

JAKUCS LÁSZLÓ

A karsztokról 34 tételben

A hagyományos morfológiai iskolák szerint a karszt a mészkő szénsavas oldása során keletkező jelenségcsoport, illetve formaegyüttes. Cikkünk másféle értelmezéssel közelíti meg és főként a sérülékenység szempontjából is vizsgálja ezt az igen érdekes geomorfológiai-ökológiai kérdést.

1. tétel: Minden természeti táj arculatában azoknak az eseménysorozatoknak az összegzett eredménye fejeződik ki, amelyek a táj múltjában és jelenében szerepet játszó tényezők működési arányaiban és sorrendjében megnyilvánultak. Ebbe beletartoznak az adott térség sajátos kéregszerkezeti és kőzettípusai is, hiszen a területi tektonikai és kőzetminőségi változatok ugyanúgy a regionálisan eltérő kéregépítő hatások következményei, mint ahogyan a külső erők munkájának nagyszámú csoportosulási változata.

2. tétel: A tájak mai geomorfológiai arculatát a jelenlegi és múltbeli tájfejlesztő tényezők eltérő hatékonysággal és maradandósággal formálták. Példa rá az Alpok negyedidőszaki glaciális hatásoknak kitett magashegységi régiója vagy a Kanadai pajzs jégtakaró által lecsiszolt felszíne, ahol alig maradt valami a jégkorszak előtt kialakult formakincsből. A sziklás óceáni partszakaszokon az abrázió hatékonysága is olyan fokú lehet, hogy igen rövid idő alatt minden korábban kialakult parti formakincset megsemmisíthet.

Szép példái vannak a geomorfológiai formatartási konzervatívizmusnak is. Utaljunk például a hazai vízrajzi hálózat nyomvonalainak fejlődésére, amelyre semmiféle értékelhető hatást nem gyakorolt a löszképződés. Mindez annak a jele, hogy különböző geomorfológiai tájbélyegeknél szélsőséges fokú lehet az elenállási mértéke az újabb felszínformáló hatásokkal szemben.

3. tétel: Azokat a tájtípusokat, amelyek korunkban sajátosan érvényesülő morfogenetikai faktorokra különösen érzékenyen reagálnak és e tényezők hatása nyomán megváltoztatják korábbi fejlődési irányukat, tempójukat, *sérülékeny tájtípusoknak* kell tekintenünk. Olyan tájformáló tényező, amely a földtörténet során a tájfejlődésben nem játszott (mert

nem is játszhatott) szerepet, mindössze egyetlenegy létezik: az emberi társadalom szerepe, az *antropogén effektus*.

4. tétel: Messze meghaladná e cikk célkitűzéseit, ha valamennyi fontosabb tájtípus fejlődésében értékelni kívánnánk az antropogén hatás szerepét. Most csak annak a leszögezésére vállalkozhatok, hogy a *karsztok a Föld legsérülékenyebb tájtípusai* közé tartoznak.

5. tétel: A karsztok rendkívüli sérülékenysége abból adódik, hogy többségük *igen bonyolult funkcionális táj-ökológiai rendszer, mely érzékeny egyensúlyok kapcsolataiból tevődik össze*. A karsztot számos közettani, tektonikai, klimatológiai, hidrográfiai, kémiai, fizikai és biológiai tényező kölcsönhatásának kombinációi határozzák meg. Régen el kellett vetnünk a karsztnak a hagyományos definícióit, amelyek szinte valamennyien megegyeztek abban, hogy az oldható alapanyagú kőzetet (többször a mészkövet) és a vele érintkezésbe kerülő oldóképes vizet tekintették a karsztjelenségek genetikai alapfeltételeinek. Vagyis karsztok ott keletkeznek, ahol a víz és a felszíni (vagy felszín alatti) kőzetfelületek hosszabb időtartamú érintkezéséből sajátos formájú korróziós alakzatok, karsztjelenségek tudnak kifejlődni. Ezek a klasszikus meghatározások azonban nem fedik le a karsztok valamennyi folyamat- és jelenségcsoportját, hiszen nincsenek tekintettel például a víz- és kőzetfelület érintkezésének dinamikájára, vagy az egymással kontaktusba lépő szilárd és folyékony fázisok hőmérsékletére, vegyi karakteristikájára sem.

6. tétel: A Karsztok morfogenetikája c. könyvemben (1971) már foglalkoztam a *karsztdefiníciók* kérdésével, s rámutattam, hogy igazán jó meghatározást azért nagyon nehéz készíteni, mert a karsztok a természetben több-

tényező alakulatok. Rengeteg változatuk létezik, amelyekben a víz kőzetoldó szerepén kívül (vagy anélkül) más és más karsztalakító tényezők is szerephez jutnak, olykor uralkodó vagy kizárólagos nagyságrenddel. A karsztosodás fogalmát *nem lehet kisa-játítani csupán a víz kőzetoldó munkájára*, hiszen ismerünk olyan karsztjelenségeket (pl. szakadékdolinák, eróziós mészkővölgyek és barlangok stb.), amelyeknek nem kialakulási előfeltétele a kőzet vízben való oldhatósága. Például a hidrotermális karsztjelenségek jó része is ebbe a kategóriába tartozik.

7. tétel: A hagyományos karsztértelmezés azonban még a *korróziós karsztfolyamatok* megvilágításában is roppantul szegényes és félreérthető, mivel a karsztjelenségek kialakulását a csapadékvíz kőzetoldó munkájának tulajdonította. Lényege, hogy a kopár mészkősziklára hulló és annak hasadékaiban, réshálózatában elszivárgó víz, a levegőből magához vett szén-dioxid révén (gyenge szén-savként) feloldja a mészkövet. Az oldás eredményeként a felszíni sziklákön különleges formakincs jön létre, *karrmezők* fejlődnek ki, illetve a beszivárgó víz kőzetrest tágító oldásának eredményeként megismétlődő mészkőberogyások is keletkeznek, amelyek túl alakú, üstszerű bemélyedéseket, *dolinákat* formálnak a platónkon. A mészkő réshálózatában egyre lejjebb szivárgó vizek a mélyben összefolynak, s összegződött oldó munkájukkal ott már tágas üregeket, barlangi vízjáratokat is kioldanak. Vagyis a mészkőhegységek valamennyi sajátos formáját az esővíz kőzetoldó hatásával magyarázták. *Ez a karsztgenetikai modell megbukott*, ma már védhetetlen, tarthatatlan.

8. tétel: Az első kritikus csapás akkor érte a klasszikus karsztelméletet, amikor a kőzetbe szivárgó esővíz vegyi összetétel-változásait is ellenőrizni kezdték a kutatók. Ekkor bizo-

nyosodott be, hogy a mészkőzetek réseibe szivárgó vizek szinte már néhány méter mélységben mészteltetett oldatokká válnak. A telített mészoldat még mélyebbre szivárogva már nem képes – legfeljebb csak speciális körülmények között – további kőzetet feloldani. Így azután a többnyire száz (vagy több) méter mélységben rejtőző barlangig is alászivárgó víz ott már a legtöbb esetben oldásképtelen. A leszivárgott „karsztvíz” újabb oldás helyett 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 szivárgott karsztvizek oldó munkájára.

Fel kellett ismernünk, hogy magát az üregrendszeret mindig valami más, külső, idegen vízgújtóról származó vízfolyás sodra mossa ki a mészkő-hegység belsejében, mégpedig első-sorban a karsztba ömlő patakok (folyók) sodorta szilárd hordalékok csi-szoló-koptató erőzójával. Vagyis a barlang nem oldástermék, hanem erő-zios patak völgy: folyómeder a felszín alatt. Egy nagy barlangrendszer tehát nem is feltétlen karsztjelenség, hiszen csakis olyan karsztokban keletkezhethet, amelyeknek karszton kívüli táplálású, és onnan szilárd hordalék-szemcséket magával sodró vízfolyás-rendszerük is van.

9. tétel: A hagyományos karsztmagyarázat számára a kegyelemdőfést a beszivárgó vizek kémiai vizsgálata adta meg. Megerősítették, hogy a légkör átlagos szén-dioxid-tartalma mindössze 0,03%, vagyis olyan minimális, hogy a légkörből a csapadékvíz literenként még egyetlen mg szén-dioxidot sem képes elnyelni. A szabad légtérből felvett szén-dioxid tehát gyakorlatilag nem növeli meg a vegyileg tiszta (desztillált) víz mészkőoldó étvágyát, ami egyébként így literenként csupán 10–15 mg mészkő feloldásához elegendő. Így aligha fejlődtek volna ki a Földön a mészkövek pompás oldásos karsztjelenségei!

10. tétel: A karsztok repedésrendszeréből vagy éppen a barlangok belsejéből gyűjtött vízminták azonban egészen mást mutatnak. Literenként több száz, néha ezer (!) mg-ra is felmegy az oldott mésztartalmuk. Hol szerzi be a víz azt a rengeteg szén-dioxidot, amely ekkora tömegű mészkő feloldását is lehetővé teszi? A vizsgálatok azt bizonyították, hogy a talajban. Ahol a kőzetet talajréteg is fedi, ott a csapadéknak előbb át kell szivárognia a talajtakarón. A talajok

pórusait kitöltő gázelegyben sokkal több CO_2 van, mint a szabad levegőben. E gáz aránya itt majdnem mindig több 1%-nál, nemritkán 10%-nál is több lehet. Vagyis a légkörhöz képest legalább harmincszor, vagy sokszorta több szén-dioxid gyűlik össze a talajatmosferaiban.

Minél több szén-sav keletkezett és halmozódott fel a talajban, annál gyorsabb ütemű és hatékonyabb lesz a mészkő oldódásos lepusztulása. A karsztfejlődés tehát nem a kőzetfelületnek és a szén-savszegény esővíz találkozásának az eredménye, hanem a kőzet, a borító talajszféra és a benne termelődő mészagresszív vegyületek egymásra hatásának produktuma, amely a víz közvetítésével megy végbe.

11. tétel: A talajbéli szén-dioxidot a mikroorganizmusok termelik. A karsztosodás ütemét a beszivárgó csapadékmennyiségen kívül legfontosabbnak a felszín 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 formái visszatükröződése.

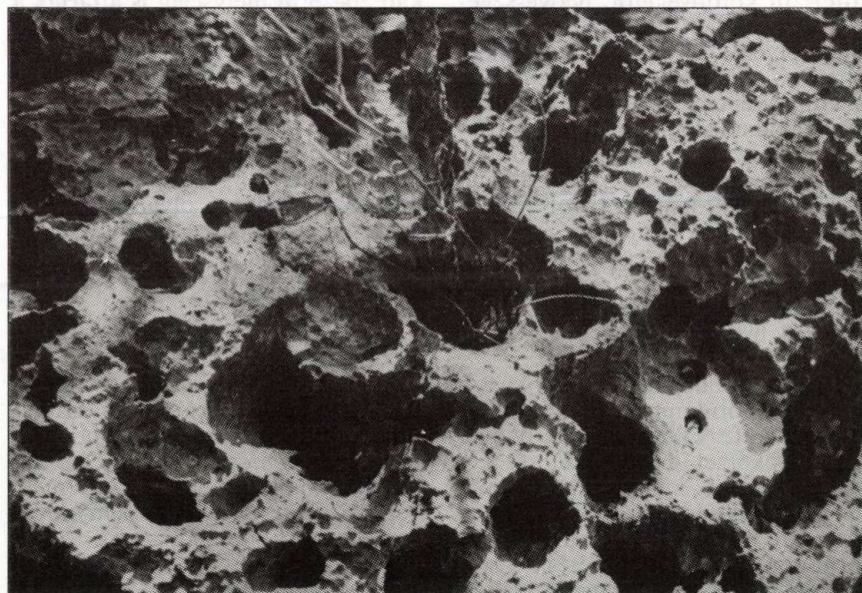
12. tétel: Hibás a klasszikus karsztiskoláknak (Cvijić, Cholnoky stb.) az a tetszetős állítása, amely szerint a dinári Karszt-hegység azért karsztosodott el, mert az ottani erdők letarolását követően a talajokat is lemosta az eső, s a kopárrá vált mészkövet már

szabadon oldhatja a csapadék. A tétel pontosan fordítva igaz: a karsztjelenségek fejlődése, a dolinák bema-ródása és a karrok bizarr sziklaalakzatának kifejlődése a hegység erdős időszakában, talajborítás alatt ment végbe, s a lejtők későbbi elkopá-ro-sodása mindezt csupán feltárta, láthatóvá tette, de magát a karsztfejlődés dinamikáját egyidejűleg le is fé-kezte.

13. tétel: A karsztalajok bioakti-vitása nem korlátozódik csupán a talaj-ban élő különféle baktérium- és talaj-gomba populációk szén-dioxid-ter-melésére, hanem a gyökérzet vegyi hatásai, vagy a szerves hulladékok lebomlása is szerepelhet szén-dioxid-és egyéb savtermelő tényezőként. A nagyobb bioaktivitású talajok valóságos vegyi üzemeknek számítanak, ahol hangyasav, ecetsav, oxálsav, tej-sav, propionsav, humusz- és humin-savak termelődnek. A mészkő oldá-sában (a szén-sav mellett) ezek is részt vesznek, hiszen a talajon átszivárgó víz őket is feloldja, s a mészkőalap-hoz juttatja.

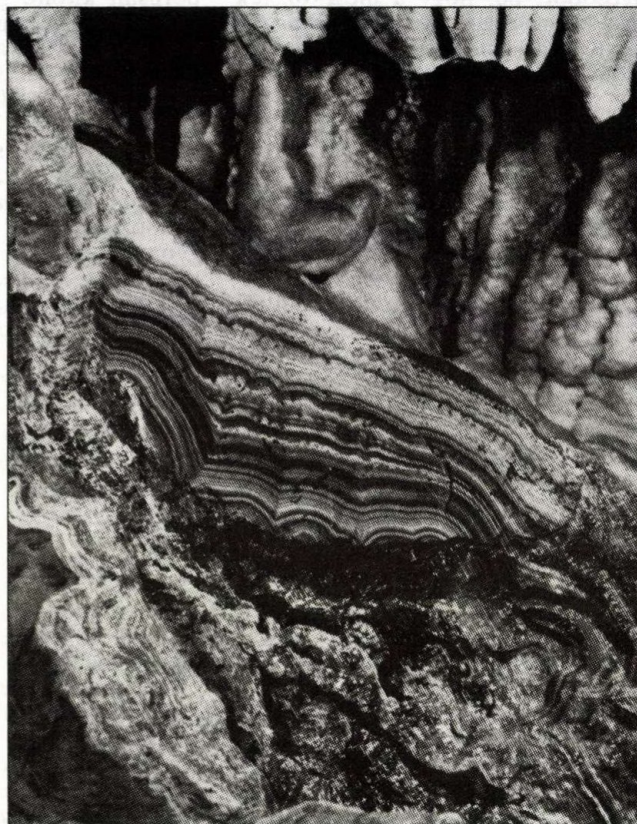
14. tétel: Az egymás mellett élő növé-nyek gyökérhálózataiban, a rizoszfé-rákban a növényfajok szerint eltérő mikroorganizmus-népeség fejlődik. Következésképp minőségi és meny-niségi különbségek lesznek a szom-szédos rizoszféra vagy talajtérsegek kémiai folyamataiban is, ami eltérő sav- és gázkoncentrációkat produkál. Valóságos növényfaji adekváció (megfelelőség) jön létre, ami abban

A gyökércsatornákkal átjárt mészkősziklát gyökérkarnak nevezzük. Ennek a mészkőtömegnek a biogén oldásos anyagvesztése 65–68%-os





Többméteres vastagságú kemény mészkőrétegen keresztülnőtt fa Kuba egyik barlangjában



A barlangi cseppkövek is biogén karsztképződmények, mert csakis olyan barlangokban keletkeznek, amelyek fölött a felszínen biogén karsztkorrózió is van. A cseppkő rétegeinek színeltérései az érzékeny egyensúlyú talajfolyamatok módosulásaira utalnak

fejeződik ki, hogy az egyes növényfajok rizoszférajára jól jellemezhető fokú talajbeli CO_2 -termelés lesz jellemző. Ennek maximuma az egyes növényeknél a vegetációs periódus különböző fázisaihoz kötődik. A talajfelszín kötöttségétől, nedvességétől, égtáji kitettségétől, a bioaktív talajszelvény vastagságától stb. függ az egyes talajtérsegek szellőzőtsége is, ami ugyancsak befolyásolja a talajban felhalmozódó folyékony és gáznemű vegyületek koncentrációját. Így a talajon átszivárgó víz kémiai összetételében már kis távolságokon belül is nagyfokú *eltérések* jöhetnek létre. Ez a vegyi agresszivitásbeli különbözőség tükröződik vissza a kőzet szabálytalan oldásformáiban, a sziklakarrok bizarr alakzatában.

15. tétel: A talaj baktériumvilága a gyökerek körül mindig jóval sűrűbb, mint másutt. A kőzet réseibe benyomuló gyökérzet idővel a szűk réseket tágas oldásos kanálisokká, kerek vagy ovális szelvényű kanyargós csatornákká bővíti. Az ilyen gyökércsatornákkal átluggatott mészkő a *gyökérkarr*, míg a talaját elvesztett, elko-

párosodott, kiterjedt sziklás felszínét általában nevezzük *karrmezőknek*.

A trópusokon sokkal nagyobb arányúak a biogén karrosodás hatásai is. A gyökérkarrok csatornáit itt nem ritkán 20–25 m mélységig is átjárják a mészkövet, miközben akár 60–70%-os oldásos kőzetvesztést is előidézhet a gyökérkorrózió. A *biogén karsztosodás feltűnően nagy intenzitását* kitűnően érzékelhetjük a vastag mészkőrétegeken átfurakodó fák példáján. Kubában, de a trópusokon másfelé is számos olyan barlangot ismerünk, amelyeknek több méter vastag sziklamennyezetén fák nőttek keresztül a maguk vájta keskeny kéménycsatornáiban.

16. tétel: A talajok láthatatlan élővilágának is megvannak a maga életfeltételei. A talajbeli mikroorganizmusok életfunkciói igen érzékenyen reagálnak a *hőmérséklet-változásokra*, vagyis a talajban működő savtermelő vegyi üzem rendkívüli módon *klimáérzékeny*.

A kedvező hőszintű és nedvességtű trópusi talajokban ezért akár száz-

szor vagy több százszor annyi széndioxid is keletkezhet, mint pl. a mérsékelt égövi karsztok talajaiban. De ez utóbbinak a szénsavtermelése is sokszorosa a hideg égövek vagy a magas hegységek hűvös felszínű karsztját borító gyér talajokénak. Óriási különbségek vannak a különböző klímaterületek *karsztosodási intenzitásában* is. Hiszen a víz mészkőoldó agresszivitása maga is a *klima függvényévé* válik. Alapvetően e különbségek magyarázzák meg a Föld különböző éghajlatú részein látható karsztformák nagyságrendi és sajátos területi-morfológiai különbségeit.

17. tétel: A mi éghajlatunk alatt a biogén oldás a *dolináknak* is fő genetikai tényezője. Ezeket a karsztfelszíni mélyedéseket nemrégig még egyszerűen kőzetberogyásoknak vélték a kutatók, az alatt húzódó barlangok és oldásos üregek beszakadási jelenségeiként értelmezve őket. Kiderült, hogy a töbröknek és a barlangoknak nemcsak közük van egymáshoz.

A dolinák berogyásos származtatásának az is ellentmondott, hogy a kőzetretegek a töbrök oldalain csak-

nem mindig megtartják *eredeti* csapásirányukat és dőlésszögüket, vagyis a dolina létrejötté során nem változik meg azoknak a rétegeknek a helyzete, amelyekben a mélyedés ki-fejlődött.

Az ellentmondó megfigyelések feloldását és a töbörképződés korszerű értelmezését csakis a biogén karsztosodás felismerése tette lehetővé. Eszerint a dolina nem egyéb, mint *közetkioldásos felszíni mélyedés*, amely ott jön létre, ahol a legaktívabbakká válnak a kőzetet elfedő talajok. A kezdetben még lapos kioldási közethomorulatokba a magasabb térszínnek laza szerkezetű, humuszos talajrészecskéi könnyen összerosodnak, miáltal a karsztplatón az *optimális korróziójú helyek* kezdenek szűkebb körzetekre lokalizálódni. Továbbmélyülését siettetí az a körülmény is, hogy a dolinákat elválasztó mind meredekebb lejtőjű hátakon és nyergeken a karsztosodás dinamizmusa a talaj és a vegetáció itteni elsilányosodásának mértékében le is fékeződik.

18. tétel: A karsztjelenségek sorában nemcsak oldási formákkal találkozunk. A legtöbb *karsztakkumulációs jelenségcsoport* is az élővilág tevékenységétől indított, s kapta olykor formakincsének minőségét. A barlangi mészlérakódások, a trópusi karsztok hegyoldalainak tufafüggőnyei is – valójában biogén karsztjelenségek.

E minősítésen nem változtat, hogy vannak közöttük *közvetett biológiai szabályozottságú* karsztüledékek, ahol csupán az oldat agresszívvá válásának és a kőzet feloldódásának a fázisai voltak a bioökológiai folyamatok függvényei, de vannak olyanok is, amelyeknél az oldatból való *mész-kiválás fázismódozatát* is pl. a növényi asszimiláció szabályozza (pl. a karsztforrások és a karsztpatakok mésztufa-felhalmozódásai).

Az abiogén felszíni poláris területek és a növényzettelen magashegységek barlangjaiban *ezért nincsenek* cseppkővek, ezért nem ülepítenek medrekben az itt eredő karsztforrások mésztufát sem. A dús vegetációjú trópusi karsztokban viszont már a felszínen is csodálatos gazdagságú cseppkőképződmények keletkeznek.

19. tétel: A trópusi és a mérsékelt égövi karsztok természetes arculata a talajjal és vegetációval fedett mészkőhegység. A *mészkőtérzsinék elkopárosodása* ezekben a klímaövekben mindenkor a *természetes karsztökológiai állapotok egyensúlyának meg-bomlását*, a karsztfejlődési folyamat

erőteljes elhalását jelenti. Természeti okok miatt keletkezett kopár karsztokkal intrazonális fekvésben csupán sivatagokban ill. a magashegységek és poláris területek mostoha klímaviszonyú térségeiben találkozhatunk. Az elkopárosodott karszt pl. a Balkánon vagy Magyarországon természetellenes jelenség, aminek esetenként *antropogén indítékai* vannak.

20. tétel: Európa mérsékelt övi karsztjai helyenkénti elkopárosodásának leggyakoribb oka a *túllegeltetés*. Görögország, Montenegró vagy Dalmácia szinte végeláthatatlan karsztkopárai e vidékek középkori társadalmainak nagyarányú kecskeltartásával okolhatók.

A kecskék elszaporodása olyan méreteket öltött, hogy nemcsak az állatok nem találtak maguknak semmilyen élelmet, de annyi termőföld sem maradt a tájon, amennyi a lakosság korábban is szűkös mezőgazdasági és építőfa termelvényeinek minimumát biztosíthatta volna. Dalmácia és Montenegró hegyei között emiatt ma sok olyan *romvárost* láthatunk, amelyeknek azért menekültek el a lakói, mert a legeltetés miatt megszűnt a táj korábbi eltartó potenciálja. (Így vált a korábban 77 fő/km²-es népsűrűségű Crna-Gora lakottsági szintje korunkra 33 fő/km² népsűrűségűvé).

21. tétel: Velence építéséhez, az adriai halászbárkák, majd az újkori kereskedelmi gályák összeácsolásához szükséges fa iránti igény a partközeli horvát és dalmát karsztok erdőállományának halálos ítéletét

jelentette. Az erdőségek kiirtását nagyarányú talajerózió követte, s a meredek hegyoldalak talajdegradációja a vidék teljes és megállíthatatlan elkopárosodásához vezetett.

22. tétel: Van azonban az elkopárosodásnak *egyéb karszttorzulási tükröződése* is. Az erdős, de a gyepek karszttalajok is a degradáció időszakai előtt a mészkőaljzatnak ki-egyenlített *talajvízhhozam-utánpótlást* nyújtottak. A talaj olykor jelentős csapadék magába szívására, időleges tárolására is képes. Eközben a talajszemcsék közötti hézagok számottevő része vízzel van kitöltve, s a talaj meg is duzzadhat.

A kopár karsztfelszínekről ezzel szemben azonnal lefut a csapadék, s így a nyári esők után egy-két órával a mészkőfelület már teljesen száraz lehet. Emiatt a hazai és a külföldi cseppkőves barlangokban egyaránt megfigyelhető, hogy a viszonylag *kiegyenlített* hozamú, egész éven át aktív barlangi csepegőhelyek *mindig* az erdős karsztterszínnek alatt fordulnak elő, míg az erősen *változó* csepegésintenzitású sztalaktitok csaknem kivétel nélkül a karsztkopárok alatti barlangszakaszokban.

23. tétel: Esetenként figyelemre méltó eltérések állapíthatók meg a fedett és fedetlen karsztfelszínnek alatti barlangszakaszok *cseppkőakkumulációjának dinamikájában*. Az erdős térszínnek alatti barlangokban a cseppkőnövekedés időegység alatti mértéke általában többszörte na-

Teljesen elkopárosodott karsztfelszín Horvátországban. Az ilyen „csontváz-sivatag”-nak az újbóli visszaerdősítése megoldhatatlan feladat

(A szerző felvételei)



gyobb, mint a degradált planinakon. A kopár karsztokban gyakori az egyes barlangi vízcepegések időszakos teljes szünetelése is.

24. tétel: A karsztok elkopárosodása természetesen a hegységből fakadó karsztforrások vízhozam-megbízhatóságának a leromlását is magával hozza. A források vízhozama erősen ingadozóvá válik. Amíg talajdegradáció előtt a minimális és a maximális hozamok között legfeljebb tízes nagyságrendű különbségek voltak, az elkopárosodás után a csúszhozam már akár százszorosan is felülmúlhatja a kis vízhozamot. Ez a víz tisztaságára, szűrtségére, baktériumos szennyeződései lehetőségére is kihat.

25. tétel: A hozamingadozás szélsőségei és a víz elszennyeződése rendkívül kedvezőtlenek a települések vízellátását szolgáló forrásoknál. Ezért valamely körzet, város (pl. nálunk Miskolc, Pécs vagy Borsodnádasd) ivóvízellátását biztosító karsztforrás(ok) vízgyűjtő térségeiben elsőrendű érdek a beerdősítés. Ennek elmulasztása menthetetlenül a forrás minőségi leromlását, a települések ivóvízbázisának tönkremenetelét eredményezi.

26. tétel: A cseppkövek színváltozásai is érzékeny jelzői a karszttalajok antropogén degradációjának. A terra rossás altalajú mészkőplaninák alatti barlangokban a talaj és a vegetáció degradációjára a falbevonatok és a cseppkövek tömeges vörösré színeződése utal, minthogy a vizek az erodálódó talajt a kőzet réshálózatán át bemossák a barlangokba. A barlangi és a felszíni térképek összevetésével kimutathattuk, hogy pl. az aggteleki Béke-barlang Vörös-terme vagy Kőgombás-kapuja körzetében, ahol különösen gyakori a barlangi képződmények felületi vörösré színeződése, az utolsó száz esztendőben *tarvágások* miatti kopárosodás ment végbe.

27. tétel: Az agyagbemosás mértéke az elkopárosodott karsztok mélyén helyenként olyan gyors ütemű, hogy már néhány száz esztendő alatt az inaktív barlangszakaszok jelentős feliszapolódásához vezethet. A Baradla-barlang „Mese-országá”-nak, „Arany utcájá”-nak a feliszapolódása az utolsó évszázadokban (e térség felszíni degradációs időszakában) vastagabb agyagfelhalmozódást eredményezett, mint amennyit a korábbi 3-4000 év.

28. tétel: Találkozunk olyan cseppkőpusztulási folyamatok nyomaival, amelyeket korrózió, tehát a cseppkő anyagának utólagos visszaoldódása

idézett elő. Számos olyan típusuk ismeretes, amelyek *korfüggetlenek*, azaz egy barlangrendszer fejlődésének valamennyi fázisában kialakulhatnak, képződésük feltételrendszere a barlang múltjában ugyanúgy adott volt, mint napjainkban. Vannak azonban olyan korróziós folyamatok is, amelyek *csak jelenleg* pusztítják a barlangi cseppköveket. A deformációk félreérthetetlenül a cseppkövekre jutó szivárgó karsztvizek korróziós hatásaitól származnak. A jelenségcsoport elterjedése Közép-Európában általános, bár eltérő mértékű.

29. tétel: Az új keletű cseppkő-degradációs szindróma *tünetei:* éles, csipkés peremű, szabálytalan alakú „kráterek”, mederszerű lecsorgási árkok, az aláhulló vízcseppek szét-szóródási permetzónájában areális cseppkőfelületi visszaoldás, egyes esetekben csaknem totális cseppkőfeloldás, a cseppkövek anyagának utólagos felpuhulása, kenőcsszerűvé válása.

A folyamat többnyire a ma is aktív vízcepegésű, világos színű képződmények pusztulási tünete. A degradáció általában csoportos előfordulású, de a pusztuló cseppkövek szomszédságában is lehetnek visszaoldási tüneteket nem mutató sztalagmitok.

30. tétel: Az új keletű cseppkő-degradáció tünetei szinte kizárólag a cseppkőbarlangok legállandóbb csepegéshelyű pontjain jelentkeznek. Hasonló elváltozások ugyanezen képződmények régebbi felületrészein nem találhatók. Különösen könnyű ellenőrizni ezt az összefüggést azokban a barlangokban, amelyek már régóta látogatottak, s amelyekben a fáklyafüstből az akkori cseppkő- és sziklafelületekre *koromleplek* ülepedtek rá. A koromleplek alatt sehol sincsen az új típusú cseppkő-visszaoldási szindróma. Vagyis barlangjaink fejlődési menetében világosan meg lehet különböztetni egy sok százezer esztendőig tartó „koromelőtti” tünetmentes fejlődési periódust, és egy „koromutáni” nagyon rövid, legfeljebb néhány évtizedes aktív pusztulási szakaszt.

31. tétel: Az okok kutatása még tart, néhány feltételezéséhez azonban már ma is elegendő adat van. Ezek a következők:

– A cseppkő visszaoldását minden esetben ugyanaz a barlangi vízcepegés okozza, amely korábban a cseppkővet építette. A degradáció ténye tehát a sztalagmitra csepegő víz kémiai vagy fizikokémiai, esetleg

mikrobiológiai karakterisztikájában bekövetkezett *változás* bizonyítéka.

– Minél vastagabb bioaktív és permeabilis talajréteg fedi a karsztközvet és ezen minél mélyebb gyökerű fás vegetáció tenyészik, annál gyakoribb (vagy nagyobb méretű) az új típusú cseppkő-visszaoldódás.

– Minél kisebb mélységben van egy barlangrendszer, annál gyakoribb lehet benne az új típusú cseppkő-degradáció.

32. tétel: Elemeztük a karszttalajok pH-jának, mikrobiológiai és talajösszetételi jellemzőinek kapcsolatait az észlelt degradációs szindrómával. Az 1929-es (etalon jellegű) vízelemzési adatokhoz képest ugyanazon barlangi pontok csepegő vizeibe 400–600%-osan *megnövekedett a karsztvíz szulfáttartalma*, s változó mértékű növekedés mutatkozik a nitrát- és a kloridtartalom arányaiban is. Ahol a cseppkővisszaoldás nagymértékű, az átlagosnál is magasabb a karsztvizek szulfáttartalma. Az új keletű cseppkő-degradáció tehát a recens karsztvizek erősen megnövekedett szulfátkoncentrációjával lehet valamilyen összefüggésben.

33. tétel: A karszttalajok összetételében és mikrobiológiai viszonyaiban ugyancsak dokumentálni tudtuk a légköri savas ülepedésekkel összefüggő változási trendeket (pl. a talajok pH-jának átlagosan 1 grádussal való csökkenését), bizonyítottan tűnik a karsztvíz kémiai jellegében bekövetkezett módosulások valamilyen kapcsolata a karszttalajok fiziko-kémiai változásaival és a talajmikroorganizmusok ökológiai rendszerének jelenkori torzulásaival. Az új keletű cseppkőpusztulási szindróma *bonyolult kapcsolati láncrendszerben a savas esők ill. ülepedések hatásait* jelezheti a mélyebb karszthorizontokban.

34. tétel: A 6–33. sz. tételekben tárgyalt érvek és bizonyítékok véleményem szerint elégségesek ahhoz, hogy elfogadjuk az 5. és a 4. tétel állításának lényegét: azt, hogy a *karszt igen bonyolult funkcionálási tájékológiai rendszer*, amely nagyon érzékeny egyensúlyok egymáshoz kötődő és egymástól is függő kapcsolataiból tevődik össze. A karsztot számos petrográfiai, tektonikai, klimatológiai, hidrográfiai, kémiai, fizikai és biológiai tényező *kölcsönhatásainak kombinációi* definiálják, amely tényezők mind időben, mind térben is roppant változékonyak. A karsztok az antropogén hatással szemben a Föld talán legsérülékenyebb tájtypusai.

