

A KARSZT BIOLÓGIAI PRODUKTUM!

JAKUCS LÁSZLÓ

A karsztosodási folyamat hagyományos értelmezése

A természettudományok történetében nem ismeretlen jelenség, hogy a megdöntött, avult axiómák a tankönyvek, lexikonok, sőt kézikönyvek lapjain makacsul még soká tovább élnek. És noha a felismert tágabb érvényű, új igazságok már forradalmian átrendezték a témakörrel kutatási szinten foglalkozó szakemberek szemléletét, az időszerűtlenné öregedett korábbi tudományos „hit” még hosszú időn keresztül uralja a közgondolkodást. Pontosan ez áll korunkban a karsztosodással és a karsztjelenségek értelmezésével kapcsolatban is.

A hagyományos tankönyvi séma a karsztjelenségeket még ma is a *csapadékvíz kőzetoldó munkájaként* értelmezi. Ez azonban a dolog lényegét tekintve hibás beállítás! Behizonyosodott ui., hogy az esővíz önmagában nem, ill. csak alig oldja a mészkövet. A hó- és esőlé nagyon gyenge mészkőoldó tevékenysége a változatos karsztjelenségek létrehozására önmagában sohasem lenne elegendő. Ezzel szemben korunk tudománya egyértelműen tisztázta, hogy a legtöbb karsztjelenség Földünk felszínén az *élővilág tevékenységének* hatását tükrözi. Sőt behizonyosodott az is, hogy még a felszín alatti karsztjelenségek némelyikénél, így pl. a barlangi cseppkőképződésnél is a biológiai tényezők a legfontosabb genetikai folyamathordozók. A karsztosodás tehát naprendszerünkben sajátos és kizárólagos földi jelenség, amelynek mértéke és minősége szigorúan a földfelszíni növényzet és a talajok biológiai aktivitásával arányos.

Az általánosan ismert régi karsztértelmezés évszázadokkal ezelőtt, a tudományok korai időszakában született. Az volt a lényege ennek a felfogásnak, hogy a kopár mészkősziklára hulló és annak hasadékaiban, réshálózatában elszivárgó víz, a *levegőből* magához vett széndioxid révén — gyenge szénsavként — feloldja a mészkövet. Az oldás eredményeként a felszíni sziklákon különleges formakincs jön létre, ún. *karrmezők* fejlődnek ki, ill. a beszivárgó víz kőzetréstágitó oldásának eredményeként megismétlődő mészkőberogyások is keletkeznek, amelyek tál alakú, üstszerű bemélyedéseket, *dolinákat* formálnak a platókon. A mészkő réshálózatában egyre lejjebb szivárgó vizek a mélyben összefolynak, s összegződött, felfokozódott oldó munkájukkal ott már tágas üregeket, *barlangi vízjáratokat* is kioldanak. Vagyis a mészkőhegységek valamennyi sajátos formáját — a felszíni töbröktől a mélybeli barlangokig — az esőlé kőzetoldó hatásával magyaráztuk.

A barlangképződés mechanikai eróziós modelljének felismerése

A klasszikus karsztelméletet akkor érte az első kritikus csapás, amikor — a különböző kontinenseken csaknem egyidejűleg — a kőzetbe szivárgó víz vegyi összetételváltozásait is ellenőrizni kezdték a kutatók. Ekkor bizonyosodott be, hogy a mészkőzetek réseibe beszivárgó vizek nagyon hamar, szinte *már néhány m*

mélységben mésztelített oldatokká válnak. A telített mészoldat azonban még mélyebbre szívárogya már nem képes — legfeljebb csak speciális körülmények között — további kőzetet feloldani. Így azután a többnyire száz, vagy még több m mélységben rejtőző barlangig is alászivárgó víz ott már a legtöbb esetben oldásképtelen. A mélybe szívárgott „karsztvíz” újabb oldás helyett most inkább *lerakja* a felülről szállított oldott ásványi anyagokat. Az aláhulló vízcseppek millióinak mészüledékéből cseppkövek épülnek. Vagyis a barlang *kiüregesedése* semmiképp sem vezethető vissza a mélybe szívárgott karsztvizek oldó munkájára.

Bebizonyosodott, hogy magát az üreghrendszert mindig valami más, külső, *idegen vízgyűjtőről származó* vízfolyás sodra mossa ki a mészkőhegység belsejében, mégpedig elsősorban a karsztba ömlő patakok sodorta szilárd hordalékok csiszoló-koptató *eróziójával*. Vagyis a barlang nem oldástermék, hanem egyszerű eróziós patakvölgy, folyómeder a felszín alatt (1. kép). A barlang tehát *nem* is feltétlen karsztjelenség, hiszen csakis az olyan karsztokban keletkezik, amelyeknek karszton kívüli táplálású szilárd hordalékszemcséket szállító vízfolyás-rendszerük is van.

A talajatmoszférák döntő szerepének tisztázódása

A végső kegyelemdőfést a hagyományos karsztmagyarázat számára ugyancsak a beszivárgó vizek kiterjedt kémiai vizsgálata adta meg. A konkrét vegyelemzések megerősítették, hogy a Föld légkörének átlagos széndioxid-tartalma mindössze 0,03%, vagyis olyan minimális, hogy a légkörből a csapadékvíz l-enként még egyetlen mg széndioxidot sem képes elnyelni. A szabad légtérből felvett széndioxid tehát gyakorlatilag *nem növeli meg* a vegyileg tiszta (desztillált) víz mészkőoldó étvágyát, ami egyébként így l-enként csupán 10—15 mg mészkő feloldásához elegendő. Nos, ha csak ennyiről lenne szó, aligha fejlődtek volna ki a Földön a mészkövek pompás oldásos karsztjelenségei! Hiszen a l-enkénti 10—15 mg-nyi kőzetvesztés elenyészően csekély. Minden más kőzet — még a gránit is — oldódik a vízben csaknem hasonló mértékben.

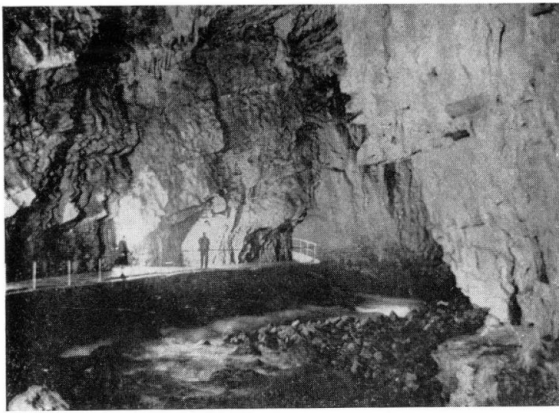
A karsztok karbonátos kőzeteinek repedésrendszeréből, vagy éppen a barlangok belsejéből gyűjtött vízminták azonban egészen mást mutatnak. L-enként több száz, néha ezer (!) mg-ra is felmegy az oldott mésztartalmuk.

Hol szerzi hát be a víz azt a rengeteg széndioxidot, amely ekkora tömegű mészkő feloldását is lehetővé teszi számára? A vizsgálatok azt bizonyították, hogy minden esetben a *talajban*. Ahol ui. a kőzetet vékonyabb-vastagabb talajréteg is fedi, ott a csapadéknak előbb át kell szívárognia a talajtakarón. Csakis ezután juthat hozzá a mészkőhöz.

A talajok pórusterét kitöltő gázelegyben azonban sokkal több széndioxid van, mint a szabad levegőben. E gáz aránya itt majdnem mindig több 1%-nál, nemritkán azonban 10%-nál is több lehet. Vagyis a légkörhöz képest legalább harmincszor, de gyakran háromszázszor vagy még többször több széndioxid gyűlik össze a talajatmoszférában.

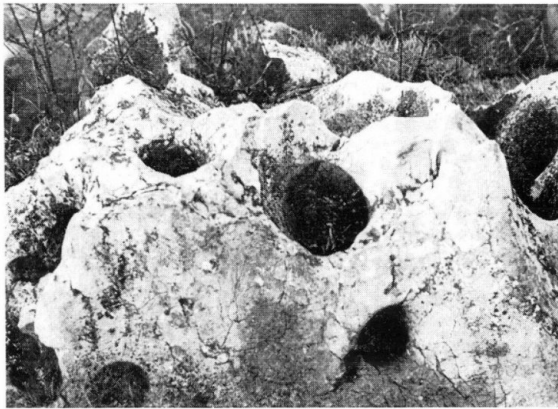
Nem kétséges tehát, hogy a sok mészkövet feloldó nagy szénsav tartalmú karsztvizek agresszivitásukat nem a levegőből, hanem a karsztot fedő talajoktól kapják. Minél több szénsav keletkezett és halmozódott fel a talajban, alatta annál gyorsabb ütemű és hatékonyabb lesz a mészkő oldódásos lepusztulása, a karsztosodás.

A talajbéli széndioxidot az ott milliószámmra élő parányi mikroorganizmusok termelik. Más szóval ez azt jelenti, hogy valamely térségben a karsztosodás üte-



1. kép. A legtöbb barlangrendszer nem oldásnak, hanem folyóvízi medervájó eróziónak a terméke. A barlangokat a felszín alatti kőzetréshálózatba beömlő vizek sodra alakítja ugyanúgy, ahogyan a felszínen megfigyelhető a völgyképződés mechanizmusa. A nagy barlangrendszerek tehát genetikai értelemben felszín alá erodálódott folyóvölgyek, a medererózió minden ismérévével

Pict. 1. Most cave systems are the products not of dissolution, but of running-water bed-carving erosion. The caves are formed by the flow of water running into the network of cracks in the rock under the surface, in the same way as the mechanism of valley formation may be observed on the surfaces itself. In the genetic sense, therefore, the large cave systems are river valleys eroded under the surface, with all the criteria of bed erosion



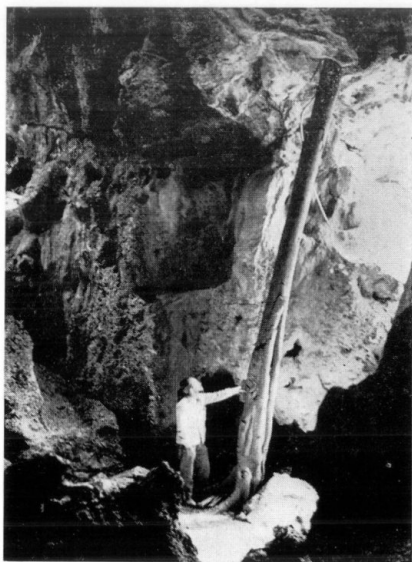
2. kép. A gyökércesatornákkal átjárt mészkőszikla a talaj alatt végbemenő karsztosodás bizonyítéka. A felvételen látható gyökérkarr az Aggteleki-tó fölötti, ma már elkopárosodott kármező képződménye

Pict. 2. The limestone rock riddled with root channels is evidence of karstification proceeding under the soil. The root lapies to be seen in the photograph is a formation of the now barren lapies field above the lake at Aggtelek in Hungary



3. kép. A gyökérkorrozó az intenzív vegetációjú trópusokon rövid idő alatt teljesen elemészti a felszínközeli mészkőrétegek anyagát. A felvétel Kubából mutat be egy mészkőfelszínt, ahol a kőzet biogén oldásos anyagvesztése kb. 65–68%-os

Pict. 3. In the abundantly vegetated tropics, root corrosion totally depletes the content of the near-surface limestone layers within a short time. The photograph shows a limestone surface in Cuba, where the loss of rock by biogenic dissolution is ca. 65–68%



4. kép. Több méteres vastagságú kemény mészkőrétegen keresztülnőtt fa Kuba egyik barlangjában. A fa gyökérzete a barlang nyirkos agyagtalajából gyűjti a nedvességet, a zöld lombkorona pedig a maga vájta szűk sziklakémeny felső végénél, a felszínen élvezi a napfényt. A jelenség a nagy dinamikus biológiai karsztkorrózió félreérthetetlen bizonyítéka

Pict. 4. A tree has grown through a hard limestone layer several metres thick in a cave in Cuba. The roots of the tree collect the water from the wet clay soil of the cave, while the green foliage enjoy the sunshine on the surface at the upper end of a narrow rock chimney which the tree itself has carved out. This phenomenon is unambiguous evidence of at the high dynamics of biological karst corrosion



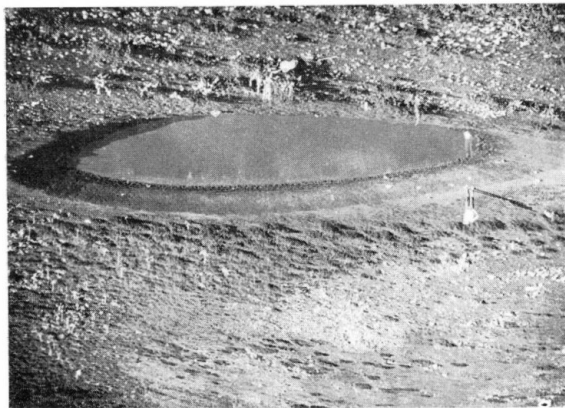
5. kép. A talaj nélküli kopár mészkőfelszíneken keletkező abiogén csapadékkarrok oldott vályulatai a biogén karrokkal szemben gravitációs irányítottságot mutatnak és nagyon lassan fejlődnek. A klaszikus karsztmagyarázat csakis ezt az oldási formát tudta valóban helyesen értelmezni

Pict. 5. In contrast with biogenic lapies, the dissolved furrows of abiogenic precipitation lapies formed on soil-less bare limestone surfaces exhibit gravitational direction and develop very slowly. In fact, the classical karst explanation could give a correct interpretation only for this dissolution form



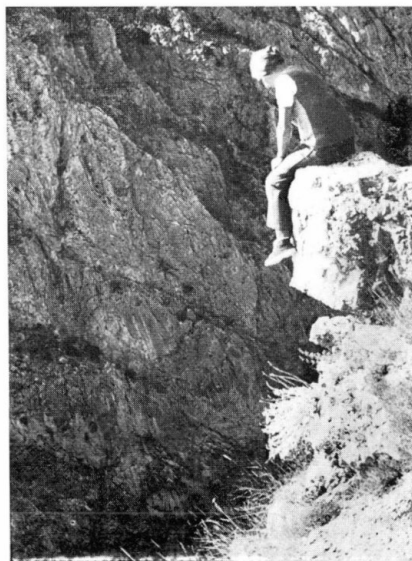
6. kép. A biogén korrózió jellegzetes terméke a dolina (töbör). A mészkőfennsíkuk jól ismert karsztos nagy-formáját a legbioaktívabb talajközvetekre jellemző fokozódott kőzetoldódás alakítja ki. A folyamat kezdetén még lapos kőzetkimarodások mélyedékébe bemosódnak a környező felszínek talajrészecskéi is, ami fokozza az oldódás dinamizmusának területi differenciálódását. Ezen az úton a dolina továbbmélyülése „öngerjesztővé” válik

Pict. 6. The doline is a characteristic product of biogenic corrosion. The well-known karstic large forms of limestone plateaux are produced by the enhanced rock dissolution typical of the most bioactive soil areas. At the beginning of the process the soil particles from adjacent surfaces are also washed into the depressions eaten into the still flatish rock; this enhances the areal differentiation in the dynamism of dissolution. By this means, the further deepening of the doline becomes "autocatalytic"



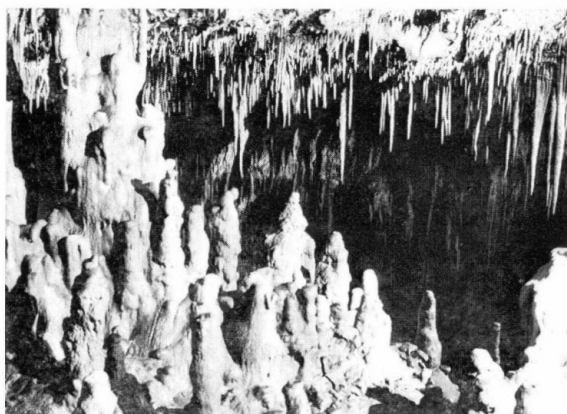
7. kép. „Befulladt” dolina, amelynek alján az oldalakból becsúszott agyagos üledékek vízzáró réteggé tömörültek, s megakadályozzák a csapadékvizeknek a töbör centrumában való alászivárgását. Az ilyen „tavas” dolinák ebben a szakaszban már nem mélyülnek, hanem csak oldalirányokban szélesednek

Pict. 7. A “choked” doline, on the bottom of which the clayey sediments washed in from the sides have become compressed into an impermeable layer that prevents infiltration of the precipitation water in the centre of the doline. In this stage, such “lake” dolines no longer deepen, but only widen laterally



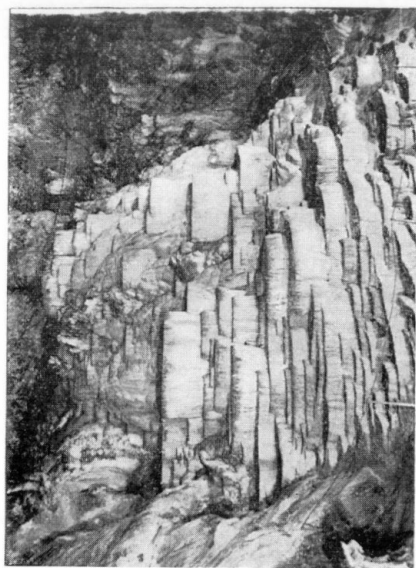
8. kép. Jellemzőes meredek falú szakadékdolina Imotski (Jugoszlávia) mellett. A több száz m mély, függőleges falú sziklakatlan nem oldás, hanem egy mélyben húzódó nagyobb barlangürege mennyezeteinek a felszínig ható felszakadása révén keletkezett

Pict. 8. A characteristic steep-walled gorge doline near Imotski, ugoslavia. The several hundred metres deep, vertical walled rock cauldron was produced not by dissolution, but by the splitting up to the surface of a ceiling of a deeply extending large cavern



9. kép. A barlangok cseppkövei, a sztalaktitok és a sztalagmitok ugyancsak biogén karsztképződmények, mert csakis olyan barlangokban keletkeznek, amelyek fölött a felszínen biogén karsztkorrozio is van. A magashegységek és a hideg égővek vegetáció és talaj nélküli kopár karsztjainak barlangjaiban a kalcit cseppkövek ismeretlenek

Pict. 9. The dripstones of caves, stalactites and stalagmites, are similarly biogenic karst formations, as they are produced only in caves above which there is also biogenic karst corrosion on the surface. Calcite dripstones are unknown in the caves of barren, vegetation- and soil-free karsts of high mountains and in the frigid zones



10. kép. A barlangokban látható mésztufa gátacskák és mészkötetartaták ugyancsak a biogén korrózió révén feloldódott ásványi anyagok lerakódási termékei. A barlang aljára szivárgó vagy esőredező karsztvizekből kiszellőzik a felszíni talajrétegben elnyelődött széndioxid, következésképpen a mészkő újból szilárd alakot ölt.

Pict. 10. The calcareous tufa weirs and limestone tataras visible in caves are similarly products of the deposition of mineral substances dissolved up by biogenic corrosion. The carbon dioxide absorbed in the surface soil layer is lost from karst water infiltrating or trickling to the bottom of the cave, and consequently the limestone is redeposited in solid form.



11. kép. A karsztpatakok medrében és vízeséseinél felhalmozódó felszíni mésztufa kétszeresen is biogén karsztüledék, ui. az oldásos telítődésen kívül a mészkiválást a növényzet is siettetí. A vízben élő vagy oda belesodródott zöld növények asszimiláció útján vonják el a mészsodratból a széndioxidot.

Pict. 11. The surface calcareous tufa accumulating in the beds and waterfalls of karst streams are karst sediments of biogenic origin for two reasons: in addition to the dissolution saturation, the new deposition of the limestone is also accelerated by the vegetation. The carbon dioxide is extracted from the limestone solution by assimilation, by the green plants living in the water or swept into it.



12. kép. A trópusi karsztok tufa függőnyei úgy keletkeznek, hogy a meredek hegyoldalakra települt növényzetten alácsorgó, gazdag mésztartalmú talajvizek bekérgezik, elmeszesítik a vegetációt. Ez a növényzet számára végzetes és „öngyilkosságszerű” mészkakkumuláció annál gyorsabb és „kíméletlenebb”, minél intenzívebb a növény asszimilációja, élni akarása.

Pict. 12. The tufa curtains of tropical karsts are formed by the soil water, with its rich calcium content, trickling under the vegetation growing on the steep hillsides, thereby encrusting and calcifying the vegetation. This is fatal for the plants, but the more intense the assimilation of the vegetation and the stronger its will to live, the faster and the more “relentless” will be the “suicide-like” accumulation of calcium.

mét a beszívargó csapadékmennyiségen kívül legfontosabbként a felszint fedő vékonyabb-vastagabb *talajréteg biológiai folyamatainak aktivitása* szabja meg. Azaz a mészkő oldódása, a *karsztosodás lényegében a kőzetet fedő talajszféra biológiai és kémiai fejlődésjelenségeinek az oldható alapkőzeten való formai visszatükröződése.*

Csakugyan hibás tehát a klasszikus karsztiskoláknak (CVIJIĆ, CHOLNOKY stb.) az a tetszetős állítása, amely szerint a *dinári Karszt-hegység* azért karsztosodott el, mert az ottani erdők letarolását követően a felszínét fedő talajokat is lemosta az eső, s így a kopárrá vált mészkövet most már szabadon oldhatja a csapadék. A tétel pontosan fordítva igaz: A karsztjelenségek fejlődése, a dolinák bemaródása és a karrok bizarr sziklaalakzatának kifejlődése a hegység *erdős időszakában*, talajborítás alatt ment végbe, s a lejtők későbbi elkopárosodása mindezt csupán feltárta, láthatóvá tette, de magát a karsztfejlődés dinamikáját egyidejűleg le is fékezte.

A karszt talajok bioaktivitása természetesen nem korlátozódik csupán a talajban élő különféle baktérium- és talajgomba populációk széndioxid termelésére, hanem a talajfelszínen élő füves, bokros vagy fás növényzet alányuló *gyökérzetének* vegyi hatásai, vagy a talajban korhadó szerves hulladékok, avar, állati tetemek lebomlása és még sok más folyamat is szerepelhet széndioxid és egyéb savtermelő tényezőként. A nagyobb bioaktivitású talajok valóságos vegyi üzemeknek számítanak, ahol főleg rengeteg fajta különböző szerves sav termelődik. Ezek közül legfontosabbak a hangyasav, ecetsav, oxálsav, tejsav, propionsav, különböző fulvo- és krénsavak, humusz- és huminsavak stb. A mészkő oldásában — a leglényegesebb szénsav mellett — változó arányokban ezek a vegyületek is részt vesznek, hiszen a talajon átszivargó víz őket is feloldja s a mészkőalaphoz juttatja.

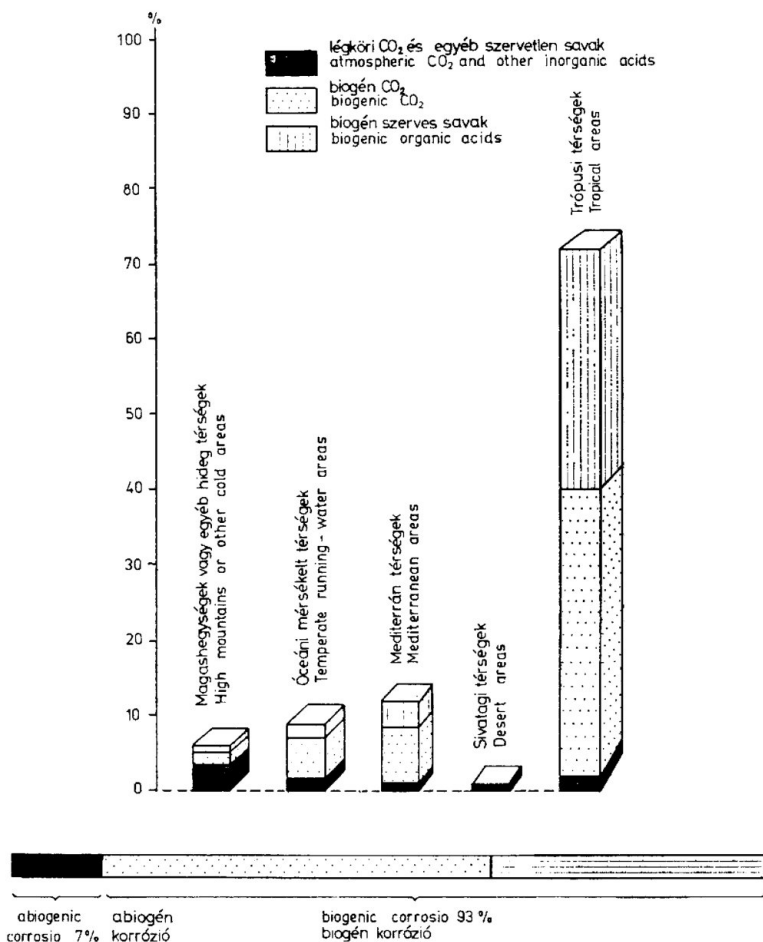
A talajok bioaktivitásának klímafeltételei és az oldásos karsztformák növényfaji adekvációi

A talajok láthatatlan élővilágának ugyanúgy megvannak a maga kedvező és kedvezőtlen életfeltételei, mint az általunk közvetlenül is jól ismert élőlényeknek. A talajbeli mikroorganizmusok életfunkciói igen érzékenyen reagálnak például a *hőmérsékletváltozásokra*. A talajbeli baktériumszám változása még a *napi hőmenet* ingásait is érzékenyen követi. Hosszas kísérlet sorok és észleletanyag birtokában azt is tudjuk azonban, hogy az optimális hőszint önmagában még nem elegendő feltétel egy talaj mikroorganizmus populációjának serkentésére, hanem ezt csakis a *hőmérsékleti és talajnedvességi optimumok egyidejű hatása* biztosíthatja, természetesen kellő talajszellőzési feltételek között. Bármelyik tényező csökkenése vagy növekedése azonnal a baktériumszám erőteljes csökkenését eredményezi. Vagyis a talajban működő savtermelő vegyiüzem rendkívüli módon *klíma-érzékeny*.

A kedvező hőszintű és nedvességű *trópusi talajokban* ezért akár százszor vagy több százszor annyi széndioxid és egyéb szerves sav is keletkezhet, mint például a *mérsékelt égővi* karsztok talajaiban. De a mérsékelt égővi karszt talajok szénsavtermelése is sokszorosa a *hideg égővek* vagy *magashegységek* hűvös felszínű karsztját borító gyér talajokénak. Nyilvánvaló, hogy szükségyszerűen óriási különbségek vannak ezért a különböző klímaterületek (trópusi, sivatagi, mediterrán, óceáni mérsékelt, magashegységek és egyéb hideg térségek) karsztosodási intenzitásában is. Hiszen a víz mészkoldó agresszivitása a talajbeli biogén faktorok klímaérzékenysége folytán maga is a klíma függvényévé válik (*1. ábra*). Biztosak lehetünk

benne, hogy alapvetően ezek a különbségek magyarázzák meg a Föld különböző éghajlatú részein látható karsztformák feltűnő nagyságrendi és nagyon sajátos területi morfológiai különbségeit.

A mi éghajlatunk alatt, azaz a mérsékelt égövben a biogén oldás főleg a *talaj alatti karrok* (pl. gyökérkarrok) és a *dolinák* (töbrök) fő genetikai tényezője. Az



1. ábra. A karsztkorrózió nagyságrendjei és faktorarányai a Föld néhány sajátos klímaterületében. A mérsékelt oldódási dinamikájának mértékét az oszlopok magassága, míg az oldási folyamatokat okozó tényezők részesedését az oszlopok belsejében komponensarányok érzékeltetik

Fig. 1. The magnitudes and factor-proportions of karst corrosion in some characteristic climatic regions of the Earth. The extent of the dynamics of dissolution of limestone is indicated by the heights of the columns, and the participations of the factors causing the dissolution processes by the component ratios denoted within the columns

egymás mellett élő különböző növények, fűvek, cserjék, fák stb. gyökérhálózataiban, a *rizoszférákban* a fajok szerint eltérő mikroorganizmus népesség fejlődik. Következésképp minőségi és mennyiségi különbségek lesznek a szomszédos rizoszférák vagy talajtérségek kémiai folyamataiban is, ami eltérő sav- és gázkoncentrációkat produkál a talaj egymás melletti részeiben. A talajfelszín kötöttségétől, nedvességétől, égtáji kitettségétől, a bioaktív talajszelvény vastagságától és

még sok más tényezőtől függ az egyes talajtérsegek *szellőzőtsége* is, ami ugyan-csak befolyásolja a talajban felhalmozódó folyékony és gáznemű vegyületek koncentrációját. Így a talajon átszivárgó víz kémiai összetételében már kis távolságokon — akár néhány cm-en — belül is roppant nagyfokú eltérések jöhetnek létre. Ez a vegyi agresszivitásbeli *differentiáltság* tükröződik azután vissza a kőzet szabálytalan oldásformáiban, a sziklakarrok bizarr alakzatában.

Biogén és abiogén karrformációk

A talaj baktériumvilága a gyökerek körül mindig jóval sűrűbb, mint egyebütt. Ezért a kőzet réseibe benyomuló gyökérszövet idővel a kezdeti szűk réseket tágas oldásos kanálisokká, leginkább kerek vagy ovális szelvényű kanyargós csatornákká bővíti. Az ilyen gyökércsatornákkal átluggatott mészkő a *gyökérr* (2. kép), míg a talaját elvesztett, elkopárosodott, kiterjedt sziklás felszínüket általában nevezzük *karrmezőknek*.

A trópusokon, ahol a növénytakarónak és a talaj rejtett élővilágának egyaránt jóval dinamikusabb a fejlődése, természetesen sokkal nagyobb arányúak a biogén karrosodás hatásai is. A gyökérrakrok csatornái itt nemritkán 20—25 m mélységig is átjárják a mészkövet, miközben akár 60—70%-os oldásos kőzetvesztéget is előidézhet a gyökérrakrozó (3. kép). A biogén karrosodás feltűnően nagy intenzitását kitűnően érzékelhetjük a vastag mészkőrétegeken átfurakodó fák példáján. Kubában, de a trópusokon másfelé is, számos olyan barlangot ismerünk, amelyeknek több m vastag sziklamennyezeten fák nőttek keresztül, a maguk vájta keskeny kéménycsatornáikban (4. kép).

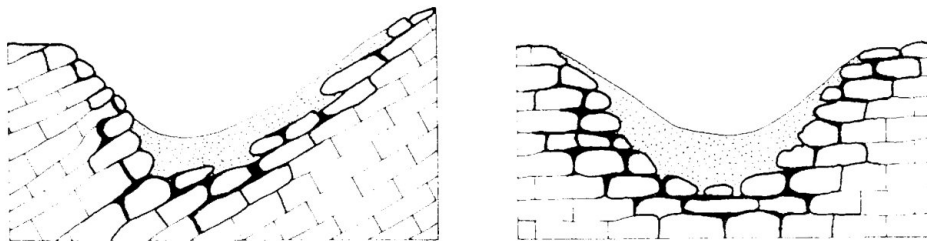
Egyébként a karstok elkopárosodása nem szükségszerű, sőt, nem is általános tünet. Ha azonban — többnyire helytelen emberi beavatkozások hatására — mégis bekövetkezett, a felszínre kerülő, kopárrá lett karrmezők mészkővével most már közvetlenül is érintkezik az esők vize. A sziklaoldalakon lecsorgó tiszta esőlé kismértékben oldja a mészkövet. Hatására egymással többnyire párhuzamos, a lejtők irányainak megfelelő apró oldási medrek keletkeznek. Ez a karrjelenség azonban már lassan fejlődő és nem is biogenetikus! A formakincs neve: *csapadék-karr*, ill. *gravitációs karrvályulatok* (5. kép).

A karstdolinák biogén értelmezése

Ma már tudjuk, hogy jellegzetesen biogén karstformák a *dolinák* is (6. kép). Ezeket az olykor csak néhány m-es átmérőjű és mélységű, máskor pedig sok száz m széles és akár 40—60 m mélyre is nőtt tál formájú, vagy pedig üstszerű karstfelszíni mélyedéseket nemrégén még egyszerűen kőzetberogyásoknak vélték a kutatók, az alatt húzódó barlangok és oldásos üregek beszakadási jelenségeiként értelmezve őket. Később kiderült, hogy a töbröknek és a barlangoknak nem sok közük van egymáshoz. A barlangok ui. a mélyben csaknem mindig elkerülik azt a helyet, ahová a felszínen a karstmélyedések települtek.

A dolinak berogyásos származtatásának az is ellentmondott, hogy a kőzetrétegek a töbrök oldalain csaknem mindig megtartják *eredeti csapásirányukat* és *dőlésszögüket*, vagyis a dolina létrejötté során nem változik meg azoknak a jelenség-hordozó rétegeknek a helyzete, amelyekben a mélyedés kifejlődött (2. ábra).

Az ellentmondó megfigyelések feloldását és a töbröképződés korszerű értelmezését csakis a biogén karstosodás felismerése tette lehetővé. Eszerint a dolina nem egyéb, mint *kőzethioldásos felszíni mélyedés*, amely ott jön létre minden karst fennsíkon, ahol a legaktívabbakká válnak a kőzetet elfedő talajok. A kezdet-



2. ábra. A szálban álló mészkőszikláig „kitisztított” dolinák szelvénye jól mutatja, hogy a töbörképződés nem föld alatti üregek beszakadásának, hanem a kőzetfelület lokális kimarodásainak a következménye. A dolinában a rétegek dőlése változatlan marad. A rétegezetségi viszonyok a töbör alaprajzi és lejtőmeredekségi sajátosságait esetleg módosíthatják

Fig. 2. The profile of dolines “cleaned out” to the standing limestone rocks shows well that the doline formation is a consequence not of the collapse of cavities, but of the local eating-away of the rock surface. The angle of dip of the layers in the doline remain unchanged. The stratification conditions may possibly be modifiers of the base and slope features of the doline

ben csak lapos oldási mélyedésekbe a magasabb térszínek laza szerkezetű, humuszos talajrészecskéi könnyen összemosódnak, miáltal a karsztlaton az optimális korróziójú helyek kezdenek szűkebb körzetekre lokalizálódni. Az így fejlődésnek induló térszíni bemaródás öblében idővel még inkább koncentrálódik a talajközvetítésű kőzetfeloldási folyamat, hiszen a helyi üledékgyűjtő kádak szerepét is ellátó dolinák közötti kőzetes gerincekről a csapadék már egyre hatásosabban lemosa a talajt. A töbör viszonylagos továbbmélyülését siettetni az a körülmény is, hogy a dolinákat elválasztó mind domborubbá váló hátakon és nyergeken a karsztosodás dinamizmusa a szinte törvényszerű elkopárosodással együtt le is fékeződik.

Érdeemes egyébként elgondolkozni azon, hogy a dolinák továbbmélyülési folyamatának *elhalását* is az éltető talajbemosódások okozzák. Ha ugyanis egy töbör mélyén már nagyon sok talaj összehalmazódik, ez *vízzáró réteggé* is összetömörödhethet, ami lehetetlenné teszi a csapadékvíz további mélybe szivárgását. A hó- és esőle ilyenkor már nem a dolina fenekén megüledett talajon keresztül jut hozzá a mészkőhöz, hanem a töbör oldalainál, körülbelül ott, ahol a vastagabb talajok kiékelődnek a töböroldal felé. Az intenzív oldás zónája az öreg dolinában tehát leszűkül és kiszorul egy gyűrűszerű peremvonalra, amely most már csak a töbör oldalirányú növekedését, szélesedését munkálja. Az ilyen „be-fulladt” dolinára az Aggteleki-karszt Vörös-tava az egyik legbeszédesebb hazai példa (7. kép).

Természetesen akadnak egyes karsztvidékeken „barlangbeszakadásos” dolinák is, mint például a Morva-karszt Macochája vagy a szlovéniai Skocijani-barlang óriási szakadékgödre, ezek az abiogén formák azonban körkörös meredek sziklafalaikkal mindig biztonságosan elkülöníthetők a korróziós dolinák tálszerű öblös üstjeitől (8. kép).

Biogenetikus akkumulációs karsztjelenségek

A biológiai szabályozottságú karsztjelenségek sorában azonban nemcsak oldási formákkal találkozunk. Fel kellett ismernünk, hogy a legtöbb *karsztakkumulációs jelenségcsoport* is az élővilág tevékenységétől nyerte képződésének indítatását, dinamikáját, sőt olykor formakincsének minőségét. A barlangokban található legkülönbözőbb arculatú mészlerakódások, a kalcit *sztalaktitok* és *sztalagmitok*

A mészkőkarsztok legfontosabb jelenségeinek genetikai rendszere (JAKUCS L. 1979)

I. csoport		II. csoport		III. csoport	IV. csoport
A oszlop	B oszlop	A oszlop	B oszlop		
Biogén korróziós karsztjelenségek	Biogén korróziótól függő akkumulációs karsztjelenségek	Abiogén korróziós karsztjelenségek	Abiogén korrózióval kapcsolatban álló akkumulációs karsztjelenségek	Eróziós karsztjelenségek	Tektonikus és beszakadásos karsztjelenségek
1. Talaj alatti képződésű karrmezők	1. Barlangi cseppkövek	1. Gravitációs (csapadék, ill. esővíz-) karrok	1. Barlangi agyag-szedimentumok	1. Karsztvölgyek, mészkőszurdokok, karsztkanyonok	1. Közethasadékok, töréses barlangok
2. Gyökérkarrok, csatornák	2. Barlangi tetaráták	2. Barlangi karrok	2. Melegvízi forrás-mészkő	2. Patak- és folyóteraszok	2. Szakadék-dolinák
3. Oldásos kőzet-resek és kisebb üregek a felszín közelében	3. Hidegvízi forrás-mészkövek	3. Magasabb karszt-platók vertikális ki-fejlődésű kisebb barlangjai	3. Hidrotermális karsztásványok (gipsz, aragonit, barit stb.)	3. A poljék többsége	3. Beomlások barlang-termek
4. Egyes zsombolyok	4. Felszíni tetaráták, mésztufa képződmények	4. Hidrotermális barlangok		4. Természetes kőhidak	4. Egyes zsombolyok
5. Dolinák, dolinasorok	5. Felszíni cseppkő-képződés, trópusi tufafüggönyök	5. Hidrotermális kőzetelváltozások (porlódás)		5. Ponorok (vakvölgyes víznyelők)	5. A poljék kisebb hányada
6. Uvalák				6. Aktív és inaktív medres barlangok	
7. Mogote-ok				7. Emeletes barlang-rendszerek	
				8. Áramlási mélyedések, evorziós üstök, barlangi teraszok	
				9. Barlangi homok, kavics és kőgörgeteg-szedimentumok	

(9. kép), a különféle bekérgező cseppkövek, a barlangi mederágában keresztirányú gátakként kifejlődő mésztufa tetaráták (10. kép), de a karsztforrások körzetében a felszíni völgyszakaszban megjelenő mésztufa-felhalmozódások, így pl. a lillafüredi Palota-szálló (Bükk-hegység) alatti üreges forrásmészkő-domb, vagy a Plitvicei-tavak híres szépségű vizeses tufagátjai (11. kép), de a trópusi karsztok hegyoldalainak tufafüggőnyei is — valójában valamennyien biogén karsztjelenségek.

Ezen a minősítésen semmit sem változtat, hogy vannak közöttük közvetett biológiai szabályozottságú karsztszedimentumok, ahol csupán a kőzetoldási és oldat telítettségi oldal volt a biológiai folyamatok függvénye (ide tartoznak a barlangi mészkőlerakódások), de vannak közöttük az élőlények tevékenységét közvetlenül és másodsor is tükröző képződmények, amelyeknél az oldatból való mészkiválás módozatát is pl. a növényi asszimiláció szabályozza (ide tartoznak többek között a karsztforrások és karsztpatakok mésztufa felhalmozódásai).

Az abiogén felszíni poláris területek és a növényzettelen magashegységek barlangjaiban ezért nincsenek tehát cseppkövek, és ezért nem üleptítenek medreikben az itt eredő karsztforrások és patakok mésztufát sem. A dús vegetációjú trópusi karsztokban viszont már a felszínen is csodálatos gazdagságú cseppkő-képződmények keletkeznek, amelyek beburkolják és „kőbálvánnyá” változtatják a meredek sziklafalakon megkapaszkodó liánok, indák és iszalagok összefonódó zöld szövevényét (12. kép).

Az elmondottak összefoglaló áttekintésére készült táblázat (337. o.) a legfontosabb karsztjelenségek genetikai rendszertanát összegzi.

IRODALOM — BIBLIOGRAPHY

- BALÁZS D. 1963: Karsztgenetikai problémák (Problems of karst genesis). — Földr. Ért. No. 4.
- BALÁZS D. 1964: A vegetáció és karsztkorrózió kapcsolata (Relationship of plant cover to karst corrosion). — Karszt és Barlang.
- BÖGLI, A. 1956: Der Chemismus der Lösungsprozesse und der Einfluß der Gesteinsbeschaffenheit auf die Entwicklung des Karstes. — Report of the Commission on Karst Phenomena, IGU New York.
- BÖGLI, A. 1964: Die Kalkkorrosion, das zentrale Problem der unterirdischen Verkarstung. — Steir. Beitr. zur Hydrogeologie, Graz.
- CHOLNOKY J. 1916: Előzetes jelentés karszt tanulmányairól (Preliminary report on my karst studies). — Földr. Közl.
- CHOLNOKY J. 1928: A földfelszín formáinak ismerete (Knowledge of earth relief forms). — Budapest.
- CVIJIČ, J. 1895: Karst (Geographical monograph). — Beograd.
- CVIJIČ, J. 1926: Geomorfologija, Chapter 5: Oblici karsna erozije i karsna hydrographija. — Beograd.
- ERNST, L. 1965: A keveredési korrózió kérdéséhez (On the problem of mixing corrosion). — Karszt és Barlang.
- FRANKE, H. 1967: Bemerkungen zur Lösungsdynamik Kalk. — Mitt. des Verbandes Deutscher Höhlen- u. Karstforscher. Jahrg. 13, München.
- GAMS, I. 1964: Types of accelerated corrosion. — Proc. Int. Speleol. Conf. pp. 133—139, Brno.
- JAKUCS, L. 1959: Neue Methoden der Höhlenforschung in Ungarn und ihre Ergebnisse. — Die Höhle, Wien. No. 4.
- JAKUCS L. 1960: Az aggteleki barlangok genetikájára komplex forrásvizsgálatok tükrében (Genesis of the Aggtelek Caverns in the light of complex spring tests). — Karszt- és Barlangkutató.
- JAKUCS, L. 1967: Eine neue Erklärung der Denudationsvorgänge und der Morphogenetik der Karstlandschaften. — Acta Geogr. Szeged. Vol. VII.
- JAKUCS, L.: Evaluación del papel del clima en la morfología de los carsos. — Symposium XXX Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba, Serie Espeleológica y Carsológica — La Habana, Cuba, 1970. No. 7. 76—77. pp.
- JAKUCS, L. 1970: The Role of Climate in the Quantitative and Qualitative Control of Carstic Corrosion. — Acta Geogr. Szeged. Tom. X. Fasc. 1—8, 3—49. pp.
- JAKUCS L. 1971: A karsztok morfogenetikája. (Morphogenetics of Karst Regions). — Akad. Kiadó, Budapest. 310 p.

- JAKUCS, L. 1973: Die Rolle des Klimas in der quantitativen und qualitativen Regelung der Karstkorrosion. — Petermanns Geogr. Mitteil. 1—7. pp.
- JAKUCS, L. 1973: Differences of karst-formation processes in microareas. Acta Geogr. Szeged. Vol. XIII, 3—35. pp.
- JAKUCS, L. 1973: Dynamische Unterschiede des Verkarstungsprozesses in den Mikroräumen. — IGU Symp. on Karst Morphogenesis, Papers, Hungary, 153—208. pp.
- JAKUCS, L. 1973: The karstic corrosion of naturally occurring limestone in the geomorphology of our age. — IGU Symp. on Karst Morphogenesis, Papers, Hungary, 52—121. pp.
- JAKUCS, L.: The role of climate in the quantitative and qualitative control of karstic corrosion. — IGU Symp. on Karst Morphogenesis, Papers, Hungary, 1973. 122—152. pp.
- JAKUCS, L.: Genetic Types of the Hungarian Karst. — Karszt- és Barlang. Special Issue, 1977. 3—18. pp.
- JAKUCS, L. 1977: Morphogenetics of Karst Regions (Variants of Karst Evolution.) — Akad. Kiadó, Budapest. 263 p.
- JAKUCS P. 1956: Karrosodás és növényzet (Lapies formation and plant cover). — Földr. Közl. pp. 241—249.
- JAKUCS P. 1962: A domborzat és a növényzet kapcsolatáról (On the relationship of relief and plant cover). — Földr. Ért. pp. 203—127.
- KÉZ A. 1963: A Föld klimatikus geomorfológiai területei (Climatogeomorphologic regions of the earth). — Földr. Ért. pp. 214—133.
- LEHMANN, H. 1954: Das Karstphänomen in den verschiedenen Klimazonen. — Erdkunde, Bd. VIII. Bonn.
- LEHMANN, H. 1956: Der Einfluß des Klimas auf die morphologische Entwicklung des Karstes. — Rep. of the Comp. on Karst Phenomena. Int. Geographical Society, New York.
- MIOTKE, F. D. 1974: Carbon Dioxide and the Soil Atmosphere. — Abhandlungen zur Karst- und Höhlenkunde, Reihe A — Speläologie, Heft 9. 49 Seiten, München.
- RATHJENS, C. 1954: Karsterscheinungen in der klimatisch-morphologischen Vertikalgliederung des Gebirges. — Erdkunde, Bonn.
- ROGLIČ, J. 1960: Das Verhältnis der Flußerosion zum Karstprozeß. — Zeitschr. f. Geomorph., Vol. IV, Göttingen. No. 2.
- SMYK-DRYZAL 1964: Untersuchungen über den Einfluß von Mikroorganismen auf das Phänomen der Karstbildung. Erdkunde, Bonn. No. 18.
- SZABÓ P. Z. 1957: A karszt mint klimatikus morfológiai probléma (The karst as a problem of climatic morphology). — Dunántúli Tud. Gyűjtemény.
- VENKOVITS I. 1949: Leszivárgó csapadékvizek vegyi összetételének változásai (Changes in chemical composition in descending atmospheric waters). — Földt. Int. Évi Jelent.

KARSTS ARE BIOLOGICAL PRODUCTS

L. JAKUCS

Traditional explanation of the karstprocess

It is not an unknown phenomenon in the history of the natural sciences that axioms which are out of date and have been disproved stubbornly continue to survive for a long period in textbooks, lexicons and even handbooks. And, although the broader new facts have already revolutionized the viewpoint of specialists dealing with the topic in question at a research level, the earlier scientific "belief" that has become outdated predominates in the public opinion for a long time. This is precisely what has happened in recent times in connection with the interpretation of karstification and karst phenomena.

Even at present, the traditional textbook scheme interprets karst phenomena as *the rock-dissolving work of precipitation water*. However, as regards the essence of the matter this is erroneous. It has been proved that rainwater in itself has *scarcely any* dissolving action on limestone! The very weak limestone-dissolving activity of surface water resulting from snow and rain would in itself never be sufficient to give rise to the great variety of karst phenomena. In contrast with this, modern science has unambiguously demonstrated that most of the karst phenomena on the surface of the Earth reflect the effect of *the activity of the biological world*. Indeed, it has also been proved that even in some of the subsurface karst phenomena, such as cave dripstone formation, for instance, the most important transmitters of the genetic process are the biological factors. Karstification is thus a characteristic and exclusive feature of the Earth in our solar system, the extent and nature of the process being strictly proportional to the biological activity of the surface vegetation and the soil.

The generally-known, old interpretation of karsts was developed centuries ago, in the early days of science. The essence of this conception was that the water falling onto bare limestone rocks and permeating through the network of crevices and cracks in these, dissolves limestone by acting as weak carbonic acid, formed from the carbon dioxide brought with it *from the air*. As a consequence of the dissolution, the surface rocks display a special variety of forms; *lapies fields* develop, and the permeating water, by dissolving the rock and widening the cracks, causes the limestone to collapse repeatedly, so that bowl-shaped depressions, *dolines*, are formed on the plateaux. The water permeating ever downwards in the network of cracks in the limestone combines in the depths; it then continues its enhanced dissolution work to create wide cavities and *cavern water-courses*. Thus, all of the characteristic features of limestone hills (from the surface dolines to the caverns in the depths) were explained via the rock-dissolving action of the precipitation water.

Recognition of mechanical erosive model of cave formation

The classical karst theory received the first critical blow when, almost simultaneously on the various continents, research workers began to check the changes in chemical composition of the water permeating into the rock. It then turned out that this water is very quickly converted into a calcium-saturated solution, *at a depth of virtually only a few metres*. On permeating ever deeper, however, such a calcium-saturated solution is no longer capable (except at best under very special conditions) of dissolving more rock. Accordingly, in the vast majority of cases the water reaching caves at depths of a hundred metres or more is quite inactive as regards dissolution. Instead of carrying out further dissolution, the "karst water" permeating into the depths rather *deposits* the mineral substances transported in solution from above. Dripstones build up from the limestone sediments of millions of falling water drops. This means that *the formation of caves can in no way be attributed to the dissolving work of karst water permeating into the depths*.

It has been proved that the cavity system itself is always created in the interior of the limestone hill by the flow of some other watercourse, *originating from an external water-catchment*, and primarily by the *erosion* caused by the solid debris swept into the karst by streams. Hence, the cave is not a product of dissolution, but is a simple erosion streambed under the surface (*Pict. 1.*). The cave is therefore *not* unconditionally a karst phenomenon, since it is formed only in karsts which have a watercourse system transporting solid particles of debris from some source outside the karst.

Identification of decisive role of the soil-atmosphere

The final blow to the traditional karst explanation was given by the extensive chemical control of the water permeating in. Concrete chemical analyses have demonstrated that the average carbon dioxide content of the atmosphere of the Earth is only 0.03%, i.e. it is so low that a litre of precipitation water is not able to dissolve even a milligram of carbon dioxide from the atmosphere. Accordingly, the carbon dioxide taken up from the free atmosphere causes *practically no increase* in the limestone-dissolving ability of chemically pure (distilled) water (only 10—15 mg limestone per litre). If this were the only factor, therefore, it is hardly likely that the wonderful dissolution karst phenomena in limestones would have developed on the Earth! The loss of 10—15 mg rock per litre of water is virtually negligibly small. All other rocks (even granite) dissolve to almost the same extent in water.

Water samples collected from the systems of crevices in the carbonate rocks of karsts, or from the interior of caves themselves, however, show a totally different picture. Their dissolved calcium content may reach even several hundred (sometimes a thousand) milligrams per litre.

Where then does the water acquire such a large amount of carbon dioxide so as to permit it to dissolve such a mass of limestone? In all cases the examinations have clearly indicated this source to be *the soil*. Where the rock is covered by a soil layer, the precipitation must first permeate through this cover before it can reach the rock.

However, in the gas mixture occupying the porous space in soil there is much more carbon dioxide than in the free atmosphere. Here the proportion of this gas is almost always more than 1%, while fairly often it is in excess of 10%. That is, compared to the free atmosphere, at least 30 times, but frequently 300 or more times more carbon dioxide accumulates in the soil atmosphere.

There is no doubt, therefore, that karst water with a high carbonic acid content and with the ability to dissolve much limestone acquires its aggressivity not from the air, but from the soil covering the karst. The more the carbon dioxide formed and accumulated in the soil, the quicker and the more effective will be the process of the destructive dissolution of the limestone, karstification, beneath it.

The carbon dioxide in the soil is produced by the millions of tiny microorganisms living there. In other words, this means that the tempo of karstification in some region is governed not only by the quantity of precipitation permeating in, but even more importantly by the activity of the biological processes in the soil layer covering the surface to some depth. That is, the dissolution of the limestone, karstification, is essentially a formal reflection in the bedrock of the phenomena of biological and chemical development of the pedosphere covering the rock.

The attractive suggestion of the Cvijić and ČOLNOKY school is similarly erroneous, therefore. This stated that the reason for the karstification of the *Dinaric Karst* was that, following the devastation of the woods there, the rainwater washed away the soil covering the surface, and thus the now bared limestone could be freely dissolved by the precipitation. In fact, just the opposite of this argument holds good: The development of the karst phenomena, the corrosion of the dolines and the production of the bizarre rock formations of the lapies, all occurred when the mountains were covered by woods and soil. The later baring of the slopes merely revealed all this by making it visible, but at the same time it simultaneously decelerated the dynamics of karst development itself.

Naturally, the bioactivity of karst soils is not restricted simply to the carbon dioxide production of the various bacterium and fungus populations living in the soil; the chemical effects of the roots under the grasses, bushes and trees living on the soil surface, the decomposition of organic waste, fallen foliage and animal remains rotting in the soil, and many other processes too, may all serve as the sources of carbon dioxide and other acids. Soils with higher bioactivities can be looked on almost as chemical factories, where in the main a huge variety of different organic acids are produced. The most important of these are formic acid, acetic acid, oxalic acid, lactic acid, propionic acid, various fulvic and crenic acids, humic and huminic acids, etc. Although the main role is played by carbonic acid, to various extents these compounds too take part in the dissolution of limestone, since they are also dissolved by the water permeating through the soil and transported to the limestone bedrock.

Clima-conditions of the bioactivity of soils and the plant species adequations of karstforms derived from solution

Just as is the situation for the living organisms we know so well directly, the invisible living world of the soils has its own favourable and unfavourable living conditions. The biological functions of soil microorganisms react very sensitively to variations in temperature, for example. Even the fluctuations in the daily temperature are followed sensitively by a change in the number of bacteria in the soil. Long series of experiments and a large amount of observation material permit the finding, however, that the optimum temperature itself is still not a sufficient condition for stimulation of the population of a soil microorganism; this can be ensured only by the simultaneous effects of the temperature and soil-moisture optima, naturally under conditions of satisfactory soil aeration. The decrease or increase of either factor immediately results in a marked decrease in the number of bacteria. Thus, the chemical production of acid in the soil is extremely climate-sensitive.

In tropical soils with favourable temperatures and moistures, therefore, even several hundred times as much carbon dioxide and other organic acids may be formed as in the soils of karsts in the temperate zones, for instance. In turn, however, the carbonic acid production in temperate zone karst soils is many times higher than that of the sparse soils covering the cool-surfaced karsts in the frigid zones and on high mountains. It is obvious, therefore, that of necessity there are tremendous differences in the intensities of karstification in the different climatic areas (tropics, desert, Mediterranean, temperate oceanic, high mountains and other cold regions). As a consequence of the climatic sensitivity of the biogenic factors relating to the soil, the aggressivity of water as regards the dissolution of limestone also becomes a function of the climate (Fig. 1.). We may be certain that fundamentally it is these differences which explain the striking differences in order of magnitude and the very characteristic regional morphologic differences of the karst forms to be seen in those parts of the Earth with different climates.

In our temperate climate, biogenic dissolution is the main genetic factor of chiefly the subsoil lapies (e.g. root lapies) and the dolines. Microorganism populations differing with regard to the species develop in the rhizospheres, the root networks of the various plants, grasses, bushes, trees, etc. growing side by side in the soil. As a consequence, there will also be qualitative and quantitative differences in the chemical processes in neighbouring rhizospheres or soil regions, and this leads to differing acid and gas concentrations in adjacent parts of the soil. The degrees of aeration of the individual soil regions depend on the permeability of the soil surface, its moisture content, its compass exposure, the thickness of the bioactive soil section, and many other factors; this likewise influences the concentrations of liquid and gaseous compounds accumulating in the soil. Hence, even within a few centimetres, extremely great differences may arise in the chemical composition of water permeating through the soil. This differentiation in chemical aggressivity is next reflected in the irregular dissolution forms of the rock, or in the bizarre formation of rock lapies.

Biogenetic and abiogenetic karren-formations

The bacterium world of the soil is always much denser around the roots than elsewhere. For this reason, in time the roots penetrating into the initially fine cracks in the rock enlarge these into wider, meandering dissolution channels, which are usually round or oval in cross-section. Limestone riddled with such root channels is *root lapies* (Pict. 2.), while extensive rocky surfaces which have lost their soil and become bare are generally known as *lapies fields*.

In the tropics, where both the vegetation cover and the biosphere concealed by the soil exhibit much more dynamic developments, the effects of biogenic lapies formation are naturally much higher in proportion, too. Here the channels of the root lapies often penetrate the limestone to a depth of even 20–25 m, and the root corrosion may lead to a rock loss by dissolution of as much as 60–70% (Pict. 3.). The strikingly high intensity of biogenic karstification may be illustrated excellently by the example of trees boring their way through thick limestone layers. In Cuba (but elsewhere in the tropics too), many caves are known where trees have grown through a rock ceiling several metres thick, via chimney channels that they themselves have carved out (Pict. 4.).

Otherwise, it is not a necessity that the karsts should become barren; indeed, it is not even a general symptom. However, if this has nevertheless occurred (generally as a result of incorrect human intervention), the precipitation water will then come into direct contact with the limestone of the bared lapies fields on the surface. Trickling down the rock sides, this pure rainwater dissolves the limestone to only a slight extent. Its effect is to produce small dissolution channels, generally parallel to one another and corresponding to the directions of the slopes. This lapies phenomenon, however, is a slowly-developing one, and is not biogenetic! The name of this formation is *precipitation lapies* or *gravitational lapies furrows* (Pict. 5.).

Biogenetic explanation of karst dolines

It is now known that *dolines* too are characteristically biogenic karst forms (Pict. 6.). These are dish-shaped or cauldron-like karst-surface depressions, sometimes only a few metres in diameter and depth, but at other times several hundred metres across and even 40–60 metres deep; until recently, research workers considered them to be due merely to the collapse of the rock, interpreting them as caving-in phenomena of the underlying caverns and dissolution cavities. It turned out later that dolines and caves do not have much in common with one another. Caves are almost always situated elsewhere than where the karst depressions are located on the surface.

The caving-in origin of dolines is also contra-indicated by the fact that the rock layers on the sides of the dolines almost always retain their *original strike direction and dip angle*. That is, in the course of the formation of the doline there is no change in the situation of those phenomenon-carrying layers in which the depression developed (Fig. 2.).

The resolution of the contradictory observations and the up-to-date interpretation of doline formation were made possible only by the recognition of biogenic karstification. According to this, a doline is simply *a surface depression caused by dissolution of the rock*, formed at those points on all karst plateaux where the soil covering the rock becomes the most active. Initially, the loose-structured humus-containing soil particles of the higher terrains are easily washed together into merely flat dissolution depressions, whereby the optimum-corrosion sites on the karst plateau begin to be localized into more restricted areas. In time, the rock-dissolution process (mediated by the soil) is concentrated to an increasing extent in the surface corrosion bowl which begins to develop, since the precipitation is able to wash down the soil ever more effectively from the intermediate ridges between the dolines, which also play the role of local sediment-catchment basins. The relative deepening of the doline is accelerated further by the circumstance that, simultaneously with the washing-away of the soil from the ridges and saddles separating the dolines, these ridges become increasingly more prominent, as the dynamism of karstification is slowed down there in parallel with the almost automatic barring processes.

It is worth-while reflecting that the *cessation* of deepening of dolines may also be caused by the otherwise essential washing-in of the soil. If a very large quantity of soil accumulates at the bottom of a doline, it may become compressed into an *impermeable layer* which prevents the further infiltration of precipitation water into the depths. In such a case the precipitation water can no longer come into contact with the limestone through the soil deposited on the bottom of the doline; instead, it rather does so at the sides of the doline, where the soil thins out. The zone of intense dissolution in the old doline is therefore restricted to a ring-like area around the edge, and this results almost only in the growth of the doline in the lateral direction, i.e. in its widening. One of the most illustrative examples of such a "choked" doline in Hungary is the Vöröstó (Red Lake) on the Aggtelek Karst (Pict. 7.).

Naturally, in certain karst areas there do exist "cavity-collapse" dolines too, such as the famous Macocha on the Moravian Karst or the huge gorge of the Skocján cave in Slovenia. However, with their elliptic steep rock-walls these abiogenic forms can always be distinguished with certainty from the bowl-like cauldrons of corrosion dolines (Pict. 8.).

Genetic system of the most important phenomena of limestone karsts (L. JAKUCS, 1979)

Group I.		Group II.		Group III.	Group IV.
Column A	Column B	Column A	Column B		
Biogenic corrosional karst phenomena	Accumulational karst phenomena dependent on biogenic corrosion	Abiogenic corrosional karst phenomena	Accumulational karst phenomena connected with abiogenic corrosion	Erosional karst phenomena	Karst phenomena due to tectonic and collapse
1. Lapies fields formed under the soil	1. Cave dripstones	1. Gravitational (precipitation or rain-water) lapies	1. Cave clay sediments	1. Karst valleys, limestone gorges, karst canyons	1. Rock fissures, fissure caves
2. Root lapies. channels	2. Cave tetaratas	2. Cave lapies	2. Hot-water springs limestone	2. Stream and river terraces	2. Gorge dolines
3. Dissolutio rock craks and small cavities in the vicinity of the surface	3. Cold-water spring limestones	3. Vertically-developed small caves of higher karst plateaux	3. Hydrothermal karst minerals (gypsum, aragonite, barite, etc.)	3. Most poljes	3. Cave halls due to collapse
4. Kartain avens	4. Surface tetaratas, calcareous tufa formations	4. Hydrothermal caves		4. Natural rock bridges	4. Other avens
5. Doliens, doline series	5. Surface dripstone formation, tropical tufa curtains	5. Hydrothermal rock changes (crumbling)		5. Ponors (blind-valley swallow-holes)	5. A small proportion poljes
6. Uvalas				6. Active and inactive bed caves	
7. Mogote				7. Multilevel cave systems	
				8. Flow depressions, evorsion cauldrons, cave terraces	
				9. Cave sand, gravel and stone-avalanche sediments	

Biogenetic accumulative karst-phenomena

Among the karst phenomena displaying biological regulation, however, not only dissolution forms are encountered. It must be recognized that the majority of *karst accumulation phenomenon groups* acquired the impulse for their formation, the dynamics of this process, and even at times the nature of the forms, from the activity of the living world. In caves, it is possible to find limestone depositions with the most varied appearances: calcite *stalactites* and *stalagmites* (*Pict. 9.*); the various *encrusted dripstones*; *calcareous tufa tataratas* developing as weirs in the cave streambed (*Pict. 10.*); *calcareous tufa accumulations* occurring in surface valley sections in the environment of karst springs, such as the limestone hill with its spring cavern under the Palota-szálló (Palace Hotel) at Lillafüred in the Bükk Hills in Hungary, or the famous and beautiful waterfall tufa weirs on the Plitvice Lakes in Yugoslavia (*Pict. 11.*); and even the *tufa curtains* on the hill-sides of tropical karsts. In fact, these are all biogenic karst phenomena.

Nothing is changed in this classification by the fact that there are among them karst sediments displaying *indirect* biological regulation, where only the rock dissolution and the solution saturation aspects were functions of the biological processes (e.g. limestone deposition in caves); they also include formations which reflect the activity of the living world both *directly* and secondarily, where the *modification of the separation of limestone* from solution, too is regulated by plant assimilation, for instance (e.g. the calcareous tufa accumulations of karst springs and karst streams).

It is for this reason, therefore, that there are no dripstones in the caves of the abiogenic-surfaced polar regions and of the high vegetation-free mountains, and *it is for this reason* that the calcareous tufa of the karst springs and streams originating here is not deposited in their beds. In tropical karsts with abundant vegetation, on the other hand, a wonderful variety of dripstone formations is produced even on the surface; these enclose and „petrify” the intermeshed green network of lianas, tendrils and the like clinging to the steep rock walls (*Pict. 12.*)

To summarize what has been said, the genetic taxonomy of the most important karst phenomena have been tabulated.