

A karsztok sérülékenysége

(34 tételben)

JAKUCS LÁSZLÓ

1. tétel: Minden természeti táj arculatában azoknak az eseménysorozatoknak az *összegzett* hatásereedménye fejeződik ki, amely események a táj múltjában és jelenében szerepet játszó tájformáló tényezők (faktorok) működési arányaiban és sorrendjében megnyilvánultak. Ebbe a tényezősorba természetesen beletartoznak az adott térség sajátos kéregszerkezeti és kőzetprovincia típusai is, hiszen a területi tektonikai és kőzetminőségi változatok ugyanúgy a regionálisan eltérő kéregépítő hatások következményei, mint ahogyan az exogén energiák munkájának nagyszámú csoportosulási változata.

2. tétel: A tájak mai geomorfológiai arculatát a jelenben érvényesülő és a múlt különböző időfázisaiban szerephez jutott tájfejlesztő tényezők mindenkor nagyon eltérő hatékonysággal és maradandósággal formálták. Érzékletes példája ennek az Alpok negyedkori glaciális hatásoknak kitett magashegységi régiója, vagy a Kanadai-pajzs belföldi jégtakaró által lecsiszolt felszíne, ahol alig maradt valami a jégkor előtt kialakult formakincsből. A sziklás óceáni partszakaszokon az abrázio hatékonysága is olyan fokú lehet, hogy igen rövid időtartam alatt minden korábban kialakult parti formakincset megsemmisíthet. Természetesen szép példái vannak a geomorfológiai formatartási konzervativizmusnak is. Utaljunk például a hazai hidrográfiai hálózat nyomvonalainak fejlődésére, amelyre semmiféle értékelhető hatást nem gyakorolt a pleisztocén nálunk legmarkánsabb tájképfőformáló természeti tényezője, a löszképződés. Mindez annak a jele és bizonyítéka, hogy a különböző geomorfológiai tájbélyegeknak *szélsőséges fokú lehet az ellenállási mértéke* az újabb felszínformálódási fázisok hatásaival szemben.

3. tétel: Azokat a tájtípusokat, amelyek a korunkban sajátosan érvényesülő, tehát a történelmi jelenkorra karakterisztikusan jellemző morfogenetikai faktorokra érzékenyen reagálnak, és e tényezők hatása nyomán megváltoztatják korábbi fejlődési irányukat, illetve tempójukat, *sérülékeny tájtípusoknak* kell tekintenünk. Aligha tévedünk ugyanis, ha úgy foglalkunk állást, hogy olyan tájformáló tényező, amely a földtörténet során a geomorfogenetikai tájfejlődésben nem játszott, mert nem is játszhatott szerepet, mindössze egyetlenegy létezik: az emberi társadalom exponenciálisan növekvő tájenergetikai szerepe, az ún. *antropogén effektus*. A különböző tájtípusok recens sérülékenységének mértékét elegendő tehát a természeti tájak és az antropogén effektusok kölcsönhatásainak mértékében, módjaiban illetve eredményeiben analizálnunk.

4. tétel: Messze meghaladná e tanulmány célkitűzéseit és kereteit, ha valamennyi fontosabb tájtípus fejlődésében értékelni kívánnánk az antropogén effektus szerepét. Ez korunk és a XXI. század elemző geomorfológia tudományának lesz véleményem szerint a legfontosabb nemzetközi feladata, ám egyben az emberiség jövője iránti felelősségvállalásból származó kikerülhetetlen lelkiismereti kötelezettsége is. Saját szerény kutatási eredményeim fényében most csak annak a leszögezésére vállalkozhatom, hogy *a karsztok a Föld legsérülékenyebb tájtípusai* közé tartoznak.

5. tétel: A karsztok rendkívüli sérülékenysége abból adódik, hogy a legtöbb karszt *igen bonyolult funkcionálású tájökölógiai rendszer*, amely nagyon érzékeny egyensúlyok egymáshoz kötődő és egymástól is függő kapcsolataiból tevődik össze. A karsztot, mint tájökölógiai rendszert számos petrográfiai, tektonikai, klimatológiai, hidrográfiai, makro- és mikrotérségi kémiai, fizikai és biológiai tényező *kölcsönhatásának kombinációi* definiál-

A közölt cikk az Aktuális problémák a földrajztanításban (szöveggyűjtemény, szerk.: Jáki Katalin) című PSzM-hez benyújtott pályamunka részlete.

ják, amely tényezők önmagukban is roppant variábilisak, még hozzá mind időben, mind pedig térben értelmezve. Régen el kellett vetnünk ezért a karzatnak, mint geomorfológiai fogalomnak a hagyományos definícióit, amelyek szinte valamennyien megegyeztek abban a szimplicitásban, hogy az oldható alapanyagú kőzetet (többnyire a mészkövet) és a vele érintkezésbe kerülő oldóképes (többnyire mészagresszív) vizet tekintették a különböző karstjelenségek genetikai alapfeltételeinek. Vagyis karstok ott keletkeznek, ahol a víz és a felszíni (vagy felszín alatti) kőzetfelületek hosszabb időtartamú érintkezéséből sajátos formájú korróziós (oldásos) alakzatok, ún. karstjelenségek tudnak fejlődni. A karst fogalmának ezek a klasszikus meghatározásai azonban nem fedik le a karstok valamennyi folyamat- és jelenségcsoportját, hiszen nincsenek tekintettel például a víz és a kőzetfelület érintkezésének dinamikájára, vagy az egymással kontaktusba lépő szilárd és folyékony (esetenként szilárd és szilárd, vagy szilárd és gáznemű) ható fázisok hőmérsékletére, de azok vegyi karakterisztikájára sem.

6. *tétel:* A „Karstok morfogenetikája” című könyvem (1971) 13-16. oldalain már foglalkoztam a különböző megfogalmazású *karstdefiníciók* kérdésével, s rámutattam, hogy igazán jó meghatározást azért nagyon nehéz készíteni, mert a karstok a természetben töbttényezős alakulatok. Ennek megfelelően rengeteg változatuk létezik, amelyekben a víz kőzetoldó szerepén kívül (vagy éppen anélkül) esetenként más és más karstalakító tényezők is szerephez jutnak, mégpedig olykor uralkodó vagy kizárólagos nagyságrenddel. A karstosodás fogalmát *nem lehet tehát kisajátítani* csupán a víz kőzetoldó munkájára, hiszen ismerünk olyan karstjelenségeket (pl. szakadék-dolinák, eróziós mészkövolgyek és barlangok stb.), amelyeknek nem kialakulási előfeltétele a kőzet vízben való oldhatósága. Például a hidrotermális karstjelenségek jó része is ebbe a kategóriába tartozik.

7. *tétel:* A hagyományos karstértelmezés azonban még a *korróziós karstfolyamatok* megvilágításában is roppantul szegényes és félreérthetően egyoldalú. A karstjelenségek kialakulását ugyanis a csapadékvíz kőzetoldó munkájának tulajdonította. Az volt a lényege ennek a tankönyvekben még mindig uralkodó felfogásnak, hogy a kopár mészkősziklára hulló és annak hasadékaiban, réshálózatában elszivárgó víz, a levegőből magához vett szén-dioxid révén – gyenge szénsavként – feloldja a mészkövet. Az oldás eredményeként a felszíni sziklákon különleges formakincs jön létre, ún. *karrmezők* fejlődnek ki, illetve a beszivárgó víz közetrést tágító 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 magyarázták. *Ez a karstgenetikai modell azonban megbukott.* Ma már védhetetlen, tartatatlan.

8. *tétel:* Az első kritikus csapás akkor érte a klasszikus karstelméletet, amikor – a különböző kontinenseken csaknem egyidejűleg – a kőzetbe szivárgó esővíz vegyi összetétel-változásait is ellenőrizni kezdték a kutatók. Ekkor bizonyosodott be, hogy a mészkőzetek réseibe beszivárgó vizek nagyon hamar, szinte *már néhány méter mélységben* mésztelített oldatokká válnak. A *telített mészsoldat* azonban még mélyebbre szivárogva már nem képes – legfeljebb csak speciális körülmények között – további kőzetet feloldani. Így azután a többnyire száz, vagy még több méter mélységben rejtőző barlangig is alászivárgó víz ott már a legtöbb esetben oldásképtelen. A mélybe szivárgott „karstvíz” 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 szivárgott karstvizek oldó munkájára.

Fel kellett tehát ismernünk, hogy magát az üregrendszeret mindig valami más, külső, *idegen vízgyűjtőről származó* vízfolyás sodra mossa ki a mészkőhegység belsejében, mégpedig elsősorban a karstba ömlő patakok (folyók) sodorta szilárd hordalékok *csiszoló-koptató eróziójával*. (A mészkőzetek felszíni repedéshálózatába a csapadékhullás helyszínén azonnal beszivárgó karstvizeknek ilyen szilárd és kemény hordalékanyagai

lényegében nincsenek.) Vagyis *a barlang nem oldástermék*, hanem egyszerű *eróziós patak völgy, folyómeder a felszín alatt*. Egy nagy barlangrendszer tehát *nem* feltétlen karsztjelenség, hiszen csakis olyan karsztokban keletkezhet, amelyeknek karszton kívüli táplálású, és onnan szilárd hordalékszemcséket magával sodró vízfolyás-rendszerük is van.

9. tétel: A hagyományos karsztmagyarázat számára a végső kegyelemdőfést ugyancsak a beszivárgó vizek kiterjedt kémiai vizsgálata adta meg. A konkrét vegyelemzések ugyanis megerősítették, hogy a Föld légkörének átlagos szén-dioxid tartalma mindössze 0,03%, vagyis olyan minimális, hogy a légkörből a csapadékvíz literenként még egyetlen mg széndioxidot 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. Nos, ha csak ennyiről lenne szó, aligha fejlődtek volna ki a Földön a mészkövek pompás oldásos karsztjelenségei! Hiszen a literenkénti 10-5 mg-nyi kőzetvesztés elenyészően csekély. Minden más kőzet – még a gránit is – oldódik a vízben csaknem hasonló mértékben.

10. tétel: A karsztok karbonátos kőzeteinek 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 hát be a víz azt a rengeteg szén-dioxidot, amely ekkora tömegű mészkő feloldását is lehetővé teszi számára? A vizsgálatok azt bizonyították, hogy minden esetben *a talajban*. Ahol ugyanis a kőzetet vékonyabb-vastagabb talajréteg is fedi, ott a csapadéknak előbb át kell szivárognia a talajtakarón. Csakis ezután juthat hozzá a mészkőhöz. A talajok pórus-terét kitöltő gázelegyen azonban sokkal több CO₂ 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 szén-dioxid gyűlik össze a *talaj-atmoszférában*.

Nem kétséges tehát, hogy a sok mészkövet feloldó nagy szénsavtartalmú 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 karsztfejlődés tehát nem a kőzetfelületnek és a szénsav-szegény 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 talajbeli szén-dioxidot az ott millió számra élő parányi *mikroorganizmusok* (talajgombák és baktériumok) termelik. Más szóval ez azt jelenti, hogy valamely térségben a karsztosodás ütemét a beszivárgó csapadékmennyiségen kívül legfontosabbként 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 formai visszatükröződése*.

12. tétel: Hibás tehát a klasszikus karsztiskoláknak (Cvijic, 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. Hasonlítható a helyzet például a macska csontvázrendszerének fejlődéséhez, amely csakis addig gyarapszik, ameddig az élő állati szövetek befedik, tehát amíg szemmel láthatatlan. Amikor azonban a csontváz már ki van preparálva, és a biológiai szertárban közszemlére állítva világlik, bizonyosak lehetünk felőle, hogy az többé már nem növekszik, nem fejlődik tovább.

13. tétel: A karszttalajok bioaktivitása természetesen nem korlátozódik csupán a talajban élő különféle baktérium- és talajgomba populációk szén-dioxid termelésére, hanem a talajfelszínen élő füves, bokros vagy fás növényzet alányúló *gyökérzetének* vegyi hatásai, vagy a talajban korhadó szerves hulladékok, avar, állati tetemek lebomlása és még

sok más folyamat is szerepelhet szén-dioxid 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 átszivárgó víz őket is feloldja, s a mészkőalaphoz juttatja.

14. tétel: Az egymás mellett élő különböző növények, fűvek, cserjék, fák stb. gyökérhálózataiban, a *rizoszférákban* a növényfajok szerint eltérő mikroorganizmus népség fejlődik. Következésképp minőségi és mennyiségi különbségek lesznek a szomszédos rizoszférák vagy talajtérsegek kémiai folyamataiban is, ami eltérő sav- és gázkoncentrációkat produkál a talaj egymás melletti részleteiben. Valóságos *növényfaji adekváció* (megfelelőség) jön létre, ami abban fejeződik ki, hogy az egyes növényfajok rizoszférájára jól jellemezhető fokú talajbeli CO₂-termelés lesz jellemző, amelynek maximuma az egyes növényeknél a vegetációs periódus különböző fázisaihoz kötődik. A talajfelszín kötöttségétől, nedvességétől, égtáji kitettségétől, a bioaktív talajszelvény vastagságától és még sok más tényezőtől függ az egyes talajtérsegek szellőzöttsége is, ami ugyancsak 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 differenciáltság tükröződik azután vissza a kőzet szabálytalan oldásformáiban, a sziklakarrok bizarr alakzatában.

15. tétel: 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 átyuggatott mészkő a *gyökérrak*, míg a talaját elvesztett, elkopárosodott, kiterjedt sziklás felszíneket 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 gyökérrakok csatornáit itt nemritkán 20-25 m mélységig is átjárják a mészkövet, miközben akár 60-70%-os oldásos kőzetvesztést is előidézhet a gyökérrakrozózió. 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 magukvája keskeny kéménycsatornáiban.

16. tétel: A talajok láthatatlan élővilágának ugyanúgy megvannak a maga kedvező és kedvezőtlen életfeltételei, mint az általunk közvetlen tapasztalásból 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 kísérletsorok 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 *klímaérzékeny*.

A kedvező hőszintű és nedvességű trópusi talajokban ezért akár százszor vagy több-százszor annyi szén-dioxid és egyéb szerves sav is keletkezhet, mint például a mérsékelt égövi karsztok talajaiban. De a mérsékelt égövi karszttalajok szénsav-termelése is sokszorosa a hideg égövek, vagy a magas hegységek hűvös felszínű karsztját borító gyér talajokénak. Nyilvánvaló, hogy szükségszerűen óriási különbségek vannak ezért a különböző klímaterületek (trópusi nedves, sivatagi, mediterrán, óceáni mérsékelt, magas-hegységek és egyéb hideg térségek) *karsztosodási intenzitásában* is. Hiszen a víz mérszoldó agresszivitása a talajbeli biogén faktorok klímaérzékenysége folytán maga is a *klíma függvényévé* válik. 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.

17. tétel: A mi éghajlatunk alatt, azaz a mérsékelt égövben a biogén oldás a *dolináknak* (töbröknek) is fő genetikai tényezője. Ezeket az olykor csak néhány m-es átmérőjű és mélységű, máskor pedig sokszáz m széles és akár 40-60 m mélyre is nőtt tálformájú, vagy pedig üstszerű karsztfelszíni 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 dolinák berogyásos származtatásának az is ellentmondott, hogy a kőzetrétegek a töbrök oldalain csaknem mindig megtartják *eredeti* csapásirányukat és dőlés-szögüket, vagyis a dolina létrejötte során nem változik meg azoknak a rétegeknek a helyzete, amelyekben a mélyedés kifejlődött.

Az ellentmondó megfigyelések feloldását és a töbröképződés korszerű értelmezését csakis a biogén karsztosodás felismerése tette lehetővé. Eszerint a dolina nem egyéb, mint *kőzetkioldásos felszíni mélyedés*, amely ott jön létre minden karsztfennsíkon, ahol a legaktívabbakká válnak a kőzetet elfedő talajok. A kezdetben még lapos kioldási kőzethomorulatokba a magasabb térszínnek laza szerkezetű, humuszos talajrészecskéi könnyen összemósódnak, miáltal a karsztplatón *az optimális korróziójú helyek* kezdenek szűkebb körzetekre lokalizálódni. Az így fejlődésnek induló térszíni bemarodás öblében idővel méginkább koncentrálódik a talajközvetítésű kőzetteloldási folyamat, hiszen a helyi üledékgyűjtő kádak szerepét is ellátó dolinák közötti köztes gerincekről a csapadék már egyre hatásosabban lemossa a talajt. A töbrök viszonylagosan gyors továbbmélyülését siettetti az a körülmény is, hogy a dolinákat elválasztó mind meredekebb lejtőjűvé váló hátakon és nyergeken a karsztosodás dinamizmusa a talaj és a vegetáció itteni elsilányosodásának mértékében le is fékeződik.

18. tétel: A bioökológiai szabályozottságú karsztjelenségek sorában nemcsak oldási formákkal találkozunk. Fel kellett ismernünk, hogy a legtöbb *karsztakkumulációs jelenségcsoport* is az élővilág tevékenységétől nyerte képződésének indíttatását, dinamikáját, sőt olykor formakincsének minőségét. A barlangokban található legkülönbözőbb arculatú mészkőlerakódások, a kalcit sztalaktitok és sztalagmitok, a különféle bekérgező cseppkövek, a barlangi mederágyban keresztirányú gátakként kifejlődő mésztufa tetrák és a karsztforrások körzetében, a felszíni völgyszakaszban megjelenő mésztufa-felhalmozódások (így pl. a lillafüredi Palota-szálló alatti üreges forrásmészkő-domb, vagy a Plitvicei-tavak híres szépségű vízeséses tufagátjai), de a trópusi karsztok hegyoldalainak tufafüggönyei is – valójában valamennyien biogén karsztjelenségek.

Ezen a minősítésen semmit sem változtat, hogy vannak közöttük *közvetett biológiai szabályozottságú* karsztüledékek, ahol csupán az oldat agresszívá válásának és a kőzet feloldódásának a fázisai voltak a bioökológiai folyamatok függvényei (ide tartoznak pl. a barlangi mészkőlerakódások, cseppkőképződések), de vannak közöttük az élőlények tevékenységét *másodszor is*, mégpedig az oldatból történő kicsapódáskor tükröző képződmények, amelyeknél az oldatból való *mészkiválási fázis módozatát is* pl. a növényi asszimiláció szabályozza. (Ide tartoznak többek között a karsztforrások és a karsztpatakok mésztufa felhalmozódásai.)

Az abiogén felszínű poláris területek és a növényzettelen magashegységek barlangjaiban *ezért nincsenek* tehát cseppkövek, és ezért nem ülepítenek medreikben az itt eredő karsztforrások és patakok mésztufát sem. A dús vegetációjú trópusi karsztokban viszont már a felszínen is csodálatos gazdagságú cseppkőképződmények keletkeznek, amelyek beburkolják és „kőbálvánnyá” változtatják a meredek sziklafalakon megkapaszkodó liánok, indák és iszalagok összefonódó zöld növényzetét.

19. tétel: A trópusi és a mérsékelt égövi karsztok természetes arculata tehát a talajjal borított és a vegetációval fedett mészkőhegység. A *mészkőtérszínnek elkopárosodása* ezekben a klímaövekben mindenkor *a természetes karsztökológiai állapotok egyensúlyának megbomlását*, a karsztfejlődési folyamat erőteljes denaturálódását, valóságos elhalását jelenti. Természeti okok miatt keletkezett kopár karsztokkal intrazonális fekvésben csupán a sivatagi övezetekben találkozhatunk, illetve a magas hegységek és poláris

területek mostoha klímaviszonyú térségeiben. Az elkopárosodott karszt tehát pl. a Balkánon, vagy Magyarországon kimondottan extrazonális tünet, természetellenes jelenség, aminek esetenként jól értelmezhető *antropogén indítéka*vannak.

20. tétel: Európa mérsékeltövi karsztjai helyenkénti gyökeres és visszafordíthatatlan elkopárosodásának leggyakoribb oka a *túllegeltetésben* keresendő. Görögország, Montenegró vagy Dalmácia szinte végeláthatatlan karsztkopárai főként e vidékek középkori társadalmainak nagyarányú kecsketartásával okolhatók. Különösen Albániában és Görögországban évszázadokkal ezelőtt oly hihetetlen mértékben elszaporodtak és már vadon is tenyésztek a kecskék, hogy az erdők újulatainak rügyeit és lombkoronáit ország-résznyi területeken kíméletlenül és maradéktalanul le tudták rágni. Ezáltal az erdőállomány előregedését, majd elhalását, s ezen keresztül a gyökérhálózattól megfosztott talaj teljes lehrodódását okozták.

A talaj pusztulási folyamatait természetesen a *nyájak taposásával* járó mechanikus megmozgatás is fokozta és gyorsította. Rövidesen a kóbor kecskék elszaporodása és annak nem kívánt következményei olyan méreteket öltöttek ezen a területen, hogy hovatovább már nemcsak az állatok nem találtak maguknak semmilyen élelmet, de még annyi termőföld sem maradt a tájon, amennyi a lakosság korábban is szűkös mezőgazdasági és építőfa termelvényeinek alapvető minimumszintjét biztosíthatta volna. Dalmácia és Montenegró hegyei között emiatt ma sok olyan *romvárost* láthatunk, amelyeknek azért menekültek el hajdani lakói, mert a hibásan megválasztott tájhasznosítási koncepció 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: Közismert tény az is, hogy Velence építéséhez, továbbá az adriai halászbárkák, majd az újkori kereskedelmi gályák összeácsolásához szükséges rengeteg *ipari fa* igénye a horvát és dalmát karsztok partközeli sávja erdőállományának halálos ítéletét jelentette. Az erdőségek korlátlan és teljes kiirtását természetesen nagyarányú talajerózió követte, s a meredek hegyoldalak talajdegradációja egy-kettőre a vidék teljes és megállíthatatlan elkopárosodásához vezetett. A karszt ökológiai egyensúlyába való átgondolatlan beavatkozások tehát nem csupán a biológiai egyensúly felborulását, hanem a felszín állapotának teljes megváltozását, a táj termő- és eltartó képességének lecsökkenését is magukkal hozták, s természetesen a táj geomorfológiai fejlődésében is új minőségi vonásokat juttattak kifejeződésre.

22. tétel: Van azonban az elkopárosodásnak *egyéb karszttorzulási tükröződése* is. Az erdővegetációval, de még a gypasszociációkkal rendelkező karsztalajok is a degradáció időszakai előtt a mészkőaljzat irányába kiegyenlített *talajvízhozam utánpótlást* biztosítottak. Ez a talaj természetes víztározó kapacitásával van összefüggésben, amely olykor jelentős nagyságú csapadék magába szívására és időleges tárolására is képes. Eközben a talajszemcsék közötti hézagok számottevő része vízzel van kitöltve, s a talaj esetleg jelentékenyen meg is duzzadhat.

A kopár karsztfelszínekről ezzel szemben azonnal lefut a csapadék, többnyire a karszt réshálózatának segítségével, s így a nyári esők után egy-két órával a mészkőfelület már ismét teljesen száraz lehet. A fentiek miatt a hazai és a külföldi cseppköves barlangokban egyaránt megfigyelhető, hogy a viszonylag kiegyenlített hozamú, egész éven át aktív barlangi csepegőhelyek *mindig* az erdős karszt-térszínek alatt fordulnak elő, míg az erősen változó csepegésintenzitású sztalaktitok csaknem kivétel nélkül a karsztkopárok alatti barlangszakaszokban. Ez utóbbi cseppkövek között gyakran találni olyanokat is, amelyeknek időszakonként akár teljesen is szünetel a vízszállítása.

23. tétel: A felszín vegetációképe és ezzel kapcsolatos talajállapota, valamint a karszt-folyamat jellege között más irányú érzékeny összefüggések is vannak. Így esetenként figyelemre méltó eltérések állapíthatók meg a fedett és fedetlen karsztfelszínek alatti barlangszakaszok *cseppkőakkumulációjának dinamikájában* is. A degradált planinák alattihoz képest az erdővegetációs térszínek alatti barlangokban a cseppkőnövekedés időegység alatti mértékét ugyanis általában többszörte nagyobbnak észleltük. Különösen a rövidebb időszakok szerinti összehasonlításoknál adódtak feltűnő, olykor akár ezres nagyságrendű dinamizmus-fok különbségek is, ami érthető, hiszen a kopár karsztokban gyakori az egyes barlangi vízcsepegések időszakos teljes szünetelése is.

24. *tétel:* Az elkopárosodott karsztok korábbi talajbéli víztározásának és a felszínen infiltrációt kiegyenlítő szerepének nagyfokú lecsökkenése a fennebb már vázolt tényezőknél keresztül természetesen a hegységből fakadó *karsztforrások vízhozam-megbízhatóságának a leromlását* is magával hozza. A források vízhozama az elkopárosodó karsztban erősen ingadozóvá válik, a kopárosodás fokának megfelelően egyre nagyobb hozambeli, sőt vízösszetételbeli *szélsőségek jelentkezése* lesz náluk jellemzővé. Amíg az általános talajdegradáció előtt a minimális és a maximális hozamok között legfeljebb tízes nagyságrendű különbségek voltak, az elkopárosodás után a csúcshozam már akár százszorosan, vagy még többszörösen is felülmúlhatja a kis vízhozamot. Ez természetesen a víz tisztaságára, szűrségére, baktériumos szennyeződési lehetőségére is nagymértékben kiható kedvezőtlen jelenség.

25. *tétel:* A karsztos vízgyűjtőfelület elkopárosodása a karsztforrások éves átlagú összes vízhozamának bizonyos mennyiségi növekedését eredményezi azáltal, hogy megnövekedett a tartós besivárgási csapadékhányad, de ugyanakkor a *hozamingadozás szélsőségei* és a *vízminőség elszennyeződése* rendkívül kedvezőtlenek a települések vízellátását szolgáló forrásoknál. Ezért valamely körzet vagy város (pl. nálunk Miskolc, Pécs vagy Borsodnádásd) ivóvízellátását biztosító karsztforrások/ok vízgyűjtő térségeiben elsőrendű társadalmi érdek a *beerdősítés*. Ennek elmulasztása, vagy az éppen ellenkező irányú degradációs folyamatok figyelmen kívül hagyása, sőt elősegítése ugyanis menthetetlenül a forrás megbízhatósági és minőségi jellemzőinek leromlását, azaz a települések ivóvízbázisának tönkremenetelét eredményezi.

26. *tétel:* Vannak a karsztalajok antropogén degradációjának egyéb érzékeny karsztfolyamati intenzitásjelzői is. Ilyenek például a *barlangi cseppkövek színváltozásai*, amelyek talán a legfinomabban regisztrálják a jelenben és a múltban lezajlott degradációfokbeli változásokat.

A nagy ferrioxid-tartalmú terra rossás altalajú mészkőplaninák alatti barlangokban a talaj és a vegetáció degradációjára a falbevonatok és a cseppkövek tömeges *vörösre színeződése* utal, minthogy az elpusztult erdővegetációjú karsztfelszíneken a talajréteg sokezer éves egyensúlya megbomlott, s a vizek az erodáló talajt a mészkőzet réshálózatán át bemossák a barlangokba. A barlangi és a felszíni térképek összevetésével kimutathattuk, hogy pl. az aggteleki Béke-barlang „Vörös-terme” vagy „Kőgombás-kapu”-ja körzetében, ahol különösen gyakori a barlangi képződmények felületi vörösre színeződése, az utolsó száz esztendőben *tarvágások* miatti kopárosodás ment végbe.

27. *tétel:* Helyenként az agyagbemosás mértéke az elkopárosodott karsztok mélyén olyan rendkívül gyors ütemű lehet, hogy már néhány száz esztendő alatt az inaktív barlangszakaszok jelentős, olykor teljes *feliszapolódására* vezethet. A Baradla-barlang „Meseország”-ának, „Arany utcá”-jának, retekági felső folyosójának, továbbá számos békebarlangi szifonkerülő felső folyosónak stb. a feliszapolódása az utolsó évszázadokban (e térségek általános felszíni degradációs időszakában) vastagabb agyagakkumulációt eredményezett, mint amennyi megelőzően 3-4000 év alatt halmozódott fel bennük.

28. *tétel:* A karsztbarlangokban kiterjedten találkozunk olyan cseppkőpusztulási folyamatok nyomaival, amelyeket valamilyen módon korrózió, tehát *a cseppkő anyagának utólagos visszaoldódása* idézett elő. A korróziós cseppkőpusztulásnak természetesen sok oka lehet, és a kialakult degradációs tünetek, valamint az őket kiváltó hatóokokösszefüggéseit, hatásmechanizmus rendszeré elég jól ismerjük. Számos olyan típusa ismeretes a korróziós cseppkődegradációnak, amelyek *kortfüggetlen* genetikájúak, azaz amelyek egy barlangrendszer fejlődésének valamennyi fázisában kialakulhatnak, képződésük feltételrendszere a barlang régmúltjában (vagy annak egyes szakaszaiban) ugyanúgy adott volt, mint napjainkban. Vannak azonban (sajnos!) kutatásaim eredményei szerint olyan korróziós folyamatok is, amelyek *csak jelenleg* pusztítják a barlangi cseppköveket, de amelyek az elmúlt egy-két évtizedet megelőzően soha és sehol sem jutottak érvényre a barlangok képződményein, s amelyet éppen ezért új típusú *cseppkődegradációs szindrómának* nevezünk.

A deformációk félreérthetetlenül a cseppkövekre jutó szivárgó karsztvizek korróziós hatásaitól származnak. A jelenségcsoport elterjedése Közép-Európában egyetemleges, bár a különböző természeti adottságú barlangokban eltérő mértékű.

29. tétel: Az újkeletű cseppkődegradációs szindróma *tünetei*: éles, csipkés peremű szabálytalan alakú kráterek, átréselt oldalú „kalderák”, éles peremű mederszerű lecsorogási árkok, a magasból aláhulló vízcseppek szétszóródási permet- (spray-) zónájában areális cseppkőfelületi visszaoldás, egyes esetekben csaknem totális cseppkőfeloldás, nemritkán pedig a cseppkövek anyagának utólagos felpuhulása, kenőcs-szerűvé válása.

Az újkeletű cseppkővisszaoldódás többnyire a legfiatalabb keletkezési korú, ma is aktív vízcsepegésű, s az esetek döntő többségében világos színű (sokszor fehér) cseppkőképződmények pusztulási tünete. A barlangoknak csak bizonyos körzeteiben figyelhető meg. A degradáció általában csoportos elfordulású, de a degradálódó cseppkövek közvetlen szomszédságában is vannak visszaoldódási tüneteket nem mutató sztalagmitok.

30. tétel: Az újkeletű cseppkődegradáció tünetcsoportjai szinte kizárólagosan a cseppkőbarlangok legállandóbb csepegéshelyű pontjain jelentkeznek. Hasonló elváltozások ugyanezen képződmények régebben keletkezett rétegeiben vagy felületrészein sohasem találhatóak. Különösen könnyű kontrollálni ezt az összefüggést azokban a barlangokban, amelyek már régóta ismertek és látogatottak, s amelyekben a fáklyás látogatók időszakában (egészen a XX. sz. elejéig) a fáklyafüstből az akkori cseppkő- és sziklafelületekre vékonyabb-vastagabb *koromleplek* ülepedtek rá. A koromleplek *alatt* sehol sincsen jelen az új típusú cseppkővisszaoldási szindróma. Vagyis barlangjaink fejlődési menetében világosan meg lehet különböztetni egy sok százezer esztendeig tartó „koromelőtti”, tünetmentes fejlődési periódust, és egy „koromutáni” nagyon rövid, legfeljebb néhány évtizedes aktív degradációs periódust, amely hatékony rekorróziós (visszaoldódásos) nyomokat vésett rá sok barlangi cseppkő felszínére, sőt amely egy-két esetben már az egész cseppkőalakzatot is elpusztította.

31. tétel: A tünetet előidéző okok kutatása még tart, néhány hatáskapcsolat feltételezéséhez azonban – úgy tűnik – már ma is elegendő adatokkal rendelkezünk. Ezek a következők:

- A cseppkő visszaoldását minden esetben ugyanaz a barlangi vízcsepegés okozza, amely korábban a cseppkövet (elsősorban sztalagmitról van szó) gyarapította, építette. A degradáció ténye tehát a sztalagmitra csepegő víz kémiai vagy fizikokémiai, esetleg mikrobiológiai karakterisztikájában bekövetkezett *változás* bizonyítéka.

- *Minél vastagabb* bioaktív és permeábilis talajréteg fedí a karsztkőzetet, és ezen minél mélyebb gyökerű (lombos, fás) makrovegetáció tenyészik, annál gyakoribb vagy nagyobb méretű az új típusú cseppkővisszaoldódás. Valószínű az is, hogy a fenyőerdő szerepe ebben az összefüggési rendszerben némileg eltérő a lombos erdők szerepétől, mint amilyen pl. a tölgy, a bükk, a gyertyán stb.

- A cseppkőpusztulási szindróma előfordulási gyakorisága és a barlangszakasz *felszín alatti mélysége* között is dokumentálható bizonyos mértékű fordított arányosság. Azaz minél kisebb mélységben van a felszín alatt egy barlangrendszer, annál gyakoribb lehet benne az új típusú cseppkődegradáció.

32. tétel: Széleskörűen analizáltuk a karszttalajok pH-jának, mikrobiológiai és talajösszetételi jellemzőinek kapcsolatait az észlelt degradációs szindrómával. Bebizonyosodott, hogy a fellelhető 1929-es barlangi etalon-jellegű vízvizelési adatokhoz képest ugyanazon barlangi pontok csepegő vizeiben 400-600%-osan *megnövekedett a karsztvíz szulfát-tartalma*, de változó mértékű – bár kisebb – növekedés mutatkozik a nitrát- és a klorid-tartalom arányaiban is. Azokban a barlangokban és azokon a cseppköveken, ahol a cseppkővisszaoldás különösen nagymértékű, az átlagosnál is magasabb a karsztvizek szulfáttartalma. Az újkeletű cseppkődegradáció tehát a recens karsztvizek erősen megnövekedett szulfát koncentrációjával lehet összefüggésben, vagy pedig áttételesen azon okok valamelyike idézheti elő, amelyek a karsztvizek szulfát-tartalmának a megnövekedését is kiváltják.

33. tétel: Minthogy a karszttalajok összetételében és mikrobiológiai viszonyaiban ugyancsak dokumentálni tudtuk a légköri savas ülepedésekkel összefüggésben álló változási trendeket (pl. a talajok pH-jának átlagosan egy grádusszal való csökkenését), bizonyítottnak tűnik a karsztvíz kémiai karakterisztikájában bekövetkezett módosulásoknak valamilyen (valószínűleg közvetett) kapcsolata a karszttalajok fizikokémiai változása

trendjeivel és a talajmikroorganizmusok ökológiai rendszereinek jelenkori torzulásaival. Az újkeletű cseppkőpusztulási szindróma tehát *bonyolult kapcsolati láncrendszerben* végső soron a *savas esők, illetve ülepedések hatásait* jelzi a mélyebb karszthorizontokban.

34. tétel: A 6-33. számú tételekben tárgyalt tudományos érvek és bizonyítékok véleményem szerint elégségesek ahhoz, hogy elfogadjuk az 5. és 4. tétel állításának lényegét. Vagyis azt, hogy *a karszt igen bonyolult funkcionálású tájökológiai rendszer*, amely nagyon érzékeny egyensúlyok egymáshoz kötődő és egymástól is függő kapcsolataiból tevődik össze. A karsztot, mint tájökológiai rendszert számos petrográfiai, tektonikai, klimatológiai, hidrográfiai, makro- és mikrotérségi kémiai, fizikai és biológiai tényező *kölcsönhatásainak kombinációi* definiálják, amely tényezők önmagukban is roppant variábilisak, méghozzá mind időben, mind pedig térben értelmezve. Mindezek miatt a karsztok az antropogén effektussal szemben a Föld talán legsérülékenyebb tájtípusai.

A SZÉPHALOM KÖNYVMŰHELY ajánlja köteteit

*általános- és középiskolai tanároknak,
középiskolás diákoknak, egyetemi és főiskolai hallgatóknak*

IRODALOMTUDOMÁNY, IRODALOMTÖRTÉNET:

Dobos István – Odorics Ferenc: **Beszédhelyzetben** (Dialógus sorozat). A legmodernebb irodalomelméleti iskolák kritikáját végzik el a fiatal irodalmárok. Ára 191 Ft

Galgóczi Erzsébet Emlékkönyv. Szerk. Vasy Géza. Fotóillusztrált. Ára 339 Ft

Kemény István – Vörös István: **A Kafka-paradigma** (Dialógus-sorozat). Esszék a kortárs külföldi és a legújabb magyar irodalomról, filmről, zenéről. Ára 240 Ft

Oszip Mandelstam: **Árnyak tánca.** Esztétikai írások. Ára 180 Ft

Nagy Attila Kristóf: **Szellemi bonctan.** Komjáthy Jenő költészetének hatástörténeti elemzése. Ára 220 Ft

Péter I. Zoltán. „**Hogy látva lássanak**”. Ady Endre nagyváradi korszakáról eddig ismeretlen dokumentumokat tár föl a kötet, gazdag fotóillusztrációkkal. Ára 190 Ft

Pomogáts Béla: **Magyar girondisták.** Esszék, tanulmányok. Ára 339 Ft

Pomogáts Béla: **Noé bárkája.** Tanulmányok és vallomások. Ára 138 Ft

Várkonyi Nándor Emlékkönyv. Fotóillusztrált. Szerk. Tüskés Tibor. Ára 350 Ft

MAGYAR TÖRTÉNELEM

Beke Mihály András: **Párbeszéd sötétben.** Az írónak édesapjával, Beke Györggyel való beszélgetését tartalmazza a kötet: Erdély történelmének utóbbi fél évszázada kerül új megvilágításba. Ára 290 Ft

Mint fészkből kivart madár... A hontalanság éveinek irodalma

Csehszlovákiában 1945-1949. Dokumentumkötet. Ára 114 Ft

Szebeni Ilona: **Merre van a magyar hazám.** Kényszermunkán a Szovjetunióban 1944-1949. Dokumentumkötet a II. világháború után elhurcoltakról. Ára 240 Ft

Závada Pál: **Kulákprés.** Szociográfia. Fotoillusztrált

SZÉPIRODALOM

Krasznahorkai László: **Sátántangó.** 2. kiadás. Fűzve 390, Ft, kötve 460 Ft

Krasznahorkai László: **A Thésesus-általános.** Titkos akadémiai előadások (1993) 149 Ft

Markó Béla: **Kannibál idő.** Válogatott versek. Ára 260 Ft

Megrendelhető a kiadó címen: 1068 Budapest, Városligeti (volt Gorkij) fasor 38.
Tel.: 153-1029

A könyveket a postaköltség felszámítása nélkül szállítjuk. 1000 forint feletti vásárlás esetén 20% kedvezményt biztosítunk.