

Jég a barlangban – barlang a jégben

Földünk természeti világának különleges, ritka képződményei a jégbarlangok. A „közönséges” barlangok száma világméretben 300 000 körül mozog, ezzel szemben mindössze néhány száz jégbarlangot ismerünk.

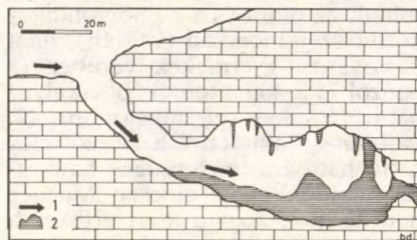
Mindenekelőtt tisztáznunk kell a jégbarlang fogalmát. A barlangokat ugyanis általában aszerint csoportosítjuk és nevezzük el, hogy milyen kőzetben alakultak ki. Így vannak mészkőbarlangok, gipszbarlangok, bazaltbarlangok stb. Ebbe a sorba illik a jégbarlang is, ha feltételezzük, hogy üregei jégben, vagyis gleccserben vagy sarki jégtakaróban keletkeztek. Csakhogy a nagyközönség a valódi jégbarlangokat nemigen ismeri, hiszen nálunk ilyenek nincsenek. Annál inkább tud azokról, amelyeket – ilyen név alatt – idegenforgalmi célokra kiépítettek, mint például a Dobsinait vagy a Salzburger környékieket.

Ezekben a barlangokban azonban a jég csak „berendezési tárgy”, kitöltő anyag, mivel maguk az üregek sokkal régebben, mészkőben alakultak ki. A kétféle barlangtípus megkülönböztetése érdekében javasolta *Jakucs László* még a 60-as évek elején, hogy az utóbbiakat „jeges barlangoknak” nevezzük (mint ahogy vannak hévizes, tavas, patakos barlangok), ám a kifejezés már annyira gyökeret vert nyelvünkben, hogy egy ilyen szűk körben ismert indítvány mit sem változtatott a névhasználatban. Ráadásul ellenpélda is van: a cseppkőbarlang megjelölés, ami szintén nagyon elterjedt és ezekben a barlangokban a cseppkő szintén csak „bútorzat”. Így hát maradtunk a jégbarlang mellett.

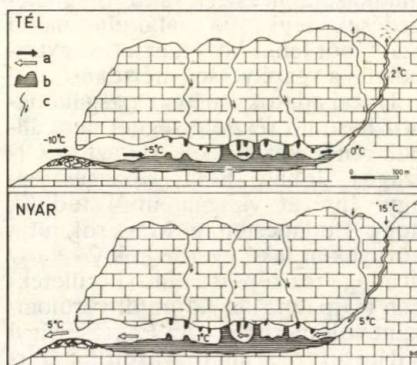
Hogyan képződik a barlangi jég?

Először vegyük szemügyre azokat a barlangokat, amelyekben a jég csupán kitöltő anyag. Minden olyan üregben képződhet jég a belefolyó vízből, ahol a barlangi levegő hőmérséklete fagypont alatt van. Ebből a szempontból tehát közömbös, hogy a barlangot magába foglaló kőzet mészkő, homokkő, gránit vagy egyéb. A japánok szent hegyén, a Fuji oldalában például láva-barlangok alakultak át jégbarlanggá.

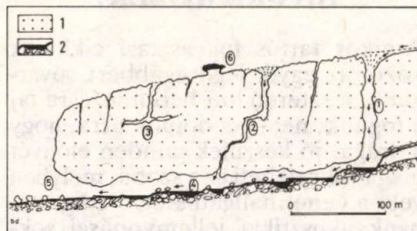
A jég legtöbb esetben csak átmeneti jelenség a barlangokban. Télen a bejárat részeibe betódul a hideg levegő és megfagyasztja a sziklarepedésekből lecsöpögő vizet, s belőlük szemgyö-



1. ábra. Statikus jégbarlang kialakulásának vázlatja (1. beáramló hideg levegő, 2. jég)



2. ábra. A dinamikus jégbarlangot létrehozó légáramlási rendszer működése télen és nyáron (a – a légmozgás iránya, b – barlangi jég, c – repedés a fedőkőzetben, amelyen át a víz a barlangba szívárog)



3. ábra. Gleccsernyelvben képződő barlang vázlatja (1 – jég, 2 – olvadékrész; bekarikázott számok: 1 – gleccserkút, 2 – olvadékvíz-levezető barlang, 3 – elhalt vízvezető járatok, 4 – gleccseralagút, 5 – gleccserkapu, 6 – gleccseraszta)

nyörködtető jégstaktitok, jégstalagmitok és jégoszlopok keletkeznek. Ezek az időszakos jégbarlangok, mivel a nyári felmelegedés elpusztítja a jégtüneteményeket. Az igazi, állandó jégbarlangban a jég egész éven át megmarad, sőt éppen a felmelegedés-kor gyarapszik.

A jégbarlang képződésének legegyszerűbb esete az, amikor olyan helyen fekszik, ahol az alacsony hőmérséklet következtében a hó és a jég a külszínen is egész éven át megmarad. Az arktikus és szubarktikus övezetben, valamint a magashegységek hóhatár fölötti régióiban sokfelé találhatók kisebb-nagyobb üregek, amelyeket tartósan kitölt a jég. Kanada és a Szovjetunió északi vidékeinek talaja helyenként 100 métert is meghaladó vastagságban egész éven át fagyott állapotban van (ez a permafrost, az örök fagy övezete), így magától értetődő, hogy az itteni barlangokban is jóval fagypont alatti hőmérséklet uralkodik. Ebben a térségben azonban magának a barlangképződésnek a feltételei kedvezőtlenek, így hiába megfelelőek a jégképződés éghajlati körülményei, nagyobb jégbarlangok nem alakulhattak ki.

Meglepő módon a látványos, óriási jégbarlangok nem a hideg, hanem a mérsékelt övben találhatók. Ilyen a Dobsinai, amely felfedezése idején a világ akkor ismert legnagyobb jégbarlangjának számított. A helybeliek régóta ismerték a felvidéki Stracnai-völgyben, a Ducsa-hegy (ma: Duca) oldalában azt a jeges sziklaszakadékot, ahonnan nyáron fagyos levegő áradt ki. *Ruffiny Jenő* bányamérnök két társával 1870. július 15-én a jégfal mentén leereszkedett a mélybe, ahol egy száz méternél is hosszabb barlangteremben találták magukat, irdatlan jégtömeg közepette. A felméréskor kiderült, hogy a barlang mintegy 7200 m²-es talapzatán kb. 125 000 m³ jég fekszik. Megindultak a barlangi meteorológiai vizsgálatok is és *Krenner József* megfigyelései alapján megszületett az első tudományos magyarázat a barlangi jégtömeg keletkezéséről.

A Dobsinai-jégbarlang egy idős mészkőbarlang egyik elzáródott szakaszában keletkezett úgy, hogy az egyik barlangterem mennyezete beszakadt. Ma is ez a barlang egyetlen bejárata 971 m magasságban, ahonnan 25 m mélységbe lehet leereszkedni. A barlang úgy viselkedik, mint egy óriási „hidegcsapda”. Télen a jóval fagypont alá hűlt nehéz levegő az északi irányba néző bejáraton át betódul a mélybe és ott nyáron át megreked, mivel nyugalmi állapotban nem képes felemelkedni a bejárat szintjéig. A kora tavaszi hóolvasás idején a mészkő hasadékaiból víz csurog be a barlangba és a fagypont alatti hőmér-

sékletű levegőben jéggé válik. Nyár végére a barlangi levegő ugyan felmelegedhet 1–2 fokra (ebben szerepet játszik a százezernyi látogató is!), de legfeljebb az évi gyarapodásnak megfelelő jégmennyiség olvad el.

A Dobsinai-jégbarlang az ún. statikus jégbarlang genetikai típusát testesíti meg, vagyis nem más, mint egy hatalmas természetes jégverem. A történelmi Magyarország területén több hasonló jeges üreget fedeztek fel. Közülük nevezetesebb még az erdélyi Bihar hegységbeli *Szkerisórai-jégbarlang* (román neve: Ghețarul de la Scărișoara), amelyet az osztrák *Adolf Schmidl* kutatót át és térképezett fel 1863-ban. A barlang egy 20 m átmérőjű, 48 m mély beszakadás aljából indul, és lejtős termeiben 73 000 m³ jég halmozódott fel. Pollenvizsgálatokkal megállapították, hogy a legidősebb jégkéreg kora 3500 év.

Szlovákiában szintén statikus genetikájú képződmény a *Deményfalvi-jégbarlang* (Demenovská ľadová jaskyna), melynek bejárata az Alacsony-Tátra északi oldalán, 840 m magasságban nyílik. Ausztriában ilyen típusú jégbarlang a turisták által szintén látogatható *Hundsalm-Eishöhle* a Brandenbergeri Alpokban, 1520 m magasságban. Statikus jégbarlangok vannak még Svájcban és a Francia-Alpokban, a Pireneusokban, a Kaukázusban, az észak-amerikai Sziklás-hegységben és más hegyvidékeken is.

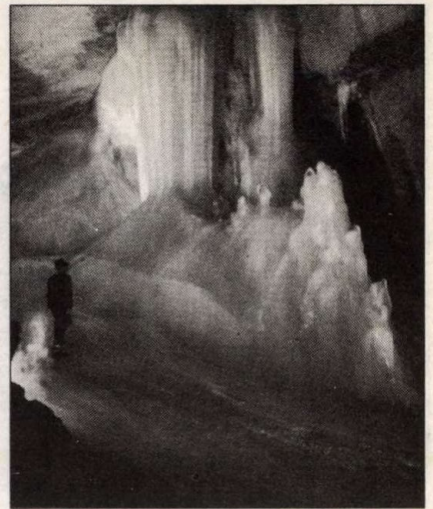
Az ismertetett jégbarlangokban a jég felhalmozódása az üregekbe jutó

víz megfagyása útján történik. Vannak olyan statikus jégbarlangok is, amelyekben a jég az egymásra halmozódó, firnesedő hóból keletkezik, akár csak a völgyi gleccserek. Az alapfeltétel egy széles szájú, mély akna-barlang (zsomboly), amelyben a hó összegyűlhet, valamint egy lejtős barlangjárat, melyben a jéggé vált hó „föld alatti gleccserként” továbbmozoghat. Szibériában több ilyen típusú jeges barlangot írtak le.

Föld alatti szélcsatornák

A világ legnagyobb jégbarlangja büszke címet jelenleg egy ausztriai barlang, az *Eisriesenwelt* (Jég-óriásvilág) viseli. Hossza 42 km, a benne felhalmozott jégtömeg pedig negyedmillió m³-re becsülhető. Feltárása egy lelkes fiatal salzburgi barlangkutató, *Alexander von Mörk* nevéhez fűződik, aki tudomást szerezve a barlang létezéséről, 1910-ben merészkedett bele társaival. A barlang bejárata a Salzburger-Mézőközpokhoz tartozó Tennengebirge meredek nyugati sziklafalában nyílik 1641 m magasságban. Első egy kilométeres szakasza erősen eljegesedett, a jég mintegy 30 000 m² területet foglal el és vastagsága 20–30 m körüli.

Az *Eisriesenwelt* keletkezését nem lehet megmagyarázni a statikus jégképződéssel. Már csak azért sem, mert a jeges szakasz nem veremszerű mélyebb fekvésű, hanem éppen ellen-



A dachsteini Rieseneishöhle

kezőleg, a bejáratától felfelé emelkedve, mintegy 100 m-rel magasabban fekvő, tágas, vízszintes folyosóban van. Nem bizonyult valóságnak az az elképzelés, hogy a jég az utolsó eljegesedés maradványa lenne, a vizsgálatok szerint a jégtömeg nagy része ebben az évezredben képződött, sőt jelenleg is „hízik”, miközben az Alpokban a felszínen a gleccserek fogyatkoznak. A barlangi mérőállomások adatai segítségével tisztázódott, milyen mikroklimatikus törvényszerűségek szabályozzák a barlangi jég felhalmozódását.

Az Isfjellelva-gleccseralagút főága a Spitzbergákon (J. Braun felvétele)





Az Isfjellelva-gleccserfolyó előbukkanása (gleccserkapu)

Az egybejáratú statikus jégbarlangoktól eltérően az Eisriesenwelt több nyílással kapcsolódik a szabad légterhez. A völgybe nyíló alsó főbejáraton kívül a barlang belső részeiből számos kürtő nyúlik fel a Tennengebirge 2000–2100 m magas fennsíkjára. A bejárat és a felső kürtőnyílások között 400–500 m a szintkülönbség és közöttük erős légáramlás tapasztalható (olykor másodpercenként 4 m sebességű „barlangi huzat”). Ennek iránya évszakosan változik. Télen, amikor a felszínen erősen lehűl a levegő, a barlang kürtőiből a viszonylag meleg, könnyű levegő felfelé áramlik ki a szabadba, nyomában pedig a völgy felől a bejáraton át hideg levegő önti el a barlang alsó, vízszintes részeit. Ilyenkor ott – 10 °C alatti hőmérséklet is előfordul, erősen lehűlnek a barlang falai is. A tél elmúltával – egy átmeneti, váltakozó szélirányú periódus után – végleg megfordul a barlangi légáramlás iránya. A bejárat szakaszából a hideg levegő lefelé kiáramlik a völgybe, nyomába pedig a fennsíkról a kürtőkön át viszonylag meleg levegő szívódik be. A lefelé mozgó levegő a hideg kőzetfalkával majd a jéggel érintkezve erősen lehűl, s az eredetileg 10–20 °C hőmérsékletű levegő a bejárat közelébe érve már alig 1–2 °C-os. Tehát mind télen, mind nyáron a barlangrendszer leghidegebb része a bejáratához közeli szakasz. Kiderült, hogy míg a felszínen az évi középhőmérséklet 1–4 °C közötti, addig a barlangnak ebben a szakaszában átlagosan fagyponthoz alatti. A fő jégképződési periódus a tél vége és a tavasz, amikor a plató olvadékvizei beáramlanak az akkor még fagyponthoz alatti hőmérsékletű alsó barlangjáratba. Mivel a barlangi jég képződésében a légmozgásnak meghatározó szerepe van, az ilyen típust dinamikus jégbarlangnak nevezik.

A dinamikus jégbarlang igen érzékenyen reagál a külső légköri változásokra, hiszen 1–2 °C hőmérséklet-ingadozáson múlik, hogy a barlangi jég gyarapszik-e vagy fogyásnak indul. Ha például néhány enyhe és kevés csapadékú tél követi egymást, az jelentős jégvesztéssel járhat. Feltételezik, hogy a barlang jege a múltban többször is eltűnt, majd újraképződött. A vizsgálatok szerint a mostani erős eljegesedés az i. sz. 1300 körül kezdődött.

Az Eisriesenwelt nem az egyetlen dinamikus jégbarlang. Hasonló légáramlási rendszer szabályozza a tőle nem messze, a Dachstein oldalában 1453 m magasban nyíló Dachstein Rieseneishöhle jégviszonyait is. Az Úrál nyugati előterében gipszkőzetben keletkezett híres *Kunguri-jégbarlang* szintén dinamikus rendszerű, de miután megdöglött, az új kijáratot nyitottak rajta, a megváltozott áramlási viszonyok miatt a barlang jégképződményeinek nagy része elpusztult.

Alagút a jégben

Mint említettük, valódi jégbarlangoknak azokat az üregeket tekintjük, amelyek magában a jégben képződtek. Tudományos kutatásukkal a barlangtannak egy születőben levő új ága, a *glaciószepeológia* foglalkozik. A kutatóknak egyben jól felkészült, gyakorlott alpinistáknak kell lenniük.

Földünk jégborította területei mintegy 16 millió km²-t tesznek ki. Több mint 90%-uk jégtakaróként a sarkok közelében van, a maradék pedig a jégtakarók peremén és a magashegységekben található gleccserekből tevődik össze. A jégtakarók mélyén megbúvó üregrendszerek még feltá-

ratlanok, eddig legfeljebb a belőlük kiágazó peremi jégárok gyomrába sikerült behatolni. Jóval ismertebbek a magashegységek völgyi és platógleccsereinek olvadékvíz által létrehozott aknáik és patakos barlangjai, amelyeket turisták is látogatnak.

A gleccserbarlangok rövid életű, gyorsan képződő és átalakuló képződmények, hiszen az „anyaközetük”, a gleccserjég is állandóan mozog, anyaga cserélődik. Az üregek fejlődése a nyári időszakra korlátozódik, amikor a gleccser felülete az erős besugárzás hatására olvadni kezd. A jég szerkezetének és lejtőviszonyainak megfelelően a felszínen olvadásos barázdák, csatornák alakulnak ki, melyek vizüket hosszanti jégszakadékokba vagy kerek, zombolszerű gleccserkutakba vezetik. A lezúduló víz a gleccser talpát elérve irányt változtat és a fenékmoréna fölötti jégben (részben a morénában) közel horizontálisan alagutat vág magának a gleccser elvégződésének nyelve felé. A gleccseralagútba minden irányból kisebb-nagyobb járatok csatlakoznak, és az egyre dagadó gleccserpatak a jégmező legalacsonyabb pontján kialakuló gleccserkapuban jut ki a napvilágra.

A gleccserbarlangok tanulmányozására legalkalmasabb időszak a leolvadás (abláció) befejeződése és a tél beállta előtti átmeneti periódus. A gleccseralagút a tágas gleccserkapun át vagy a gleccserkutak egyikében leereszkedve érhető el. Legutóbb egy lengyel–cseh expedíció a *Spitzbergákon* végzett kutatásokat és számos gleccserbarlangot térképeztek fel. Az Isfjellelva gleccseralagút 750 m hosszúságban sikerült bejárniuk, miközben több erős sodrású zuhatagot kellett legyőzniük. A jégben képződött alagút kezdeti szakasza 15–30 m széles és 15–18 m magas, tehát méretben az Aggteleki-barlangunkkal vetekszik. A vízfolyás hozamát másodpercenkénti 90 m³-ban állapították meg, a hőfok 0,4 °C volt, míg a levegő hőmérséklete 0,8 °C. A bejáratától 600 m-re a folyó már teljesen elhagyta a morénaágyat és a medrét is tiszta jég alkotta. A kutatók útját egy vízre hajló jégfal zárta el.

Valódi jégbarlang megtekintésére nem kell a távoli Spitzbergákra utaznunk. Szomszédunkban, Ausztriában az Alpok gleccserei alatt is kialakultak kisebb jégalagutak, a jégárok oldalában pedig ún. marginális gleccserbarlangok. Bár nem veszélytelen a felkeresésük, a természet titkaira kíváncsi ember számára tanulságos élményt jelent a megismerésük.

BALÁZS DÉNES