugvó felosztás nem fejezi ki egyértelműen a barlang jellegzetességének lényegét (pl. a szellőzés módját), ugyanakkor a valóságos hőmérsékleti viszonyok a különböző barlangokban nagyon specifikusak és ingadozók, és az egyes folyosók, termek, valamint rétegek is nagyon különböznek. GRESSEL

a dinamikai szempont szerinti osztályozást javasolja, amelyben azonban a hőmérsékletet figyelembe vevő szempontok nem érvényesülnek.

E szerint a barlangoknak három fő csoportját különböztetjük meg:

- a) *Dinamikus barlangok*, amelyek két vagy több nyíláson keresztül kapcsolatban vannak a külvilággal. Ezek az atmoszferikus légnyomás-, hőmérséklet- és cirkulációs-viszonyokkal közvetlen kapcsolatban vannak.
- b) *Sztatikus barlangok*, amelyeknek csak egy bejáratuk van. Aszerint, hogy a rendszer a hegy belseje felé emelkedik vagy süllyed, beszélhetünk melegebb vagy hidegebb sztatikus barlangokról.
- c) *Sztatodinamikus barlangok* egyrészt a dinamikus barlangokhoz hasonlóan, több nyílással állnak kapcsolatban az atmoszférával, de olyan lezárt oldaltermek vannak, amelyek a barlangi szellőzéstől egyáltalán nem, vagy csak részben befolyásoltak.

A termálbarlangokat W. GRESSEL különleges barlangfajtának tekinti. Hőmérsékleti viszonyait a keresztülfolyó termálvíz erősen befolyásolja. Ezek formájuk szerint lehetnek dinamikus és sztatikus barlangok egyaránt.

A. BAUMGARTNER (1950) 1–4. kategóriáját a légcirkuláció alapján különbözteti meg, az 5–6. kategóriájánál pedig genetikai jegyeket vesz alapul.

E. QUITT (1962) a barlangok mikroklímájának kialakításánál már utal néhány geomorfológiai tényező szerepére, így a földalatti termek formájára, nagyságára, továbbá a földalatti üregek hidrológiai viszonyaira. JAKUCS L. feltárja a karsztfelődés genetikáját (1960) és a barlangok genetikai osztályozását adja (JAKUCS L.–KESSLER H. 1962). Ezek alapján vállalkozunk a barlangklímát meghatározó tényezők csoportosítására.

A talajközeli légréteg mikroklímáját tárgyaló munkájában R. GEIGER (1961) a barlangok klímájának szintézisét is adja. Szerinte a barlang mikroklímáját döntően befolyásolja, hogy a barlangnak csupán egy vagy több bejárata van-e. Ezzel kiemeli a levegő cirkulációjának szerepét a barlangklíma alakításában. Nem tagadva a fenti tényező szerepét a barlangok sajátos klímájának meghatározásában vitatkozom azokkal az elméletekkel, amelyek egy-egy tényezőt olyan formában emelnek ki, hogy az determinálja a barlangok mikroklímáját. Példaként említem, hogy a barlang levegőjének cirkulációját – amelynek kialakításában további tényezők vesznek részt – döntően befolyásolja az adott barlang genetikájának végső fázisa. Ez pedig nem azonos a barlangok nyílásának számával. Sőt, esetenként a barlangok nyílásának száma nem is lényeges, mert elvileg lehet egy barlangnak bármilyen nagy számú bejárata, ha az lefelé mélyülő, ún. „zsákbarlang”, és valamennyi nyílása a barlang legmagasabb pontja körül található, akkor itt a hideg levegő tartósan megül, cirkulációs rendszere pedig nem változik lényegesen a nyílások számától függően.

A barlangok klímáját energiaforgalmuk határozza meg. A különböző barlangokra jellemző sajátos energiamérleget pedig a felszín és a barlang közötti energiacsereik alakítják ki. Ebben a folyamatban igen fontos szerepet játszanak az adott tájra – amelyben a barlang található – jellemző felszíni éghajlati viszonyok, a barlang kifejlődésének eredményeként létrejött morfostruktúra, továbbá a barlangot magában foglaló szilárd közetréteg geopotenciális energiái, valamint a barlangok légáramlási rendszere.

1. A KÜLÖNBÖZŐ BARLANGOK NÉHÁNY KLÍMAELEMÉNEK ÖSSZEHAISONLÍTÁSA

A t-próba alkalmazásával összehasonlítottuk egymással számos barlang hőmérsékletét és párányomását (Abaligeti-barlang–Baradla-barlang; Abaliget–Tapolcai-tavasbarlang; Abaliget–Dobsinai-jegesbarlang; Abaligeti-barlang–budapesti Mátyás-barlang; Baradla–Tapolcai-tavasbarlang; Baradla–Dobsinai-jegesbarlang; Tapolcai-tavasbarlang–Dobsinai-jegesbarlang). Az elemzés néhány általánosítható tapasztalata a következő:

Valamennyi barlang léghőmérséklete szignifikánsan különbözik a másiktól ($p < 0,001$). A Baradla- és az Abaligeti-barlang, illetve az Abaligeti- és a budapesti Mátyás-barlang léghőmérsékleti viszonyait a téli és átmeneti periódus adatai alapján is összehasonlítottam. A hőmérsékleti középértékek között mindannyiszor szignifikáns differencia volt.

A párányomás értékeire jellemző közepek a léghőmérséklethez hasonlóan valamennyi barlang esetében ugyancsak szignifikáns különbséget mutattak. A téli, nyári és átmeneti időszakokra vonatkozó részeredmények összefüggéseinek esetében is szignifikáns differencia mutatkozott.

A fentiekből kitűnik, hogy a vizsgált barlangok eltérő klimatikus sajátosságai többségében a barlangok morfogenetikai sajátosságaiból adódnak, mint ahogyan egy azon barlangon belüli formák (VII.3. fejezet) is szignifikáns különbségeket idéznek elő a barlang kis légtereinek állapotában.

2. A KLIMATIKUS BARLANGTÍPUSOK MODELLJEI

Az előző pontban kifejtettek figyelembevételével, a barlangok éghajlati sajátosságai alapján modelleztem az eltérő klímájú barlangok főbb típusait (*XXXIII. táblázat*). A típusokat humánbioklimatológiai megfontolások alapján választottam ki (II. fejezet).

A hidegérzetet keltő barlangok közül sztatikus rendszerbe azokat soroljuk, amelyeknek egy vagy több nyílásuk a barlang legmagasabb térségének szintjében található, így a $0,0\text{ °C}$ -nál melegebb levegő számottevő mennyiségben sohasem áramlik keresztül a barlangon. A jég mint kitöltő anyag egész évben megmarad, ez a hidegérzet kialakításánál fontos tényező. A modell klasszikus példája a Dobsinai-jegesbarlang.

A hidegérzetet keltő dinamikus barlangoknak különböző tengerszint feletti magasságban legalább kettő, vagy több nyílásuk léghőmérsékletének évi középértéke $0,0\text{ °C}$ alatt van, bennük a jég mint kitöltő anyag egész éven át megmarad (pl. Eisriesenwelt). A barlang által előidézett közérzet szempontjából hideg- és hűvösérzetet keltő barlangok csoportja között szükséges elkülöníteni a *periodikusan hidegérzetet keltőket*, amelyekben a jég csak időszakosan fordul elő. Ezek a barlangok bioklimatológiai jegyeik alapján az év jelentős részében hideg barlangok, azonban miután a jég elolvad bennük, nyár végére, vagy az őszi időszakban légtérük úgy felmelegszik, hogy az már a hűvösérzetet keltő barlangok klimatikus jegyeit viseli magán (Telkibányai-jegesbarlang, Deményfalvi-jegesbarlang stb.).

XXXIII. TÁBLÁZAT
Klimatikus barlangtípusok modelljei

| Az ember közérzetére különböző módon ható barlangok típusai | A Bradtke-féle közérzeti index | A barlang morfostruktúrája és légáramlási rendszere alapján | Léghőmérséklet (°C) | Relatív nedvesség (%) | Vízgőznyomás (mbar) | |
|---|----------------------------------|---|--|---|--|---|
| 1. Hidegérzetet keltő barlangok | $B_i \leq 0,0$ $B_i \leq 0,0$ | a) statikus b) dinamikus | $\bar{x}_{(t)} \leq 1,0$ $\bar{x}_{(t)} \leq 1,0$ | $\sigma_s \leq 1,0$ $\sigma_d > 1,0$ | $\bar{x}_{(w)} = 85 - 95$ $\bar{x}_{(w)} = 80 - 95$ $\bar{x}_{(e)} = 0,1 - 6,5$ $\bar{x}_{(e)} = 0,1 - 6,5$ | $\sigma_s = 0,1 - 3,0$ $\sigma_d = 0,1 - 3,0$ |
| 2. Hidegérzetet periodikusan keltő barlangok | $B_i = 0,1 - 1,0$ | a) kvazi dinamikus b) dinamikus | $\bar{x}_{(t)} \leq 5,0$ $\bar{x}_{(t)} \leq 5,0$ | $\sigma_s \leq 0,5$ $\sigma_d > 0,5$ | $\bar{x}_{(w)} = 80 - 99$ $\bar{x}_{(e)} = 0,1 - 8,5$ | $\sigma = 0,1 - 3,0$ |
| 3. Hűvösérzetet keltő barlangok | $B_i = 1,1 - 2,0$ | a) statikus b) kvazi dinamikus | $\bar{x}_{(t)} = 1,1 - 12,0$ | $\begin{cases} \sigma_s \leq 1,0 \\ \sigma_{kd} \leq 1,5 \\ \sigma_d > 1,5 \end{cases}$ | $\bar{x}_{(w)} = 90 - 98$ $\bar{x}_{(e)} \leq 14,0$ | $\begin{cases} \sigma_s \leq 0,8 \\ \sigma_{kd} \leq 1,0 \\ \sigma_d > 1,0 \end{cases}$ |
| 4. Komfortérzetet keltő barlangok | $B_i = 2,1 - 5,0$ | a) statikus b) kvazi dinamikus c) dinamikus | $\bar{x}_{(t)} = 12,1 - 20,0$ | $\begin{cases} \sigma_s \leq 1,0 \\ \sigma_{kd} \leq 1,5 \\ \sigma_d > 1,5 \end{cases}$ | $\bar{x}_{(w)} = 90 - 98$ $\bar{x}_{(e)} \leq 20,0$ | $\begin{cases} \sigma_s \leq 0,5 \\ \sigma_{kd} \leq 1,0 \\ \sigma_d > 1,0 \end{cases}$ |
| 5. Melegérzetet keltő barlangok | $B_i > 5,0$ | a) statikus b) kvazi dinamikus c) dinamikus | $\bar{x}_{(t)} > 20,0$ | $\begin{cases} \sigma_s \leq 1,0 \\ \sigma_{kd} \leq 1,5 \\ \sigma_d > 1,5 \end{cases}$ | $\bar{x}_{(w)} = 90 - 99$ $\bar{x}_{(e)} > 20,0$ | $\begin{cases} \sigma_s \leq 0,5 \\ \sigma_{kd} \leq 1,0 \\ \sigma_d > 1,0 \end{cases}$ |

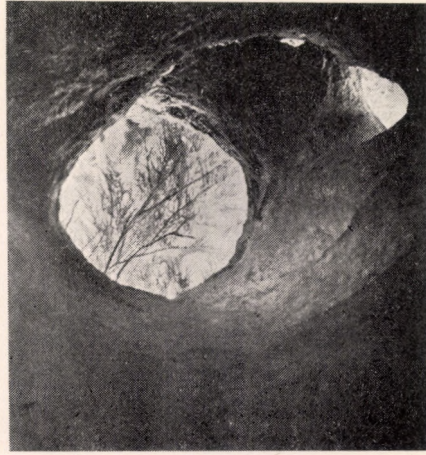
$\bar{x}_{(t)}$ = a hőmérséklet évi közepe, $\bar{x}_{(e)}$ = a vízgőznyomás évi közepe, s = statikus barlang, kd = kvazi dinamikus barlang, d = dinamikus barlang
 $\bar{x}_{(w)}$ = a relatív nedvesség évi közepe, σ = a szórás.

A morfostruktúra és a légáramlás jellege alapján elkülönített sztatikus és dinamikus modellek tartalma azonos az irodalomban elfogadott szakkifejezések tartalmával. A kvázi dinamikus típus azonban lényegében tér el a sztatodinamikus barlangtól (GRESSEL, W. 1958). A kvázi dinamikus barlangtípus megjelölést JAKUCS Lászlóval történt konzultáció alapján azokra az egy nyílású barlangokra alkalmazzuk (a szakirodalom ezeket eddig sztatikus barlangoknak tekintette – GRESSEL 1958), amelyek a barlanghoz tartozó nagyszámú karsztos mikroüregen (repedésen) keresztül mégis állandó légáramlással kapcsolódnak a felszíni légtömegekhez. De az áramlás erőssége a dinamikus típushoz viszonyítva lényegesen gyengébb.

A klimatikus barlangtípusok közül az ember számára igen fontosak a hűvösérzetet és a komfortérzetet keltő barlangok. Egyrészt, mert a Föld karsztvidékein jelentős számban fordulnak elő, másrészt, mert a speleoterápia alkalmazására csak e típusokon belül kereshetünk úgynevezett gyógybarlangokat.

A modell elkészítését megalapozó hosszas kutatómunka a barlangok sajátos klímaviszonyai belső törvényszerűségeinek feltárásán túl megerősítette azt a felismerést, hogy az ember közérzetére különböző módon ható barlangok klímáját a rendszer totalitásában kell vizsgálni. Különösen nélkülözhetetlenek a komplex elemzési módszerek a barlangi folyamatok bonyolult hatásmechanizmusának feltárásában akkor, amikor a speleoterápia alkalmazásának kiterjesztése többek között a fenti kutatások kiszélesítésének alapján válhat valóra.

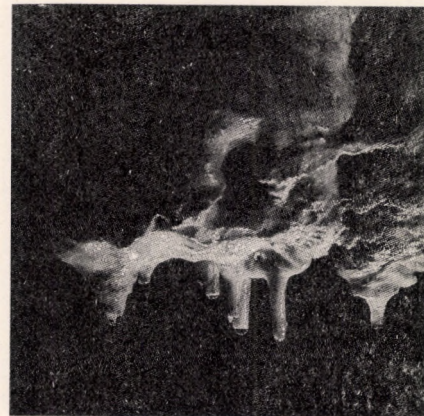
31. kép. Típusos több bejáratú dinamikus lég-
járású barlang (Fotó: Jakucs L.)

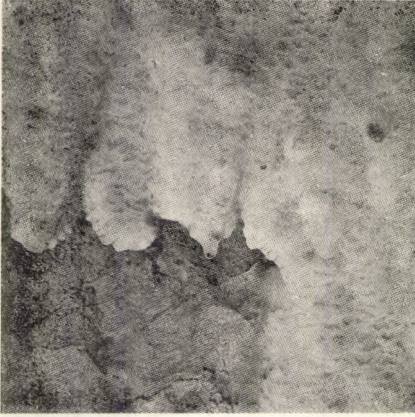


32. kép. Részlet a hidegérzetet keltő Szilicei-
jegesbarlangból (Fotó: Borzsák P.-Prágai A.)



33. kép. Részlet a Vass Imre-barlangból (Fotó:
Borzsák P.-Prágai A.)

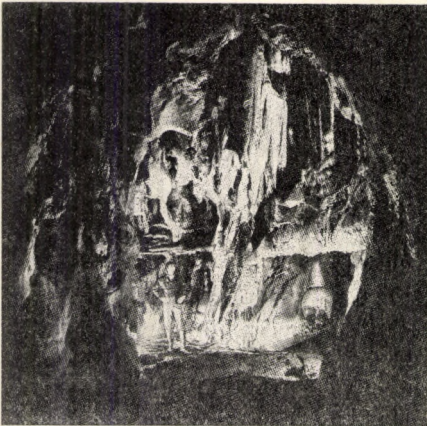




34. kép. Részlet a Vass Imre-barlangból (Fotó: Borzsák P.–Prágai A.)



35. kép. Hűvösérzetet keltő kvázi dinamikus barlang bejárata. 1896-ban készült felvétel az Abaligeti-barlangról



36. kép. Részlet a Vass Imre-barlangból (Fotó: Borzsák P.–Prágai A.)

IRODALOM

- ÁGOSTON B.—BIRÓ Zs.—HAJÓS K. —KIRCHKNOPF M.—VADÁSZ Gy. (1968): A légzőszervi betegségek barlangtherápiája. *Orvosi Hetilap*, **109**, 12, pp. 640—642.
- AUJESZKY L. (1949): *A magyarországi gyógyhelyek éghajlata*. Baln. könyvt., Budapest, 3. sz.
- BACSÓ N. (1959): *Magyarország éghajlata*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- BACSÓ N. (1972): Az ember környezetének meteorológiai tényezői. *Időjárás*, **76**, 4, pp. 197—207.
- BACSÓ N.—ZÓLYOMI B. (1934): Mikroklíma és növényzet a Bükkfennsíkon. *Időjárás*, **38**, 9—10, pp. 177—196.
- BALÁZS D. (1960): Barlangi légáramlás járása nyáron. *Karszt és Barlangkutatási Tájékoztató*, szept.—okt., pp. 411—428.
- BALÁZS D. (1964): A vegetáció és a karsztkorrózió kapcsolata. *Karszt és Barlang*, I. füzet, pp. 13—16.
- BALÁZS D. (1969): Adalékok a barlangi légáramlás tanulmányozásához. *Karszt és Barlang*, I. füzet, pp. 15—24.
- BAUMGARTNER, A. (1950): *Meteorologische Beobachtungen am Hölloch (Kleines Walsertal)*. Meteorol. Institut, München.
- BÁRÁNY I. (1967): Der Einfluss des Niveauunterschiedes und der Exposition auf die Lufttemperatur in einer Doline im Bükk-Gebirge. *Acta Climatologica Szegediensis*, **VII**, pp. 85—109.
- BERÉNYI D. (1943a): Hőmérséklet észlelések a révi Zichy-barlangban és környékén. *Pótfüzetek a Természettud. Közlönyhöz*, 4, pp. 205—208.
- BERÉNYI D. (1943b): Magyarország Thornthwaite-rendszerű éghajlati térképe és az éghajlati térképek növényföldrajzi vonatkozásai. *Időjárás*, **47**, 5—6, 7—8, pp. 81—91, 117—225.
- BERÉNYI D.—JUSTYÁK J. (1959): A tokaj-hegyaljai borospincék mikroklímikus viszonyai. *A debreceni Kossuth L. Tudományegyetem Met. Int. Közlem.*, 14, pp. 287—310.
- BERÉNYI D.—JUSTYÁK J. (1960): Mikroklimatológiai megfigyelések az Aggteleki-cseppkőbarlangban. *Kossuth L. Tudományegyetem Met. Int. Közlem.*, 17, pp. 261—289.
- BÉLL B. (1945): A levegő áramlása bányákban és barlangokban. *Időjárás*, **49**, 1—12, pp. 1—12.
- BÉLL B. (1956): *Általános meteorológia*. A Magyar Meteorológiai Társaság II. Orvosmeteorológiai Továbbképző Tanf. (Szerk.: Kérdő I.—Kéri M.). Budapest, pp. 6—9.
- BÉLL B. (1972): Társadalmunk fejlődése és a meteorológiai kutatás kapcsolata. *MTA X. Oszt. Közlem.*, 5/3—4, pp. 267—272.
- BIRÓ Zs. (1966): Mégegyszer a gyógyító barlangokról. *Természettudományi Közl.*, **10**, 6, pp. 277—278.
- BLANC, R. (1971): Therapeutische Resultate der Behandlung mit radioaktivem Schwefel in Luchon. *Symp. der Speläologen in Ennepetal vom 23—26. September 1971*. Herausgegeben von der Presseabteilung der Stadt Ennepetal, pp. 26—32.
- BOCK, H. (1913): *Mathematisch-physikalische Untersuchung der Eishöhlen und Windröhren im Sammelwerk „Höhlen im Dachstein“*. Graz.
- BOKOR E. (1925): Az Abaliget-barlang. *Földrajzi Közlem.*, **53**, 6—8, pp. 105—140.
- BOROS Á. (1971): A barlangok felsőbbrendű növényvilága. *Karszt és Barlang*, II. füzet, pp. 49—52.
- BÖCKER T. (1974): *Beszivárgás vizsgálat a karszton*. Kézirat, Budapest.
- BRADTKE, F.—LIESE, W. (1937): *Hilfsbuch für raum und aussenklimate Messungen*. Berlin, pp. 1—100.
- BROOKS, C. E. P.—CARRUTHERS, N. (1953): *Handbook of statistical methods in meteorology*. Meteorological Office, London.

- BRÜSTLE, J. (1876): Recensio universi cleri dioecensis Quinque-Ecclesiensis. 2. kötet. *Quinque-Ecclesiensis* (Pécs), Typ. Madarász, Lyceum Ny.
- BUKOVINSZKY, V. (1959–60): Beitrag zur Frage des Entstehens des Luftzugs in den Höhlen. *Slovensky Kras*, III, pp. 114–115.
- CAUER, H. (1954): Chemisch-physikalische Untersuchungen der Klimaverhältnisse in der Klutertöhle. *Archiv für physikalische Therapie*, VI, pp. 8–25.
- CHOLNOKY J. (1934): Jégvilág Telkibányán. *Turisták Lapja*, Budapest.
- CHOLNOKY J. (1942): A barlangok fejlődése és pusztulása. (Különlenyomat.) *Barlangvilág*, 1942, XII, 1–2, pp. 1–11.
- CIGNA, A. (1953): Propagazione delle radio onde nelle grotte. *Radio-Rivista*, 6, p. 4.
- CIGNA, A. (1967): An analytical study of air circulation in caves. *Internat. Journal of Spel.*, III, pp. 1–2.
- CRAMER (1890): Eishöhlen- und Windröhren-Studien. *Abh. Geogr. Ges.*, Wien, I, pp. 15–76.
- CZÁJLIK I.—FEJÉRDY I. (1960): Cseppkövekről csepegő vizek vizsgálata a Vass Imre barlangban. *Karszt- és Barlangkutatás*, I, pp. 97–102.
- CZELNAI R.—DÉSI F.—SZEPESI D. (1973): A környezetvédelmi meteorológiai tevékenység modellje, programterve és gazdaságossági hatékonysága. *Időjárás*, 77, 4, pp. 213–221.
- CSOMOR M.—ZALAVÁRI L. (1964): Barlangklímamérések a Baradlában és a Béke-barlangban. *Karszt és Barlang*, II. füzet, pp. 45–51.
- DÉNES GY. (1970a): A Dobsinai-jégbarlang és klímájának kutatása. *Karszt és Barlang*, II. füzet, pp. 85–88.
- DÉNES GY. (1970b): Az aggteleki Baradla-barlang Raisz-ága. *Karszt és Barlang*, II. füzet, pp. 65–70.
- DÉNES GY. (1971): Klimatische Beobachtungen in der Eishöhle von Dobsina in der ersten 50 Jahren nach der Entdeckung. *Slovensky Kras*, IX, pp. 163–169.
- DÉNES GY. (1973): On the genesis of the Baradla—Dómica cave system. *6th Int. Congress of Speleology*, Olomouc, Czechoslovakia, Abstracts of papers, pp. 69–70.
- DOBOSI Z. (1955): A talajfelszín hőháztartása és annak mérése. *Időjárás*, 59, 5, pp. 292–298.
- DROPPA, A. (1960): *Dobšinská L'adová jaskyňa*. Šport, Vydavateľstvo SÚV ČSTV, Bratislava.
- DROPPA, A. (1962): *Gombasecká jaskyňa*. Šport, Vydavateľstvo SÚV-ČSTV, Bratislava.
- DROPPA, A.—JAKUCS L. (1961): *Dómica-Baradla*. Šport, Vydavateľstvo SÚV-ČSTV, Bratislava.
- DUDICH E. (1930): Az Aggteleki-barlang. *Természettudományi Közl.*, 62, 911–912, pp. 385–397.
- DUDICH E. (1932a): *Biologie der Aggteleker Tropfsteinhöhle „Baradla“ in Ungarn*. Verlag Speläologisches Institut, Wien.
- DUDICH E. (1932b): *Az Aggteleki-cseppkőbarlang és környéke*. Budapest.
- DUDICH E. (1955): A barlang mint gyógytényező. *Földtani Közl.*, 85, 3, pp. 353–359.
- FARKAS H. (1957): Adatok az Abaligeti-barlang állatvilágának ismeretéhez (Angaben zur Kenntnis der Fauna der Abaligeter Höhle). *Állattani Közlem.*, 1–2, pp. 67–69.
- FEHÉR N. (1872): A Dobsinai jégbarlang. *Természettudományi Közl.*, IV, 29–40, pp. 10–13.
- FÉNIÉS, J. (1965): *Speleologie et médecine*. Imprimerie Bosc Preres 42, Lyon, 146 p.
- FERENCZI I. (1939): Jeges üregek a Tokaj—Eperjesi hegységben. *Természettudományi Közlem.*, 71, pp. 172–174.
- FÉNYES E. (1851): *Magyarország geographiai szótára*. Kiadta: Kozma Vazul, Pest.
- FISCHER M. (1888): A Dobsinai-jégbarlang physikai magyarázata. *Kárpát Egyesület Évk.*, Igló, 15, pp. 161–169.
- FODOR I. (1969): Az Abaligeti-barlang mikroklimája és hatása az élő szervezetre. *Pécsi Műszaki Szemle*, júl.–szept., 14, 3, pp. 1–8.
- FODOR I. (1970a): A Baradla- és az Abaligeti-barlang hőmérsékletének vizsgálata. *Földrajzi Tanulmányok a Dél-Dunántúl területéről*, Budapest, pp. 109–152.
- FODOR I. (1970b): Az Abaligeti- és Baradla-barlangok légáramlási viszonyai. *MTA Dunántúli Tud. Int. Közlem.*, Pécs, 11, pp. 1–18.
- FODOR I. (1971a): Einige Eigenschaften der Luftbewegungsverhältnisse in den Höhlen. *Acta Geographica Debrecenia*, XV–XVI, 1969–70, pp. 267–273.
- FODOR I. (1971b): Angaben zum Mikroklima von Eishöhlen. *Slovensky Kras*, 9, pp. 115–125.
- FODOR I. (1972): *A Baradla- és az Abaligeti-barlang légnedvességi viszonyai*. In: *Komplex földrajzi és Történelmi Kutatások újabb eredményei a Dunántúlon*. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 69–83.

- FODOR I. (1973): Cave-climatic investigations of the Karstic regions of Aggtelek and the Mecsek. *Karszt- és Barlangkutató*, 7, pp. 137–149.
- FODOR I. (1975a): Gyógybarlangok klímaviszonyainak komplex vizsgálata számítógépes feldolgozás segítségével. Beszámoló a Nemzetközi Barlangkutató Unió Barlangterápiai Szakbiz. II. Szimpoziumáról, 1972. *Magyar Karszt és Barlangkutató Társulat*, Budapest, pp. 83–94.
- FODOR I. (1975b): Az idegenforgalom hatása a barlangok mikroklímájára. *MTESZ*, Budapest, pp. 189–199. (Klny. International Conference, Baradla 150. Budapest–Aggtelek 1975. VIII. 26–29.)
- FODOR I. (1976): Újabb adatok a barlangi légáramlásról. *Karszt és Barlang*, I–II. füzet, pp. 21–24.
- FODOR I. (1977): Speleoclimatological research in Hungary: results and speleotherapeutic applications. *Karszt és Barlang*, Special issue, pp. 31–34.
- FODOR I. (1978): Die Klassifikation der Höhlen nach dem Bioklimasystem. *Symp. für Höhlen-therapie und Höhlenmedizin 1976 in Horny Hradok*. Lipt. Mikulás, 1978, pp. 66–69.
- FRANK H. (1961): Spüren Fledermäuse Witterungsumstürze im voraus? Sonderdruck aus *Die Natur*, 69, 3–4.
- FUGGER, E. (1888): Beobachtungen in den Eishöhlen des Untersberges bei Salzburg. *Mitteil. d. Gesellsch. für Salzburge Landeskunde*, 28.
- GAJZÁGÓ L.—POPOVIĆ I.-né (1960): Kísérlet hőérzeti tartományok megállapítására. *Időjárás*, 64, 3, pp. 170–174.
- GÁDOROS M. (1968): Mikroklimatische Messungsmethoden in der Vass Imre-Höhle. *Zbornik Vychod. Múzea v Kosiciach, Séria A. Symp. pre Speleo Mikroklimu-Chémiu a Mikrobiológiu*, pp. 122–123. Vytlačili: Západoslovenské tlačiarne, závod Trenčín.
- GEBHARDT A. (1934): Az Abaligeti-barlang élővilága. *Matematikai és Természettudományi Közlem.*, 37, 4, pp. 1–264.
- GEIGER, R. (1961): Das Klima der bodennahen Luftschicht. Ein Lehrbuch der Mikroklimatologie. *Die Wissenschaft, Braunschweig*, 78, 4. kiadás.
- GRESSEL, W. (1955): Zur dynamik in alpinen Höhlen. *Die Höhle*, 6.
- GRESSEL, W. (1958): Über die Bewetterung der Alpinen Höhlen. *Meteorologische Rundschau*, 11, 2.
- GRESSEL, W. (1968): Wetterführung und Mikroklima in alpinen Höhlen. *Zbornik Vychod. Múzea v Košicich, Seria A. Symp. pre Speleo Mikroklimu-Chémiu a Mikrobiológiu*, pp. 113–116. Vytlačili: Západoslovenské tlačiarne, závod Trešín.
- GYÖRFFY I. (1957): A Sátorhegység jeges barlangja és környékének mohái. *Annales Historico-Naturales Musei Nationalis Hungarici*, Budapest, 7.
- HAJÓS K. (1961): *Allergiás betegségek*. Medicina, Budapest.
- HAJTMAN B. (1971): *Bevezetés a matematikai statisztikába*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- HOCK, R. (1951): Höhlengewitter. Über elektrische Entladungen im Berginneren. *Natur und Technik*, Wien, 5, 4, pp. 101–104.
- HORUSITZKY H. (1915): A barlangok rendszeres osztályozása. *Barlangkutató*, 3, pp. 71–79.
- HORVÁTH T. (1980): Erfahrungen mit dem Höhlenklimatherapie in den Heilgrotten von Tapolca auf Grund der Ergebnisse an 1000 Patienten. *Symp. für Speläotherapie*, 13–16. VI. 1979. In: *Ennepetal*, pp. 59–72.
- HRBAC, J. (1963): Vyzkum vetrányi, klimatizace ovzdusi a sznyizsovinyi prasnosztý v dolech. *Uhli*, 5, 2, pp. 43–45.
- Időjárás napijelentés: Az Országos Meteorológiai Intézet napijelentése 1959, 1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975.*
- JAAG, O. (1945): Das Klima der Gesteinsoberfläche. *Beiträge zur Kryptogamenflora der Schweiz*, Bern, 3.
- JAKUCS L. (1953): *A Békebarlang felfedezése*. Művelt Nép, Budapest, 94 p.
- JAKUCS L. (1956a): Adatok az Aggteleki hegység és barlangjainak morfogenetikájához. *Földrajzi Közlem.*, 80, 1, pp. 25–38.
- JAKUCS L. (1956b): A barlangi árvizekről. *Földrajzi Közlem.*, 80, 4, pp. 381–402.
- JAKUCS L. (1957): *Aggtelek és vidéke*. Sport Lap- és Könyvkiadó, Budapest.
- JAKUCS L. (1959a): A Békebarlang gyógyhatásvizsgálatának első eredményei. *Természettudományi Közöny*, 1, pp. 20–22.
- JAKUCS L. (1959b): Az aggteleki barlangok geretikája a komplex forrásvizsgálatok tükrében. *Karszt- és Barlangkutató Évkönyv*, 1. évf., pp. 37–65.

- JAKUCS L. (1960): *Általános karsztgenetikai, morfológiai és hidrológiai problémák vizsgálata az Aggteleki-karszton*. Kandidátusi értekezés, Budapest.
- JAKUCS L. (1963): A jegesbarlangok képződése. *Földrajzi Zsebkönyv*, **14**, pp. 50—62.
- JAKUCS L. (1968): Szempontok a karsztos tájak denudációs folyamatainak és morfogenetikájának értelmezéséhez. *Földrajzi Értesítő*, **17**, 1, pp. 17—46.
- JAKUCS L. (1970): Kubai barlangokban. *Karszt és Barlang*, II. füzet, pp. 82—92.
- JAKUCS L. (1971): *A karsztok morfogenetikája. A karsztfejlődés variációi*. (Földrajzi monográfiák.) Akadémiai Kiadó, Budapest.
- JAKUCS L. (1973): Die Rolle des Klimas in der quantitativ und qualitativ Regelung der Karstkarbonation. Sonderabdruck aus *Petermanns Geogr. Mitteilungen*, **117**, 1, p. 713.
- JAKUCS L.—KESSLER H. (1962): *A barlangok világa*. Sport Kiadó, Budapest.
- JAKUCS L.—MARKÓ L. (1956): A barlangi légáramlás keletkezése. *Hidrológiai Közlem.*, **36**, 4, p. 314.
- JAKUCS P. (1954): Mikroklímamérések a Tornai Karszton, tekintettel a fatömegprodukcóra és a karsztfásításra. *Annales Historico-Naturales Musei Nationalis Hungarici*, **5**, pp. 149—173.
- JAKUCS P. (1955): Geobotanische Untersuchungen und die Karstaufforschung in Nordungarn. *Acta Botanica*, **II**, 1—2, pp. 89—131.
- JAKUCS P. (1956): Karrosodás és növényzet. *Földrajzi Közlem.*, **3**, pp. 241—249.
- JASKÓ S. (1933): Morfológiai megfigyelések és problémák a Gömör-Tornai karsztvidék délkeleti részében. *Földrajzi Közlem.*, **61**, 9—10, pp. 245—251.
- KADIČ O. (1939): Mit kell tudnunk a barlangokról? *Barlangvilág*, **9**, pp. 3—36.
- KAKAS J. (1960): Természetes kritériumok alapján kijelölhető éghajlati körzetek Magyarországon. *Időjárás*, **64**, 6, pp. 328—339.
- KERÉNYI B.—BIRÓ Zs.—KIRCHKNOPF M. (é. n.): *A Béke-barlang gyógyhatásának hasznosítása*. Kiadja a Borsodi Szénbányák Igazgatósága.
- KESSLER H. (1971): Die Aufgaben der Höhlenforscher im Themakreis Speläo-Therapie. *Symp. der Speläologen in Ennepetal vom 23—26. September 1971*. Herausgegeben von der Presseabteilung der Stadt Ennepetal.
- KESSLER H. (1976): Barlangterápiai lehetőség Budapesten. *Gyógyfürdőügy*, **10**, 3, pp. 30—32.
- KESSLER H.—MÓRIK J.—MORLIN Z.—VÁRKONYI T. (1973): Lufthygienische Untersuchungen in der Tavas-barlang von Tapolca. *Karszt- és Barlangkutatás*, **7**, pp. 151—166.
- KÉRDŐ I. (1949): Az orvosmeteorológiai vizsgálatok módszertani kérdései és új feladatai. *Időjárás*, **53**, 7—8, pp. 232—237.
- KÉRDŐ I. (1954): Az éghajlati gyógyhelyek és klimatológiai vizsgálatok. *Időjárás*, **58**, 1, pp. 32—39.
- KÉRDŐ I. (1955): Hippocrates és a bioklimatológia. *Időjárás*, **59**, 1, p. 58.
- KÉRDŐ I. (1956): A bioklimatológia alapfogalmai. *Időjárás*, **60**, 4, pp. 207—235.
- KÉRDŐ I. (1961): *Időjárás, éghajlat, egészség*. Medicina Kiadó, Budapest.
- KÉRI M. (1960): A biometeorológiai kutatás néhány problémája a meteorológus szemszögéből. *Időjárás*, **64**, 6, pp. 352—355.
- KOL E. (1957): Algológiai vizsgálatok a Sátorhegység jeges barlangjában. *Botanikai Közlem.*, **47**, 1—2, pp. 43—50.
- KOLBENHEYER, K. (1889): Die Temperaturverhältnisse der Bélaer Tropfsteinhöhle. *Meteorologische Zeitschrift*, **24**, 6, pp. 388—390.
- KORDOS L. (1970): Klímamegfigyelések a barlangok bejárati szakaszában. *Karszt és Barlang*, **1**, füzet, pp. 31—34.
- KORDOS L. (1975): *Barlangok bejárati szakaszának klímaviszonyai*. Beszámoló a Nemzetközi Barlangtani Unió Barlangterápiai Szakbiz. Magyarországi (II.) Szimpóziumáról. 1972. IX. 27—X. 1. Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, pp. 105—124.
- KOSSUTH L. (1894): A monsummano barlang. Mednyánszky Sándorhoz intézett levél. *Természettudományi Közlem.*, **24**, pp. 179—182.
- KÖLESI V. K. (1820): Az újonnan felfedezett Abaliget-barlangnak leírása. *Tudományos Gyűjtemény*, **10**, pp. 81—96.
- KÖPPEN, W. (1931): *Grundriss der Klimakunde*. Walter de Gruyter Co., Berlin u. Leipzig.
- KÖVESI Gy.—HÁBER J.—BORSICZKY M.—ÁTS L. (1978): The role of speleo-therapy in the cure of chronic obstructive lung disease. *Symp. für Höhlentherapie und Höhlenmedizin 1976 in Horny Hradok*. Lipt. Mikulás 1978, pp. 69—71.

- KRASZKÓ P.—SZOBOSZLAY F.—JÓNÁS J. (1972): *Barlangklíma terápiá obstructív szindrómában*. Kézirat, Budapest.
- KRENNER J. S. (1874): *A Dobsinai jégbarlang*. Magyar Természettudományi Társulat. Budapest, pp. 6—40.
- KRIEG, O. (1883): *Über die Dobsauer Eishöhle*. Hirschberg in Schlesien.
- LAWRENCE, E. N. (1955): The microclimatology of caves. *Weather*, **10**, 2.
- LÁNG S. (1942): Újabb adatok a Szilicei jégbarlangból. *Hidrológiai Közlöny*, **22**, 1—6, pp. 194—196.
- LÁNG S. (1943): Karszthidrológiai megfigyelések a Gömör-Tornai karsztban. *Hidrológiai Közlöny*, **23**, 1—6, pp. 38—58.
- LÁNG S. (1955): Geomorfológiai tanulmányok az aggteleki karsztvidéken. *Földrajzi Értesítő*, **4**, 1, pp. 1—20.
- LÁNG S. (1958): A Bakony geomorfológiai képe. *Földrajzi Közlem.*, **6**, 4, pp. 325—346.
- LÁNG S. (1971): A hazai karsztok és környékük lepusztulásának egyes kérdései. *Karszt és Barlang*, pp. 1—4.
- LÁNG S. (1974): A Balaton természetföldrajzi képe — A balatoni táj általános jellemzése. *Balaton monográfia*. (Szerk.: Tóth K.) Panoráma Kiadó, Bp., pp. 13—34.
- LEÉL-ÖSSY S. (1952): A barlangok osztályozása. *Földrajzi Értesítő*, **1**, 1, pp. 130—137.
- LEHMANN A. (1970): Tarvágás által okozott ökológiai változások az abaligeti karszton. *Pécsi Műszaki Szemle*, **15**, 1, pp. 15—21.
- LINKE, F. (1957): *Meteorologisches Taschenbuch. III*. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig.
- LINKE, F.—BAUR, F. (1970): *Meteorologisches Taschenbuch. II*. Akademische Verlagsgesellschaft Geest Portig K.-G. Leipzig, 712 p.
- LÓCZY L. (1913): *Balaton*. Kilián Frigyes M. K. Egyetemi Könyvtár Bizománya, Budapest, 1. kötet, pp. 598—599.
- LUKIN, V. SZ. (1965): Temperaturnije anomalii v pescserah Preuralja i kriticeszkij analiz teorij podzemnovo holoda. *Pescseri Perm.*, 5—6, pp. 164—172.
- Magyarország éghajlati atlasza* (1960) (Szerk.: Kakas J.) Országos Meteorológiai Intézet, Budapest.
- MARKÓ L. (1962a): A barlangi légáramlás kérdéséhez. *Barlangkutatási Tájékoztató*, **3**, pp. 22—26.
- MARKÓ L. (1962b): A barlangi légáramlás szerepe a karsztbarlangok képződésénél. *Karszt és Barlang*, 1. füzet, pp. 11—14.
- MORTON, F. (1948): Pflanzen und Höhlenklíma. *Wetter und Leben*, pp. 105—108.
- MÓRIK J. (1969): A levegőegészségügy néhány időszerű kérdése. *Időjárás*, **73**, 5, pp. 288—298.
- OEDL, R. (1923): Über Höhlenmeteorologie mit besonderer Rücksicht auf die grosse Eishöhle im Tennengebirge (Eisriesenwelt). *Meteorologische Zeitschrift*, **40**, 2.
- PÁLFFY B.—VERES Á.—HORVÁTH E. (1972): *Die Wirkung Unterirdischer Kuren in Salzgruben von Praid (S. R. Rumänien) auf den Krankheitsverlauf des Asthma Bronchiale*. (Magyar kivonattal.) Beszámoló a Nemzetközi Barlangtani Unió Barlangterápiái Szakbiz. Magyarországi (II.) Szimpóziumáról, 1972. IX. 27—X. 1. Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, 1975, pp. 68—82.
- PÁLFFY B.—VERES Á.—HORVÁTH E.—BERECZ D.—PÁLFFY O. (1976): Die Verfolgung des Krankheitsverlaufes ein Jahr vor und nach der unterirdischen Kur im Salzbergwerk von Praid (S. R. Rumänien) durch die tägliche Aufzeichnung der Krankheitssymptome und des Arzneimittelbedarfes. *Symp. für Höhlentherapie und Höhlenmedizin 1976 in Horny Hradok*. Lipt. Mikulás 1978, pp. 87—88.
- PÁLFI, M. (1972): Organizacija lecsenija bolnih bronhial'noj asztmnoj v uszlovijah Szolotvino. Vlijanije mikroklimata szolotvinszkij szoljánüh sah Zakarpat'ja na bolnih bronhial'noj asztmnoj. *Zdarov'ja*, Kiev.
- PÁLFI M.—GRISCSENKO, M.—SZABÓ L. (1974): *A szolotvinoi (aknaszlatinai) földalatti szanatórium klímája és jelentősége az asztmás betegek gyógyítására*. Kézirat, Budapest.
- PÁTER J. (1952): Bioritmus és sport. *Sport és Tudomány*, **12**, pp. 6—7.
- PÁTER J. (1955): Mezo-, munkahely- és mikroklíma. A Magyar Meteorológiai Társaság szegedi vándorgyűlése. *Időjárás*, **59**, 4, p. 241.
- PÁTER J. (1959): Az időjárás és az ember. *Magyar Tudomány*, **9**, pp. 467—478.
- PÁTER J. (1975): *A fizikai és a hőmunka higiéniája és a keringés. A munkaártalmak megelőzése*. POTE Egyetemi tankönyvének kézirata. Pécs.
- PÁTER J.—RÓNA SZ. (1971): Hőérzet és terepklíma vizsgálatok egy ifjúsági táborban a mecseki Máré-völgyben. *Időjárás*, **75**, 1, pp. 72—78.

- PÁTER J.—PINTÉR E.—SOMOGYI I.—TÓTH E.—TIMÁR K.-né (1974): *Az abaligeti barlang komplex egészségügyi vizsgálata*. Kézirat, Budapest, pp. 1—12.
- PELLECH E. J. (1884): *A Sztraczenoi völgy és a Dobsinai jégbarlang*. Második javított és bővített kiadás, Budapest.
- PENCK, A. (1889): Die Temperaturverhältnisse der Grotte von St. Canzian bei Triest. *Meteorologische Zeitschrift*, 6, pp. 161—164.
- PETROVIĆ, S. (1952): Mikroklimatický prieskum ľadovej jaskyne u Dobšinej. *Meteorologické zprávy*, Praha.
- PÉCSI M. (1967): A földfelszíni külső folyamatok osztályozása és nevezéktani értelmezése. *Földrajzi Közlem.*, 3, pp. 199—208.
- PÉCSI M. (1969): A Balaton tágabb környékének geomorfológiai térképe. *Földrajzi Közöny*, 2, pp. 101—109.
- PÉCSI M.—PROBÁLD F. (1974): *Man and environment*. (Studies in Geography in Hungary, 11.) Akadémiai Kiadó, Budapest.
- PÉCSI M.—SÁRFALVI B. (1960): *Magyarország földrajza*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- PÉCSI M.—SOMOGYI S. (1967): Magyarország természeti földrajzi tájbeosztása. *Földrajzi Közlem.*, 4, pp. 285—301.
- PÉCZELY GY. (1954): Hosszabb sorozatok normáeloszlásának vizsgálata. *Időjárás*, 58, 5, pp. 278—282.
- PÉCZELY GY. (1956): Keverék eloszlások fölbontása összetevő normál eloszlásokra. *Időjárás*, 60, 5, pp. 313—318.
- PÉCZELY GY. (1965): A szélesebb valószínűségi eloszlásfüggvényének közvetett meghatározása. *Időjárás*, 69, 2, pp. 105—107.
- PÉCZELY GY. (1971): 100 évvel ezelőtt született Steiner Lajos. *Időjárás*, 75, pp. 247—248.
- PÉCZELY GY. (1974): *Éghajlat*. JATE Természettudományi Kar, Szeged, pp. 1—277.
- POLLI, S. (1956): Sulle misure di meteorologia ipogea. Ati del VI. Congresso Naz. di Speleologia Trieste, 1954. Trieste.
- POPOVIČNÉ GUBOLA M. (1965): A bioklíma tényezői gyógy- és üdülőhelyeken. Az I. Orvosmeteorológiai Konferencia előadásai. *TIT Fizikai Szakosztály Kiadása*, Budapest, pp. 89—99.
- QUITT E. (1962): Mikroklimatisch Verhältnisse in den Höhlen des Mährischen Karstes. *Wetter und Leben*, pp. 159—166.
- RACOVITZA, E. (1907): Essai sur les problèmes biospéologiques. *Biospeologica I*, 6, 4.
- RAISZ, K. (1807): Topographische Beschreibung der im Gömörer Comitae bei dem Dorfe Aggtelek befindlichen Höhle Baradla. (Bredetzky: *Neue Beiträge zur Topographie und Statistik* . . . c. munkájában.) pp. 241—295.
- RAJMAN, L.—RODA, S.—KLINCKO, K. (1971): *Možnosti speleoklimatickej terapie v gombaseckej jaskyni*. Vydaly vydavateľstvo osveta, N. P., Martin pre múzeum slovenského krasu v Lip-tovskom Mikuláši.
- ROSCHEKOTT, A. (1921): Über Temperaturverhältnisse in Höhlen. *Meteorologische Zeitschrift*, 38 2, pp. 33—37.
- SCHEMINZKY, F.—INAMA, K. (1972): *Die Asthma-Therapiestation in Oberzeiring (Steiermark, Österreich)*. (Magyar kivonattal.) Beszámoló a Nemzetközi Barlangtani Unió Barlangterápiái Szakbiz. Magyarországi (II.) Szimpóziumáról, 1972. IX. 27—X. 1. Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, 1975, pp. 34—41.
- SCHMIDL, A. (1856): Die Baradla-Höhle bei Aggtelek und die Lednice-Eishöhle bei Szilítze im Gömörer komitate Ungarns. *Sitz-Ber. Akad. d. Wiss. Wien., XXII., Math-naturwiss.*
- SCHMIDT, H. (1969): Langzeituntersuchungen über die Wirkung des Kluterthöhlenbesuches bei der chronischspastischen Emphysebronchitis. *Bäder- und Klimaheilkunde*, Stuttgart, 16, 5, pp. 3—11.
- SCHMIDT, H. (1972): *Die Behandlung der spastischen Bronchitis in der Kluterthöhle*. (Magyar kivonattal.) Beszámoló a Nemzetközi Barlangtani Unió Barlangterápiái Szakbiz. Magyarországi (II.) Szimpóziumáról, 1972. IX. 27—X. 1. Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, 1975, pp. 30—33.
- SCHMIDT, H. (1976): Pilotstudien zur Kluterthöhlenwirkung. *Symp. für Höhlentherapie und Höhlenmedizin 1976 in Horny Hradok*. Lipt. Mikulás 1978, pp. 80—82.
- SCHULZ, E. (1952): Kluterthöhle und Asthma. *Med. Klin.*, 47, 40.
- SCHWALBE, H. (1887): Übersichtliche Zusammenstellung literarischer Notizen über Eishöhlen

- und Eislöcher nebst einigen Zusätzen. *Mitt. d. Sect. f. Höhlenkunde des österr. Touristenklubs.*, 2.
- SIFFRE, M. (1975): Six months alone in a cave. *National Geographic*, **147**, 3, pp. 426—435.
- SIMOR F.—KÉRI M. (1974): A Mecsek hegység éghajlata. *MTA Dunántúli Tudományos Intézet Közlem.*, Pécs, 18, pp. 1—57.
- SOMOGYI J. (1975): *Szpeleoterápiás eredmények a Tapolcai-tavasbarlangból*. Beszámoló a Nemzetközi Barlangtani Unió Barlangterápiai Szakbiz. Magyarországi (II.) Szimpóziumáról, 1972. IX. 27—X. 1. Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, 1975, pp. 149—164.
- SPANNAGEL, K. H. (1961): Die medizinische Wirkung der Kluterthöhle auf das Asthma bronchiale und die chronische Bronchitis. *Karst und Höhlenkunde*, Verband der Deutschen Höhlen und Karstforscher e. V. München, **22**, 2, pp. 149—159.
- STARZECKI, W. (1958): Badania mikroklimatyczne w jaskiniach południowej czesci Wyzyny Maloloskiej. *Ekologia Polska*, Warszawa, pp. 145—153.
- STEFANOVITS P. (1963): *Magyarország talajai*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- STEINER L. (1922a): Die Temperaturverhältnisse in der Eishöhle von Dobsina. *Meteorologische Zeitschrift*, **39**, 7, pp. 193—199.
- STEINER L. (1922b): Hőmérsékleti viszonyok a Dobsinai-jégbarlangban. *MTA Matematikai és Természettudományi Értesítő*, **39**, pp. 61—65.
- SVÁB J. (1973): *Biometria módszerek a kutatásban*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 2. kiadás.
- SZABÓ GY. (1963): Angaben zum Mikroklima der Höhlen bei Lillafüred. *Acta Climatologica Szeged*, **2—3**, 1—4, pp. 13—31.
- SZABÓ GY. (1964): Adatok a lillafüredi István-cseppkőbarlang mikroklimájához. Doktori disszertáció részlete. *Borsodi Földrajzi Évkönyv*, **5**, pp. 41—44.
- SZABÓ L.—SZENTIVÁNYI M. (1967): Vizsgálatok a levegő szennyezettségének, a hőmérsékleti inverzióknak és a gyermek légzőszervi megbetegedéseinek összefüggéseiről. *MTA Dunántúli Tudományos Intézet Közlem.*, Pécs, 2, pp. 1—38.
- SZABÓ L.—KOVÁCS I.—NOSSMÜLLER S. (1963): Klímavizsgálatok az Abaligeti-barlangban. *Pécsi Műszaki Szemle*, **8**, 3, pp. 13—15.
- SZABÓ P. Z. (1957): A karszt, mint klimatikus morfológiai probléma. *Dunántúli Tudományos Gyűjtemény 15. Series Geographica* 8, Pécs, pp. 1—24.
- SZABÓ P. Z. (1961): A Mecsek és a Villányi-hegység barlangjai. *Karszt- és Barlangkutatás*, 1. füzet, pp. 3—20.
- SZABÓ P. Z. (1967—68): A magyarországi karsztosodás fejlődéstörténeti vázlata. *Dunántúli Tudományos Gyűjtemény* 80, Dunántúli Tudományos Intézet Értekezések, Budapest, pp. 13—25.
- SZAKÁLY J. (1960): Kísérlet mikrolégáramlás mérésére katatermométerrel. *Időjárás*, **64**, 3, pp. 180—182.
- SZÉKELY A. (1953): Az ágasvári Csörgőlyuk-barlang. *Földrajzi Értesítő*, 1, pp. 114—124.
- TASNÁDI P. (1965): A bányák légterének meteorológiai problémái. *Időjárás*, **69**, 6, p. 383.
- TAUBENHEIM, J. (1969): *Statistische Auswertung geophysikalischer und meteorologischer Daten*. Akademische Verlag, Leipzig.
- TOWNSON, R. (1979): *Travels in Hungary*. London.
- TROMBE, F. (1952): *Traité de Spéléologie*. Préface de Louis Fage. Payet, Paris.
- TROMBE, F. (1956): *La spéléologie*. Paris.
- URBÁN A. (1964): Klímavizsgálatok az Abaligeti-barlangban. *Karszt és Barlang*, 2. füzet, pp. 52—53.
- VASS B. (1960): Legújabb kutatások az Abaligeti-barlangban. *Karszt- és Barlangkutatási Tájékoztató*, június, Budapest.
- VASS I. (1831): *Az Aggteleki-barlang leírása*. Landerer Ny., Budapest.
- VENDL A. (1957): *Geológia I*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- VINCZE I. (1968): *Matematikai statisztika*. Műszaki Kiadó, Budapest.
- VÖRÖS Zs. L. (1969): Az Abaligeti-barlang villanyfényben élő mohái és harasztjai. *Pécsi Műszaki Szemle*, 2, pp. 17—23.
- WAGNER R. (1954a): Fluktuáló töbörköd. *Időjárás*, **58**, 5, pp. 289—298.
- WAGNER R. (1954b): Komplex hőmérséklet. *Időjárás*, **58**, 2, pp. 72—77.
- WAGNER R. (1960): *Egy bükki töbör felmelegedése és lehülése*. Magyar Meteorológiai Társaság V. Vándorgyűlése, Budapest.
- WALKOVSKY A. (1970): Mikroklimamérések a Vecsembükki-zsombolyban. *Karszt és Barlang*, 1. füzet, pp. 17—18.

- WOSINSZKY, M. (1892): Abaligeti cseppkőbarlang és a közelében levő római kori sírhantok. *Archeológiai Értesítő*, **12**, pp. 411—413.
- ZÁCH A. (1954): Gyógyhelyklimatológiai vizsgálatok Hévízen. *Időjárás*, **48**, 3, pp. 192—193.
- ZÁCH A. (1956): Mi okozta az Aggteleki-cseppkőbarlang kivételes arányú nyári árvizét. *Időjárás*, **60**, 1, p. 55.
- ZÁCH A. (1974): A Balaton időjárása és éghajlata. *Balaton monográfia*. (Szerk.: Tóth K.) Panoráma Kiadó, Budapest, pp. 80—92.

TÁRGYMUTATÓ

A, Á

Abaliget község 29, 32, 36
Abaliget környéke 32, 33
Abaligeti-barlang 12, 13, 16, 24, 29, 32, 36, 44,
78, 88, 95, 101, 115, 117, 123, 137, 144, 170
— faunája 144
Abaligeti karszt 30
Abszolút nedvesség 36
Acheron-patak 29
Acheron víznyelő 83
Advekcio 73
Aeroszol-koncentráció 15, 138, 140
Aeroszol összetétel 138
Aeroszol vizsgálat 15
Aggtelek 32, 33, 43, 93, 121
Aggteleki barlangok 17
Aggteleki-barlangrendszer 29
Aggteleki bejárat 38, 40, 41
Aggteleki karszt 29, 30, 33
Aknaszlatina (Szolotvino) 141
Aktív cseppkőképződés 162
Akut bántalmak 15
Alacsony hőmérséklet 78
Alagút építés 18
Allergiás betegségek 15
Allergénmentes kamra 136
Alpok 33
Alsóbarlang 29
Anizuszi mészkő 32
Antropogén beavatkozás 32, 43, 54
Antropogén eredetű
— hőenergia 49, 51, 130
— hőtöbblet 57
— széndioxid 137
Antropogén hatások 99, 110
Antropogén szennyező anyagok 114
Anyagáramlás 57
Aperiódikus ingadozás 42, 60
Arany utca 30
Asthma 14
Asthmatikus állapot 14
Asthma bronchiale 14, 15, 17
Asthma terápia 15
Aszimmetria fok 51

Atmoszféra 26
Ágynyugalom 14
Állandó
— légcseré 114
— nedvesség 78
— párolgás 78
Állatvilág 13
Általános barlangfejlődés 30
Általános légkörzés 11
Áradmányvíz 41
Árvíz 11, 41, 42
Árvízmentes év 41
Átmeneti időszak 49, 121, 149
Átmenő barlang 29
Átlag konfidencia-intervalluma 37
Átlagos hőmérséklet 61
Átszellőzöttség 118

B

Baktériumtartalom 14, 114
Balaton 26
Balaton-Tapolca 26
Bánkúti meteorológiai állomás 33
Bánya 17, 114
Baradla-barlang 13, 17, 24, 29, 30, 32, 36, 37,
43, 101, 137, 170
— főága 41
Baradla—Domica barlangrendszer 29, 33, 43,
44, 79, 84, 120
Baradla
— léghőmérséklete 13, 41
— légnedvessége 13
Barlang bejárat 18
Barlang bejárat zóna 37
Barlang
— belső energiaviszonyai 54
— dinamikus jellege 66
— élővilága 13
— genetikája 31
— gyógyhatása 12, 17
— hóháztartás 78
— hőkészlet 73
— hőmérsékleti kiegyenlítettsége 62

- Barlang
- jégháztartása 73
 - kiegyenlített klímájú belső térsége 51, 59
 - levegőjének várható középhőmérséklete 37, 44, 60
 - morfogenetika 114
 - morfostruktúra 172
 - ökológia 13
 - természetes hőviszonyai 56
 - vízgőzháztartása 79
 - vízgőzvesztése 91
 - vízgűjtő területe 33
- Barlangba települt harasztok 114
- Barlangban történő tartózkodás 14, 15
- Barlangfauna 13
- Barlangfolyosók mikroklímája 162
- Barlanghőmérséklet 12, 48
- Barlangi
- állatvilág 13
 - árvíz 73, 82
 - energiaforgalom 41
 - energiavesztés 49
 - élet 78
 - fauna 78
 - flóra 78
 - gyógyterem 60
 - hangverseny 144
 - hőenergiabevétel 91
 - kúra 14
 - levegő
 - – biológiai tisztasága 142
 - – fizikai állapota 11, 78
 - – kémiai összetétele 136
 - – minősége 14, 136
 - – öntisztulása 144
 - – összetétele 14
 - – sűrűségkülönbsége 17
 - – vízgőztartalma 78
 - levegőcsere 132
 - levegővé transzformálódás 133, 149
 - légáramlás 17, 114, 120, 125, 127, 128
 - – iránya 115, 126, 127, 130
 - – nagysága 115, 117, 126, 127, 130
 - milió 15
 - szervezetek 13
 - szubsztrátum 23
 - víz hőmérséklete 41
- Barlangivá transzformálódott levegő 56
- Balangképződés 168
- Barlangklíma 11, 12, 13, 15, 18, 149
- állandósága 13
 - kutatás 11–14
 - irodalom 13
 - változékonysága 13
- Barlangklimatológia 18
- Barlangkutatás 12
- Barlanglevegő hőmérséklete 36, 44, 60, 62, 64
- Barlangnyílás 39
- Barlangrendszer 25, 40
- Barlangszanatórium 15, 141, 142
- Barlangtermék mikroklímája 160
- Barlangterápia 15, 16
- Barlangok
- anyagforgalma 114
 - bejárata 18
 - belső légtere 11
 - bioklimatológiai rendszere 23, 25, 170
 - energiaforgalma 17, 41, 114
 - formakincse 151
 - genetikus osztályozása 169
 - gyógyászati hasznosítása 17
 - hasznosítása 13
 - kialakulása 12
 - kiegyenlítődési szakaszai 18
 - klímatis csoportosítása 23
 - levegőforgalma 132
 - légterének nedvességviszonyai 78
 - osztályozása 12
 - vízgűjtő területe 33
- Barlangokba települt mohák 114, 144
- Barlangot fedő kőzet vastagsága 116
- Batsányi-terem 56
- Béke-barlang 15–17, 29, 78, 132, 137
- Bejárati szakasz klímája 17, 37, 43, 47, 78, 93
- Belső
- cirkuláció 64
 - energiaszállítások 57
 - surlódás 117
- Beteg ember 78
- Betegek
- barlangban tartózkodása 105
 - komfortérzete 114
- Betegstatisztika 15
- Betula pubescens* 31
- Bioklimatikus generálódó képesség 142
- Bioklimatológia 14, 16, 23, 36, 44, 61, 78
- Biológiai
- hó 54
 - hőmérséklet 23
 - ritmus 16
 - tisztaság 142
- Bioszféra 26, 114
- Bioszpeleológia 13
- Biotóp 13
- Bózsva-völgy 31
- Bradtke-féle közérzeti index 23–27, 30
- Bronchitis 14
- Bronchitis utáni emphysema 14
- Buzogány 41
- Bükk-fennsík 33

C

- Cardialis decompensatio 16
 Cardaninopsis arenoa 31
 Chronicus
 – asthma bronchiale 16
 – bántalmak 15
 – bronchitis 14, 17
 – obstruktív bronchitis 16
 Cirkulációs rendszer 43
 – viszony 65

CS

- Csapadék 32, 33
 Csapadékvíz 68
 Cseppkőbarlang 168
 Cseppkőképződés 137
 Csillapított hőmérséklet-változás 61
 Csontház 37, 38, 40, 123

D

- Dachstein-hegység 30
 Deményfalvi (Demianova)-jegesbarlang 137,
 170
 Denevér-ág 37, 39, 80, 87, 120, 121
 Dél-Szlovák-karszt 29
 Dinamikus
 – átáramlás 130
 – barlang 13, 32, 168–170
 – jegesbarlang 30
 – modell 172
 Dobsinai-jegesbarlang 12, 31, 32, 62, 64, 66, 105,
 127, 170
 Dolina 30, 33
 Domicá-rendszer 29, 40
 Duca-hegy 32

E, É

- E. coli* 142
 Egészséges ember 78
 Egyensúlyhoz közeli állapot 52
 Egymintás t-próba 151
 Egynyílású jegesbarlang 69
 Eisriesenwelt 30, 170
 Elektromos
 – állapot 14
 – hőenergia 37
 – műszerek 14
 – természetű biológiai inger 14, 136
 – viszonyok 14
 Eloszlásfüggvény 43, 61, 79
 Eltérő nagyságú barlangtermek 154
 Ellenáramlás 123
 Ember komfortértéze 28

- Emberi szervezet 78
 Energia-áramlási típus 42, 57
 Energia bevétel 50
 Energiacsere 50, 169
 Energiaforgalom 36, 37, 42, 43, 169
 Energiaforrás 54
 Energiamérleg 169
 Energiavesztés 73, 91
 Enyhe, meleg típusú bejáratú térség 38
 Expedíciós jellegű vizsgálatok 70
 Élettér 13
 Élővilág 13
 Évi menet 42, 48
 Évszakos középhőmérséklet 57

F

- Faraday-ketrec 14, 136
 Fáziskésés 57
 Felmelegedési folyamat 41, 42, 48, 61, 68
 Felszabadulási-ág 37, 39, 40, 86
 Felszín alatti tartózkodás 78
 Felszíni eredetű
 – hideg levegő 37
 – hőenergia 51
 Felszíni
 – lehülés 47
 – légtömb 149
 – időjárási viszonyok 48
 – víznyelők 74
 Felül nyitott barlang 168
 Felül zárt barlang 168
 Fenológiai fázis 68
 Fényhatár 13
 Fizikai elváltozások 15
 Fiziko-kémiai elváltozások 15
 Fiziológiai hatás 14
 Flórián-forrás 44, 74, 92
 Folyó víz hőmérséklete 12, 73
 Forrásbarlang 168
 Földalatti gyógyhely 16
 Földfelszín alatti
 – szanatórium 17, 114, 141
 – táborozás 78
 Földrajzi viszonyok 15
 Fronthatás 17
 Fusarium 144
 Függőleges hőmérsékleti gradiens 17, 41, 47,
 56, 104
 Függvénykapcsolat 59
 Fülledt trópusi barlangok 26

G

- Gauss-féle háló 51
 Gauss-görbe 51, 83

Gázbarlangok 136
Gáznemű anyagok 136
Geographiai Szókönyv 12
Geomorfológia 11, 29
Geopotenciális energia 169
Gombaszögi-barlang 14
Gömbfülke 130
Gressel-féle csoportosítás 123
Guttensteini mészkő 29

GY

Gyakorlati hasznosítás 18
Gyermekkori bronchitis 15
Gyilkos-barlang 136
Gyógybarlang 60, 61, 138, 149
– hatásfoka 14, 138
Gyógykúra 114
Gyógyszer 14
Gyógyterem 44
Gyógytényező 15
Gyulladásgátló hatás 138

H

Hangverseny-terem 138
Havi középhőmérséklet 57
Hernád–Gölnici mészkőhegység 32
Hideg
– árvíz 73
– barlang 63, 168
– barlangi levegő 78
– centrum 40, 44
– felhalmozódás 17
– levegő 47
Hidegérzetet keltő
– barlangok 30, 105, 170
– jegesbarlang 150
Hidegsák 32, 62
Hidroszféra 26
Homogén vizsgálat 43
Homokkő 33
Hordalék és kőzet hőmérséklet 45
Horizontális nyomásgradiens 115
Horszaköves riolituffa 31
Hóolvadás 73
Hőátadási folyamat 54
Hőbevitel 17
Hőcserementes jegesüreg 69
Hőenergia 42, 49, 50, 73
Hőenergiaegyenleg 91
Hőérzet 24
Hőgazdálkodás 37
Hőkiegyenlítődés 50
Hőleadás 165
Hőmérséklet 12, 14, 23, 36

Hőmérséklet

– csökkenés 48, 50
– empirikus valószínűségi sűrűségfüggvénye 43, 50, 52, 58, 61, 70
– évi középértékei 41
– évi menete 42, 45, 70
– évszakos változása 48
– függélyes változása 56, 57, 60
– havi középértékei 41, 57
– havi változása 48
– időszakos megfigyelése 12
– ingadozása 48, 75
– ingása 14
– különbség 17, 33, 115, 116
– maximum 41, 42, 48, 49
– minimum 41, 42, 48
– napi menete 44
– napi változása 48
– térbeli eloszlása 44, 64
– változás mint ingertényező 48, 61
– várható középértéke 60
– vízszintes elrendeződése 64, 65
Hőmérsékleti görbe 84
Hőtani folyamat 11
Hőtorlódás 56, 126, 127
Hővesztesség 17
Humánbioklimatológia 52, 170
Hurutos
– bántalmak 15
– tünetek 15
Huzatos barlangok 114
Hűvösérzetet keltő barlangok 25, 29, 36, 37, 79, 101, 137
Hűvös
– barlangi levegő 39
– hideg típusú bejárati térség 38
– karsztbarlang 24, 57
– klímájú barlangok 15
– zóna 24
Hyalopus 144

I

Idegenforgalom 27, 37, 49, 54, 57, 104
Időjárás hatása 11
Idült
– hörgőhurut 15
– légúti betegség 15, 16, 78
Inflexió pont 118
Ingermentes
– hely 44
– térségek 23
Ingertényező 168
Istoly 63
István-barlang 29
Izgató ingeranyagok 14
Izoterma 41, 47, 65

J

- Januári minimum 70
 Jegesbarlang 23, 24, 30, 31, 36, 63
 Jegesbarlangok gazdasági hasznosítása 36
 Jegesbarlangok klímája 12
 Jeges
 – időszak 62
 – üreg 30, 31
 Jég 30, 32, 170
 Jégbarlang 12, 13, 25, 30, 78, 168
 Jégképződés 40
 Jégmentes időszak 62
 Jégoszlop 40
 Jégstalamit 40
 Jósza-forrás 29
 Jósvafő 15, 32, 38, 121
 Jósvafői-barlangszakasz 121
 Jósvafői bejárat 38
 Jósvafői szanatórium 15

K

- Kaffka-terem 38, 137
 Kalcium-ion 138
 Kalium-ion 140
 Karszt 13
 Karsztbarlang 27, 32, 138
 Karsztgenetika 32
 Karsztforma 33
 Karszt hegység 17
 Karsztmorfofenetika 33, 137
 Karsztvíz hőmérséklete 74
 Karni emelet 29
 Karmező 30
 Karthago romjai 47
 Kation 138
 Kánikula 63
 Kápolna 63
 Keverék eloszlású függvény 44, 51
 Két oldalt nyitott barlang 168
 Kiegyenlített állapot 44, 45
 Kiegyenlítődési
 – szakasz 18, 37
 – zóna 37, 40, 41, 149
 – – hőmérséklete 37, 95
 Kímélő klíma 23
 Királykút-forrás 31
 Kis-Baradla 40
 Kis-Baradla víznyelő 40, 120
 Kis magok 141
 Kis-terem 13, 65, 66, 108, 129
 Klímaállomások 32
 Klímahatás 16
 Klímaterápia 14, 15
 Klimatikus barlangtípusok 168, 170
 Klutert-barlang 14, 78

- Kolónia szám 142
 Komfortérzetet keltő barlangok 25, 26, 53,
 98, 101, 137
 Komfort
 – klíma 36
 – zóna 24
 Komplex hatásmechanizmus 16
 Kondenzációs
 – folyamat 78, 79
 – hőnyereség 91
 Konfidencia intervallum 37, 54, 98, 147, 150
 Konvektív légmozgás 123
 Kora tavaszi jeges árvizek 41
 Kórház alatti barlang 27, 60, 101, 142, 144
 Kórházbarlang hőmérsékleti kiegyenlítettége
 61
 Korreláció 54, 107, 110, 118, 138, 147, 148
 Korrelációs együttható 58
 Kossuth-barlang 29
 Köppen-féle aszimmetriai mérőszám 101
 Közepes eltérés 108
 Közéghőmérséklet 75
 Kőzetmorfológia 26
 Kunguri jegesbarlang 17
 Kutatás metodika 13
 Kutatási módszer 72
 Külső és belső hőmérséklet különbsége 117
 Külső időjárási viszonyok 49
 Külső légtér 11, 36
 Kürtő 51, 108, 162
 Kvázi dinamikus barlang 172

L

- Labirintus 162
 Lamináris áramlás 125
 Latenshő 78
 Legfiatalabb-terem 137
 Lehülés 48, 49, 61
 Lehülési folyamat 41, 42, 68
 Lengőkő 92
 Leszálló légáramlás 49
 Levegő
 – áramlása 17, 120
 – elektromos állapota 14
 – fajsúly szerinti rétegződése 64
 – higiénés viszonyai 56
 – hőmérséklete 14
 – keveredés 64, 114
 – kondicionálása 17
 – nedvességtartalma 36
 – pára befogadóképessége 36
 – stabilis rétegződése 41, 68, 162
 – tisztasága 16, 141
 Levegőtranszport 36
 Levegőutánpótlás 127

Légáramlás 13, 16, 17, 23
 — erősség 116
 — — igazodása 125
 — minimuma 160
 Légáramlási rendszer 37, 123
 Légcirkuláció 41
 Légcsere 11, 64, 78, 132
 Légellenállás 11
 Lég hőmérséklet 16, 24, 30, 33, 36, 37, 50, 66
 — évi menete 57
 — különbség 17
 — napi menete 41, 48
 — növekedés 50
 — térbeli eloszlása 56
 — térbeli elrendeződése 37
 — változásai 41, 42, 57
 Légköri
 — elektromos jelenség 136
 — változás 16,
 Légmozgás 14
 Légnedvesség 13 16
 Légnyomás 14
 — különbség 17, 114
 Légúti megbetegedés 17
 Légzés mélysége 78
 Légzőszerv 14, 15
 Légzőszervi betegek 14, 15, 78
 Lineáris 63
 — függvény 116
 — regresszió 54
 Linke-féle érzet-hőmérséklet 23
 Lobos stádium 15
 Lóczy-terem 56, 103, 126
 Lokális áramlási rendszer 130

M

Magas nyomású képződmény 49
 Magmatikus kőzet 33
 Magnézium-ion 139
 Majkó-terem 137
 Makroszinoptikus helyzet 49
 Malom-tó 27
 Malomtó-forrás 27
 Matematikai statisztika 116
 Mátyáshegyi-barlang 29, 170
 Mechanikus beavatkozás 37
 Mecseki karszt 29
 Meghűléses megbetegedés 26
 Melegérzetet keltő barlangok 25, 26, 168
 Melegfelhalmozódás 17
 Meleg
 — levegő lehűlése 37
 — nyári árvíz 41
 — zóna 24
 Mellékág 153

Meteor-barlang 29
 Meteorológiai folyamat 13, 15, 51
 — megfigyelés 12, 13
 — műszer-park 13
 Mélyhűtők 17
 Mészköplató mikroklimája 33
 Midnight-barlang 78
 Mikóháza 31
 Mikrobiológiai szennyeződés 142
 Mikroflóra 31
 Mikroklíma 33
 Mikroorganizmus 144
 Mikrotérség 33, 68
 Mikroturbulens folyamat 130
 Miskolc-Tapolca 26
 Moha 78, 146
 Molyhostölgy 30
 Monsummanoi-barlang 12
 Morfogenetika 27, 31, 68
 Morfostruktúra 23, 169, 170
 Mozgásszervi megbetegedés 15
 Műfény vegetáció 78

N

Nagy-terem 13, 66, 108, 129
 Nagykirályhegy 31
 Napsugárzás hiánya 151
 Nátrium-ion 140
 Nedves
 — jégbarlang 168
 — óceáni légtömeg 49
 Nedvességforgalom 91, 94
 Nedvességviszonyok 14
 — homogenitása 94
 Negatív energia egyenleg 48
 Neuro-endokrin szabályozás 16
 Nitrogén térfogat aránya 136
 Normalitásvizsgálat 51
 Normális eloszlás 44, 51, 83

NY

Nyálkahártya váladékképződés 78
 Nyár végi maximum 70
 Nyári
 — árvíz 73
 — félév 36, 147
 — légáramlás 126
 Nyomanyagok 136
 Nyomásgradiens 116

O Ó

Oligoterm állatok 13
 Oxigén százalékos értéke 136
 Orvosi kísérletek 14, 15, 36

Orvostudomány 14, 36
Óceáni légtömeg 83
Óriás-barlang 30
Óriások-terme 38, 121

Ö

Öniró műszerek 17
Ördöglyuk 29
Összkeménység 140
Őserdő 43

P

Parabolikus regresszió 54
Parajd 141
Parciális korrelációs együttható 119
Patogének 142
Páfrány 146
Pálvölgyi-barlang 29
Párokondenzáció 165
Párokondenzátum aeroszol összetétele 16
Páranymás 79, 101, 105
– abszolút szélsősége 83, 100
– átlaga 79
– évi menete 90
– függőleges elrendeződése 82, 88, 98, 160
– időbeli változása 82, 100
– szórásértéke 79
– térbeli változása 88, 99, 107
– valószínűségi sűrűségfüggvénye 83, 91, 101, 107, 108
Párateltség 23
Párolgás 78
Penck-féle klímatológiai osztályozás 168
Penicillium 144
Periódikus
– hatás 69
– ingadozás 60
Periódikusan hidegérzetet keltő barlang 170
Periódusos jegesbarlang 31
Pisai ferdetorony 92
Pokol 129
Polarizálódás 36
Ponor 168
Pormentes levegő 15
Pozitív anomália 60
Prales 43
Prognózis 149
Prunus padus 31
Pszichoterm állatok 13
Purulens superinfectio 16

R

Radioaktivitás 14
Reggeli barlangi tartózkodás 14

Regresszió analízis 146
Regressziós egyenlet 149, 150
Relatív nedvesség 16, 78, 84
– függőleges különbsége 86
– görbéje 84
– időbeli változása 87, 97, 106, 108
– ingadozása 84, 86
– napi menete 87, 95, 108
– sűrűségfüggvénye 88, 97, 105, 110
– térbeli eloszlása 86, 95, 104, 107, 108
Rendzina takaró 30
Ribes alpinum 31
Riodacit 31
Rövid periódusú változás 41
Ruffinyi folyosó 66, 129

S

Sarcas-Son-i barlangexpedíció 78
Selyemhernyó tojás 18
Sóbánya 16, 138
Sóbánya szanatórium 16
Sorbus aucuparia 31
Söröspince 18
Stabilis állapotú barlangi levegő 37, 56, 146
Stabilis rétegződés 56
Staphylococcus 142
Statikus
– barlang 168
– modell 172
Status asthmaticus 16
St. Canziani-barlang 12
Streptococcus 142
Stressz hatás 78
Styx-patak 11, 29
Sugárzás 23
Surlódás 148
Sűrűségfüggvény 43, 79
Svermovói klímaállomás 70

SZ

Szanatórium 15, 36
Szanatóriumok komfort klímája 36
Szarmata mészkő 27
Szárász
– barlang 168
– kataérték 24
Százrácú szoknya 41
Szedimentáció 142
Szék 33, 114
Szélsatorna barlang 114
Szélsend a barlangban 33, 123, 127
Szélsébség 23
Szélsőséges
– hőmérséklet 41
– ingás 33

Széndioxid 136
 — biológiai funkciója 137
 — koncentráció 15, 137
 — térfogataránya 137
 Szennyezettség 14
 Szerkezeti vonal 153, 163
 Sigmoid típusú függvény 117, 119
 Szignifikáns kapcsolat 44, 51, 54, 61, 83, 146, 147, 150
 Szikla 14
 Szilárd
 — nagy magok 141
 — szennyeződés 141
 Szilicei-jegesbarlang 68, 137
 Színház-terem 95
 Szlovák paradicsom 32
 Szolotvinói sóbánya szanatórium 16
 Szórás 24, 37, 45, 50, 79, 95
 Szpeleoklíma 11
 Szpeleometeorológiai transzformálódás 146
 Szpeleoterápia 16, 17, 36, 48, 142, 149
 Sztatikus barlang 13, 30, 169
 Sztatodinamikus barlang 13, 123, 127, 169, 172
 — rendszer 32
 Sztatikus
 — rendszer 170
 — üreg 62
 Sztenoterm állatok 13
 Sztratigráfiai 29
 Szubsztrátum 146
 Szubtrópusi légtömeg 83
 Szűz-folyosó 137

T

Talaj 14
 Talajklíma 33
 Talajviszony 13
 Tapolca 27, 32, 53
 Tapolcai barlangok 15, 26, 53, 126
 Tapolcai barlangrendszer 33, 53
 Tapolcai Kórházbarlang 60, 61, 104
 Tapolcai-medence 26, 33
 Tapolcai-tavasbarlang 16, 24, 58, 98, 101, 104, 142, 170
 Tartós
 — felmelegedés 75
 — javulás 16
 — lehülés 75
 Tavasbarlang 26, 27, 53
 — hőmérséklete 53
 Teknősbéka-terem 39
 Tektonikus eredetű hasdékrendszerek 163
 Telítettségi állapot 36, 87
 Telítettséghez közeli állapot 36, 78, 79
 Telítési hiány 79
 Teljes barlang-kúra időtartama 14

Telkibánya 31, 33, 62
 Telkibányai-jegesbarlang 30, 31, 33, 105, 106, 127, 170
 Tél 48
 Télien dinamikus jegesbarlang 70
 Téli
 — félév 36, 122, 148
 — időjárás 95
 — időszak 122
 — légáramlás 126
 — nap 69
 Termálbarlang 25, 26, 169
 Termálviz-es-tavasbarlang 26
 Természetes gyógyhely 36
 Termográf 69
 Térbeli elrendeződés 95
 Térmiliő 14
 Thornthwaite-féle éghajlati rendszer 32
 Timsós-barlang 136
 Topoklíma 23
 Torjai Büdös-barlang 136
 Torna karszt 33
 Toxikus anyagoktól mentes levegő 15
 Tóbarlang 26
 Töbörfenék 33
 Többváltozós lineáris regressziós egyenlet 151
 T-próba 170
 Transzformálódás 44, 118
 Trópusi-barlang 24, 25
 Trópusi
 — klíma 26
 — terhelés 56
 Turbulens légáramlás 42, 125
 Turizmus 44, 110, 114
 Túltelítettség 78
 Tüdőtraktus 78
 Tünetmentesség 16

U

Untersbergi-barlang 12

V

Vadózus víz 11
 Vass Imre-barlang 29
 Várható középhőmérséklet 44
 Vegetatív idegrendszer 15, 16
 Vegetáció 68
 Vetődéses terem 38
 Víz 13
 Vízcseppek porladása 162
 Vizes-barlang 168
 Víz feletti légterek 56
 Vízgőz 14
 — parciális nyomása 79
 — veszteség 91

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó igazgatója
Felelős szerkesztő: Polyánszky Piroska — Műszaki szerkesztő: Merkly László
A burkoló- és a kötésterv Killer Marcella munkája
Terjedelem: 16,8 (A/5) ív — AK 1129 k 8184
81.8665 Akadémiai Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Bernát György

Megjelenik az Akadémiai Kiadónál

FÖLDRAJZI ÉRTEŚÍTŐ

*A Magyar Tudományos Akadémia
Földrajztudományi Kutató Intézetének
folyóirata*

Főszerkesztő Marosi Sándor

Megjelenik évente 1 kötet 4 füzetben
Évi előfizetési díja 80,— Ft

ORVOSTUDOMÁNY

*A Magyar Tudományos Akadémia
Orvosi Tudományok Osztályának
közleményei*

Főszerkesztő Knoll József

Megjelenik évente 1 kötet 4 füzetben
Évi előfizetési díja 100,— Ft

BIOLÓGIA

*A Magyar Biológiai Társaság
Általános Biológiai Szakosztályának
folyóirata*

Szerkesztő Csaba György

Megjelenik évente 1 kötet 2 füzetben
Évi előfizetési díja 52,— Ft



AKADÉMIAI KIADÓ · BUDAPEST

