



Álló cseppkövek Gyurkó-lápán (Hazslinszky Tamás felvétele)

HOGYAN KELETKEZNEK A BARLANGOK?

KARSZTKUTATÓK NEMZETKÖZI TALÁLKOZÓJA

Ez év augusztus
10. és 13. között
házánkban nemzetközi
barlangtani
kongresszust tartanak.
A hazai szakemberek
is számos új
fölfedezéssel
gazdagították
az elmúlt évtizedekben
a barlangokról,
tágabban
a karsztjelenségekről

meglévő ismereteinket.
A kongresszus kapcsán
most róluk
adunk számot.



Arra a kérdésre, hogy miként keletkeztek a mészkőbarlangok és a karsztos területek többi felszíni és felszín alatti alakzatai, már évszázadokkal ezelőtt megszületett a magyarázat. A lényege az, hogy a kopár mészkősziklára hulló és annak réshálózatában elszivárgó víz a levegőből magához vett szén-dioxid révén — gyenge sénsavként — feloldja a mészkövet. Ennek következményeként a felszíni sziklákon különleges formakincs jön létre: úgynevezett karrok* és

karrmezők fejlődnek ki. A víz réstágító, oldó hatására mészkőberogyások is keletkeznek, s ezek tál vagy üst alakú bemélyedéseket, dolinákat formáznak. Végül az egyre lejjebb szivárgó vizek a mélyben összefolyanak, s összegeződő, fokozódó oldómunkájukkal ott már tágas üregeket, barlanghálózatokat is kioldanak. Vagyis a mészköves területek valamennyi sajátos formáját — a felszíni töbröktől* a mélybeli barlangokig — az esővíz mészkőoldó hatásával magyaráztuk. A legtöbb tankönyv e karsztjelenségeket még ma is így értelmezi. Csakhogy — lényegét tekintve — ez az értelmezés hibás.

Bebizonyosodott ugyanis, hogy az esővíz önmagában nem, vagy csak alig oldja a mészkövet. Külföldi szakemberekkel karöltve hazai kutatóink egyértelműen tisztázták, hogy a legtöbb karsztjelenség az élővilág tevékenységének hatását tükrözi. Az is kiderült, hogy még némelyik felszín alatti karsztjelenségben — például a barlangi cseppkőképződésben — is a biológiai tényezők a főszerep.

Hordalék koptatta

Az első kritikusi csapás akkor érte a hagyományos karsztelméletet, amikor — a világ legkülönbözőbb részein csaknem egyidejűleg — a kőzetbe szivárgó víz vegyi összetételének változását is ellenőrizni kezdték. Akkor — 1949 és 1963 között — bizonyították be Venkovics István, H. Lehmann, Balázs Dénes és mások, hogy a beszivárgó vizek szinte már néhány méteres mélységben mészkőben telítetté válnak, s ezért még mélyebbre jutva már nem, vagy alig képesek oldani a kőzetet. Tehát a többnyire százméteres vagy még nagyobb mélységben rejtőző barlangig alászivárgó víz általában oldásra már képtelen. Ez a „karsztvíz” inkább lerakja a felülről hozott oldott ásványi anyagot, s ezáltal cseppkövek épülnek. Vagyis a barlang kiüregesedését semmiképpen sem magyarázhatjuk a leszivárgó vizek mészkőoldó munkájával. E vizek inkább azt segítik elő, hogy a már

HOGYAN KELETKEZNEK A BARLANGOK?

meglévő üregek feltöltődjenek!

A nemzetközi szakirodalomban elsőként e sorok írója mutatott rá arra, hogy a patakos barlang-rendszereket nem e barlangokat is *magában foglaló* mészkőtömegbe szivárgó víznek az oldó (korrodáló) hatása hozza létre. Az ilyen barlangot a távolabbról, a *másfajta kőzetekből felépült* vízgyűjtőről érkező pataknak — illetőleg hordalékának — a koptató munkája, mechanikai eróziója alakítja ki. Valójában tehát a barlang a felszínen megfigyelhető *völgybevégozásnak sajátos, felszín alatti formája*.

A legnagyobb barlangok boltozott, eróziós föld alatti patak völgyek, amelyek a felszín völgyeiben található *víznyelők*ből indulnak, majd a barlang *forrás* felőli végén ismét felszíni völgyben folytatódnak. Az ilyen barlangokhoz kapcsolódó víznyelők és források tehát nem mások, mint a felszíni és a felszín alatti völgyszakaszok váltópontjai. A barlang tehát nem kizárólagosan karsztjelenség! Hiszen főként olyan karsztokban keletkezik, amelyeknek *karszton kívüli* eredetű, szilárd hordalék-szemcséket szállító vízhatózatuk van.

Az itt felvázolt elméletnek a jelentőségét mi sem mutatja jobban, mint az, hogy következetes alkalmazásával sok, addig ismeretlen barlangrendszer sikerült kimutatni és feltárni az ötvenes évektől kezdve. Ilyen volt hazánkban az aggteleki *Béke-barlang*, az égerszögi *Szabadság*-, a jósvafői *Vass Imre*-, a bódvaszilasi *Meteor*- és a Bükk hegységi *Pénzpataki-barlang* stb.

Talajbaktériumok és -gombák

De térjünk vissza a beszivárgó vizek vegyelemzéséhez. A légkör átlagos szén-dioxid-tartalma csupán 0,03 százalék. Ha ez a csapadékvízben — szén-savként — mind oldódna is, az literenként akkor is csak 10-15 milligramm mészkövet volna képes feloldani. Ennek hatására viszont aligha fejlődhetne volna ki a pompás oldódásos karszt-

A karsztos oldódás mértéke és okozóinak aránya néhány éghajlati tartományban. A fekvő oszlop összesítve és területarányosan ábrázolja Földünk karsztvidékeinek jellemzőit (a szerző szerint)

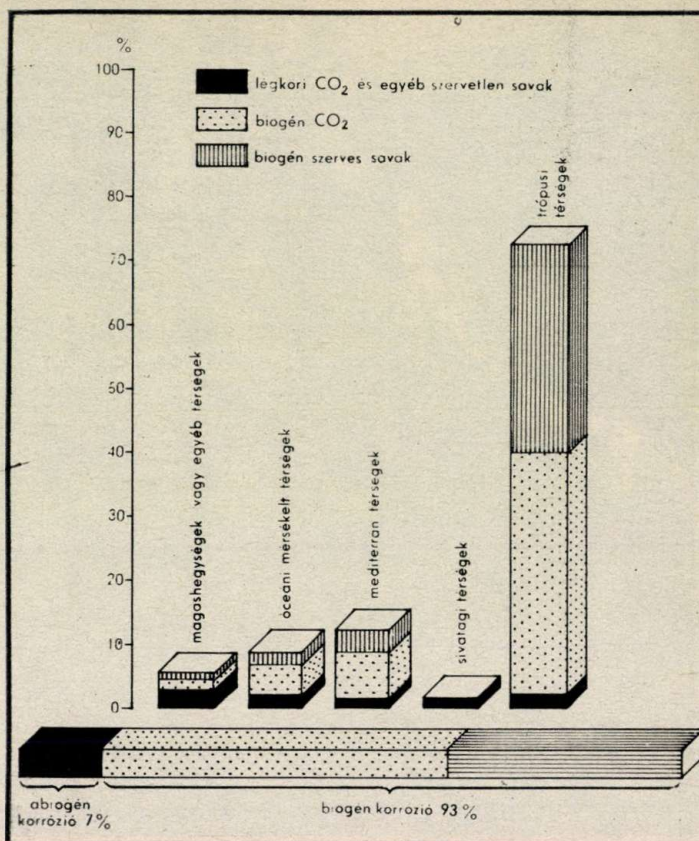
formák. Minden más kőzet, még a gránit is, oldódik a vízben hasonló mértékben (csak lassabban)!

Csak hogy a mészkőkarsztok kőzetrepedéseiből és a barlangokból gyűjtött víz-minták egészen más képet mutattak, s a hagyományos karsztelméletnek ez adta meg a „kegyelemdöfést”. Oldott mésztartalmuk ugyanis több száz, néha ezer milligrammra is fel-szökhet literenként. Honnan ez a rengeteg szén-dioxid, amelynek révén ekkora tömegű mészkő is feloldódhat?

Francia és nyugat-német kutatók már századunk ötvenes éveiben arra a következtetésre jutottak, hogy a szén-dioxid eredetét a *mészkövet borító talajban* kell keresni. A kérdés megválaszolását azok a hazai kutatások is segítették, amelyek a karsztkorrozio biológiai hatását tisztázták (Jakucs P., Balázs D., Jakucs L.). Vizsgálataink ugyanis kimutatták, hogy a hazai mészkőhegységeket fedő talajokban előforduló gáz-elegyben sokkal — legalább harmincszor — több a szén-dioxid, mint a szabad levegőben. Az is kiderült, hogy a meleg, csapadékos vidékeken még több szén-dioxid van a karsztok talajában.

A talajban lévő szén-dioxidot az ott milliószámra élő mikroorganizmusok termelik. Ha megfelelő a hőmérséklet és a nedvességtartalom, egy liternyi talajban 6-8 milliárdra is szaporodhat a *talajbaktériumok* és *-gombák* száma. Ezek anyagcserét folytatnak, elpusztulnak, elbomlanak. Mindezek a folyamatok *szén-savat* termelnek, s ez csak lassan szelődik ki a talajból. Ez annyit jelent, hogy a karsztosodás ütemét legfontosabban a *talajréteg biológiai folyamatainak aktivitása* határozza meg.

Hibás tehát a klasszikus karsztelméleti iskoláknak



az a tetszetős állítása, hogy például a *dinári Karszthegység* azért karsztosodott el, mert az ottani erdő letarolása után a talajokat lemosta az eső, s ezért a kopárrá vált mészkövet szabadon oldhatta a csapadék. A tétel éppen fordítva igaz: a karsztjelenségek a hegység erdős időszakában, talajborítás alatt fejlődtek ki. Az, hogy a lejtők később elkopárosodtak, mindezt csupán feltárta, s magát a karsztfejlődést még le is fékezte.

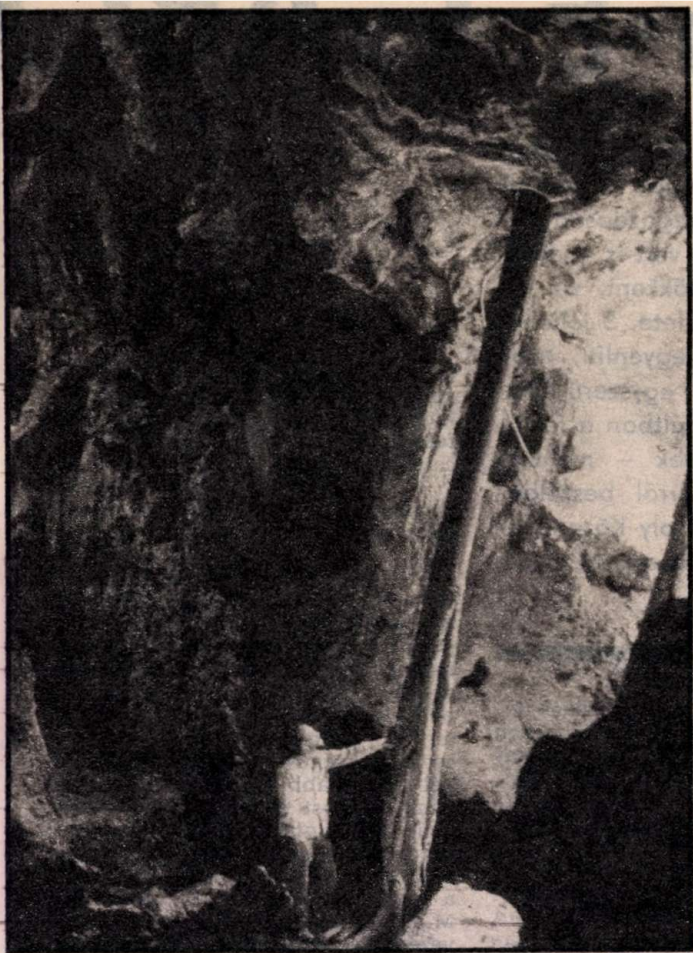
A talajok biológiai aktivitása természetesen nem korlátozódik arra, hogy a baktériumok és a gombák szén-dioxidot termeljenek. A talaj felszínén élő *növényzet gyökérzetéből*, a talajban korhadó *szerves hulladékok lebomlásából* stb. szintén kerül szén-dioxid és egyéb sav is a környezetbe.

Francia-magyar „háború”

A talaj láthatatlan élővilágának, persze, ugyanúgy megvannak a létfeltételei, mint más élőlényekének. A mikroorganizmusok igen érzékenyek például a *hőmérsékleti változásokra*.

Számuk alakulása még a napi hőmérséklet ingadozásait is érzékenyen követi. A kedvező hőfokú és nedvességű trópusi talajokban akár több százszor annyi szén-dioxid, és egyéb sav is keletkezhet, mint a mérsékelt égövön, itt pedig sokkal több, mint a hideg öv vagy a magashegységek gyér talajaiban. Nyilvánvaló, hogy óriási különbségek vannak az egyes éghajlati területek karsztosodásának mértékében is. Hiszen a víz mészkoldó képessége a talajbéli folyamatok éghajlati érzékenysége miatt maga is az éghajlat függvényévé válik.

Ezeket az új felismeréseket még a szakemberek is nehezen fogadták el. A különféle éghajlati területeken található karsztok ki-fejlődésének sebességét a kutatók annak az egyéb-ként helytálló tételnek az alapján ítélték meg, hogy a víz szén-dioxid-elnyelése — s így mészkoldó képessége is — fordítottan arányos a hőmérséklettel. Ezt a felfogást erősítette meg az ötvenes években szinte uralkodóvá vált *francia karsztiskola*. Corbel ugyanis kimutatta, hogy a



Barlang mennyezetén keresztülnőtt fa. Lombkoronája mintegy 5 méter vastag, tömör mészköréteg felett ágazik szét a felszínen (A szerző felvételei)

hideg területek karsztjaiból táplálkozó folyók körülbelül tízszer annyi oldott mészkövet szállítanak el a karsztról, mint a meleg vidékekről származók. Ebből azt a következtetést általánosította, hogy a karsztosodás a hideg övezetekben sokkal gyorsabb, mint a melegekben.

Az új magyar karsztiskolának nagy érdeme, hogy bebizonyította e felfogás tarthatatlanságát, és tisztázta az éghajlat éppen elmentes szerepét.

Angliában és Amerikában is megjelent könyvemben kimutattam, hogy az oldódás nagyságrendje és a karsztból táplálkozó folyók által szállított oldott mészkőnek az aránya között nincs meg azok a kapcsolatok, amelyekre Corbel kö-

vetkeztetései támaszkodnak. Az e folyók által elszállított oldott mészkőnek a mennyisége ugyanis csak a kimonodottan hideg égővekben közelíti meg a feloldott mészkőét. Minél melegebb az éghajlat és a folyóvíz, annál kisebb a mészkő elszállítódása! A hőmérséklet fokozódásával a beszivárgó csapadékvíz kémiai telítésében egyre inkább uralkodóvá válik a talaj és a benne lévő szén-dioxid.

Am a feloldott mészkő meg a szabad légtérrel érintkezve azonnal kicsapódik a karsztvízből, hiszen a vízben csak a légköri szén-dioxid mennyiségének megfelelő szén-sav maradhat meg tartósan. Minél melegebb az éghajlat, annál nagyobb az eltérés a tényleges oldás és a folyóvízi elszállítás aránya között. A melegebb karsztok feloldott mesze tehát elszállítódás helyett helyben rakódik le (a barlangokban, a hegyek sziklafalain, a karsztforrások mésztufá-üledékeiben stb.). A trópu-

si karsztokból eredő folyók kis mértékű mészkőszállítása csakugyan nem tükrözi a karsztos korrózió ottani hatalmas arányait.

Gyökerek, karrok, dolinák

A mérsékelt övben a mészkőnek a biológiai eredetű oldása kivált a talaj alatt lévő karrok és a dolinák kialakításában játszik nagy szerepet. A gyökérhálózatban fajok szerint eltérő mikroorganizmusnépesség fejlődik ki. Ezért a szomszédos gyökérbojtok és talajtérsegek vegyi folyamataiban is különbségek lesznek. A talaj kötöttségétől, nedvességétől, kitettségétől stb. függ annak szelőlőzöttsége is, és ez kihat a talajban felhalmozódó vegyületek mennyiségére. Így a talajon átszivárgó víz vegyi összetételében már kis távolságokon — néhány centiméteren — belül is nagy eltérések lehetnek.

A talaj baktériumvilága a gyökerek körül a legsűrűbb. Ezért a kőzet rései-be benyomuló gyökérzet idővel kitágítja a szűk részeket. Az ilyen — gyökércsatornákkal átluggatott — mészkővön keletkezik a *gyökérkar*, míg a talajt vesztett, elkopárosodott, sziklás felszíneket általában *karrmezőnek* nevezzük.

A trópusokon a biogén karrosodás formái is sokkal nagyobb arányúak. A gyökérkarrok csatornái nemritkán 20-25 méter mélységig is átjárják a kőzetet. Például Kubában számos olyan barlangot ismerünk, amelynek több méter vastag sziklamennyezetén fák nőttek keresztül a maguk vájta kéménycsatornáiban.

A karsztfelszínek elkopárosodása egyébként nem szükségszerű, sőt nem is általános jelenség. Ha azonban — többnyire emberi beavatkozás hatására — ez mégis bekövetkezik, a felszínre kerülő karrok mészkőve már közvetlenül érintkezik az esővízzel. A tiszta esővíz csak kis mértékben oldja a mészkövet. Hatására többnyire párhuzamos, lejtőirányú, apró oldási medrek keletkeznek. Ez azonban igen lassan megy végbe.

Ma már jellegzetesen biológiai eredetű karsztformaként értelmezzük a dolinát

vagy töbröt. E változatos átmérőjű mélyedéseket a kutatók nemrég még egyszerű kőzetberogyásoknak vélték, az alatt lévő oldásos üregek beszakadási jelenségeként értelmezve őket. Később kiderült, hogy a barlangoknak és a dolinának nem sok közük van egymáshoz. A barlangok ugyanis a mélyben csaknem mindig elkerülik azt a helyet, ahová a felszínen karsztos mélyedések települtek.

Az újabb értelmezés szerint a dolina olyan kőzetkioldódásos felszíni mélyedés, amely minden karszt-fennsíkban ott jön létre, ahol a kőzetet fedő talajok a legaktívabbak. A kezdetben lapos oldási mélyedésekben a magasabb térszín talajrészei könnyen összemosódnak. Ezáltal a legkedvezőbb korróziójú helyek szűkebb területre korlátozódnak. A további mélyülést az sietteti, hogy a dolinákat elválasztó egyre domborúbb hátakon és nyergeken a karsztosodás sebessége — a szinte törvénytörő elkopárosodással együtt — le is fékeződik.

Cseppkő sincs élet nélkül!

A biológiailag szabályozott karsztjelenségek sorában nemcsak oldási formákkal találkozunk. Fel kellett ismernünk, hogy a legtöbb karsztbeli *üledéklerakódást* szintén az élővilág tevékenysége indítja el. A barlangok mészkőlerakódásai, a cseppkövek, a mésztufagátak stb. valójában biogén karsztjelenségek.

Az elkopárosodott felszíni hideg területek és növényzet nélküli magashegységek barlangjaiban ezért nincsenek cseppkövek, s ezért nem ülepítenek az ott eredő karsztforrások mésztufát. A trópusi karsztokon viszont már a felszínen csodálatos formagazdagságú cseppkőképződmények keletkeznek.

A nemzetközi karszt- és barlangtani kongresszus résztvevői számára tehát csakugyan bőséges megvitatni való téma kínálkozik. Kívánjuk, hogy munkájukkal sikeresen járuljanak hozzá a világ további titkainak megértéséhez.

Dr. Jakucs László
egyetemi tanár