

a „Megkezdődött a cseppkőbarlangok pusztulásának korszaka?” c. cikkhez

A Természet Világa 1984. márciusi számában riasztó jelzést kaptunk egy, a hazai barlangokban megkezdődött folyamatról. Jakucs László fent idézett cikkében arról tudósít, hogy karsztos barlangjainkban intenzíven megindult a cseppkövek visszoldódásos pusztulása, melynek legvalószínűbb oka a savas esők káros hatása. A Szerző cikkében az alábbiakat állította:

1. Az aggteleki és a Domica környéki barlangokba beszivárgó vizek összes keménysége az utolsó négy-öt esztendőben jellegzetesen „kilágult”, a cseppkövek képződése leállt, felszínükbe korróziós formák mélyültek.

2. A barlangokba bejutó csepegő vizekben nem lehet kimutatni karsztidegen anyagokat (kénsav, salétromsav).

3. Valószínű, hogy a jelenség hatótényezői a talajövezetben mutatkozó változásokkal vannak kapcsolatban. A karsztvidékeink felszínét borító természetes talajokon átszivárgó vizek 1 pH értékkel savanyúbbak, mint korábban, mert a Bükk-fennsík — 1978–82 között — a talajba szivárgott vizek pH-ja is ilyen mértékben csökkent. Feltételezhető, hogy ezt a változást a savas esők karsztidegen anyagai (kénsav) okozzák.

4. A karsztot fedő talajokba jutott karsztidegen anyagok — a „nagyarányú barlangi degradációs hatást” figyelembe véve — az ott élő mikroorganizmus-populációk, valamint talajbaktériumok és talajgombák CO₂-termelését csökkentik. Ennek következtében gyengül a szivárgó vizek CO₂-felvétele, vagy a beszivárgó vizek ionaránya változik meg olyan kedvezőtlen

nül, hogy kisebb lesz az oldóképességük. A beszivárgó vizek a korábbiakhoz képest kevesebb mészkőanyagot tartanak oldatban, ezért a cseppkövekre oldó hatást fejtenek ki.

5. A több hazai és külföldi barlangban talált nagyarányú cseppkő-degradáció alapján nyert felismerés érvénye kiszélesíthető lenne, ha más európai országokban is ugyanilyen vagy hasonló jelenségeket lehetne megfigyelni.

Valóban ilyen messzemenő következményekkel járna Magyarország területén a levegőszennyeződés káros hatása?

A savas esők minősége Magyarországon

Csapadékkémiai vizsgálatokat a múlt század közepe óta, Magyarországon 1964 óta végeznek. Horváth vizsgálatai szerint meg kell különböztetni a nyitott és zárt mintavételek eredményeit.

Az előbbi ugyanis nemcsak a nedves ülepedést, hanem a talajeredetű por anyag-tartalmát is kimutatja (100%-kal nagyobb koncentrációk).

Horváth megvizsgálta a hazai csapadékvizek kémiai összetételének változásait 1965–1980 közt. Hat különböző állomáson (Fertőrákos, Keszthely, Tihany, Budapest, Kecskemét, Szarvas) vett csapadékmintákat zárt mintavétellel pH, vezetőképesség, valamint nátrium-, kálium-, magnézium-, kalcium-, ammónium-, szulfát-, nitrát-, nitrit-, klorid- és ortofoszfát-ion-tartalom meghatározása céljából. Az itt kapott kémiai összetételek nem mutattak területi eloszlást a korábbi nyitott minta-

vevős vizsgálatok eredményeivel ellentétben. Ebből arra következtetett, hogy a nedves ülepedést valószínűleg kontinentális méretű szennyeződési hatások hozzák létre.

A csapadékvíz pH-jának évi középértéke Magyarországon az 1970-es évek végén 4,5 körül ingadozott. Ez egy egységgel savanyúbb kémhatás, mint ami a csapadék pusztán széndioxid-tartalmából következett volna (5,6-os pH). 1975 és 1980 között a VITUKI Kecskemét környéki Komlósi-telepén és más állomásokon is a csapadékvizek pH-értékei a savas tartományon belül gyengén a lúgos kémhatás irányába tolódtak el (4,2–4,8). A kontinentális hatás figyelembevételével a zárt mintavétellel vett eredmények az egész országra jellemzőek. Eszerint a magyarországi csapadékok savassága az elmúlt 10 évben nem erősödött, hanem a pusztán CO₂ eredetű érték felé közelített. Horváth következtetése a kontinentálisan azonos hatásokra vonatkozóan helytállónak bizonyult, mert az Aggteleki-karsztvidéken 1983–1984-ben a VITUKI Jósavfői Karsztvízkutató Állomásán végzett mérések is 4,5–5,5 közötti értékeket adtak a csapadék pH-jára. A méréseket közvetlenül a csapadékhullások után végezték el, ezért az így kapott eredmények összemérhetők a zárt mintavétellel felfogott csapadékmintáival. Horváth szerint Magyarország a közepesen szennyezett csapadéku területek közé tartozik Európában. Itt a levegő szulfát- és nitrátion (anion) eredetű sav-tartalmát az ammónium- és főként a kal-

A karsztfelszínre hullott csapadék és az ott lefolyó, vagy beszivárgó vizek kémiai összetételének szennyeződését jelző alkotói az 1983. évi tavaszi és őszi időszakban

(A VITUKI Jósavfői Papp Ferenc Karsztvízkutató Állomásán végzett elemzések alapján)

Vízháztartási elemek	Szélső értékek	Vezető képesség μScm^{-1}	pH	NH ₄ ⁺ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	mérések száma és hónapja	
								általában	SO ₄ ²⁻ esetében
Csapadékvíz	max. min.	127 11	6,7 4,3	5,30 0,38	0,06 0,02	10,9 1,0	7,3 6,5	50	2 nov., dec.
Felszínen lefolyó víz	max. min.	162 22	8,1 4,2	2,30 1,10	0,28 0,01	4,0 1,3	— —	9 febr., máj.	—
A talajban lejtő mentén szivárgó víz	max. min.	1208 232	9,5 8,0	1,25 0,10	0,26 0,02	47,0 5,2	3,0 1,7	28	4
A kőzetbe beszivárgó víz	max. min.	780 221	8,9 7,7	1,28 0,11	0,38 0,00	40,6 1,0	8,5 7,3	8	4

ciumion (kation) tartalmú bázikus aeroszolrészecskék viszonylag magas koncentrációja kompenzálja.

A talajba került csapadék minősége és a karsztkorrózió

Figyelemreméltó megfigyelést végzett Jósuvafőn Izápy 1983–1984-ben. A karsztvízháztartás és szennyeződés vizsgálatára karsztizimizmért alakítottunk ki. A liziméter alkalmas a csapadék-, a fűintercepció, a felszíni lefolyás, a talajban való lejtőirányú szivárgás, a talajnedvesség és a kőzetbe való beszivárgás szétválasztására és külön-külön való mennyiségi és minőségi vizsgálatára (táblázat).

Erdőterületen beszivárgott talajvíz pH-mérést ez ideig a Kutató Állomason nem végeztünk. Az azonban tapasztalható, hogy mezőterületen, 15°-os lejtőn, tavaszi és őszi időszakban, a csapadékvíz a talajon átszivárogva (úthossz max.: 7 m; min.: 0,3 m) minden esetben lúgossá, tehát oldásképtelenné válik. A közepesen savas esők – úgy tűnik – nem képesek savanyú talajvizet létrehozni karsztos mezőterületek felszínén, mivel a talajban lévő karbonátos közettörmelék gyengén lúgos kémhatása felülmúlja ezek hatását. Ez jó összhangban van Balázs eredményeivel, aki már 1964-ben kimutatta, hogy Európa és a Közel-Kelet karsztvidékein a növényzettel való fedettség százalékos aránya erősen befolyásolja a karsztkorróziót és így a források átlagos összes keménységét is. Az erdővel való fedettség növeli, a mező és kopár terület csökkenti azt.

Jakucsna a Természet Világa 124. oldalán közölt Bükk-fennsíki mérései a talajvizek (és a csapadék) savasságának növekedésére vonatkozóan nem egyértelműek. Méréseik 1978-ban az átlagos pH 6,6, 1982-ben 5,6 volt. A csapadékok savassága azonban a CO₂ eredetű pH-érték felé (5,6) közelítő trend mellett is mutathat visszaeséseket. Adatai valószínűleg legalább 1 egységgel savanyúbb csapadékvizekből származnak, de a talajba jutva pH-juk a lúgos kémhatás felé tolódott el. Ha nem így lenne, a közölt értékek olyan csapadékról tanúszkodnának, melyek savassága kisebb a csapadék CO₂ eredetű savasságánál (1978) vagy egyenlő azzal (1982). Ez nem valószínű, de az sem, hogy a Szerző ennek kimutatására törekedett volna. Jakucsna igaza van abban, hogy a hazai csapadékvizek pH-ja jelenleg egy egységgel kisebb, mint korábban, de ez nem az 1978–82-es év mérlege, hanem a több évtizedes európai ipari fejlődés kétes dicsőségű eredménye.

A fentiekből következik, hogy a karbonátos talajok pufferhatása megvédi a mikroorganizmusokat a még ismeretlen mechanizmusú savhatástól. A talajba szivárgó csapadékvizek oldóképessége és a barlangokban lejutó vizek keménysége nem ennek következtében csökkenhet le, hanem a vízgyűjtők felszínén a növénytakaró hiányától, ill. a felszíni léghőmérséklet és a barlangi csepegéshozam évszakos változásától. Erdős területeken a klasszikus elmélet szerinti folyamat várható. A mikroorganizmusok által termelt szén-dioxid agresszív

vá teszi a beszivárgó vizeket. A széndioxid-termelés Jakucs szerint is hőmérséklettől függő folyamat. A beszivárgó vizek keménységének évszakos változása is jól kimutatható. Nyáron keményebb, télen 8–10 nk°-kal lágyabb vizek szivárognak át a cseppköveken is. Ugyanakkor két különböző keménységű telített víz találkozása helyén a keveredő víz is agresszívvá válhat (keveredési korrózió). Sőt, nincs kizárva, hogy nagy keresztmetszetű karracsatornák, kúrtők, törések mentén légköri savasságú csapadékvíz is bejut a barlangba. Az ellentétes hatások dinamikájából alakul ki a barlangok fejlődése is. Ezért időszakosan előfordulnak agresszív csepegő vizek által korrodálódó cseppkövek is. A szivárgó vizek kilágylása miatt alkalmilag leállhat a cseppkövek növekedése. Helyenként árvizetek és geofizikai mozgások is szerepet játszhatnak a cseppkövek „szétrohadásában”. Karmezők, kúrtők, vékony fedőrétegek vagy vetők mentén átlagtól eltérő karsztfolyamatok kölcsönhatásának lehetünk tanúi. Úgy tűnik azonban, hogy az Aggteleki-karsztvidéken az elmúlt öt évben nem történt semmi lényeges változás a karsztba jutó vizek keménységében.

Karsztvizek keménységének változása hosszú távon

A fentieket az alábbi tényekkel támasztjuk alá:

1. Az utolsó 25 évben nem változott a karsztforrások kémiai összetétele. A Jósuvaforrásnál a Nagy-Tohonya-forrásnál és a Kis-Tohonya-forrásnál a VITUKI által végzett elemzésekkel kitűnt, hogy változatlanok tekinthető a vizek összes keménysége, karbonátkeménysége Ca- és Mg-ion-tartalma, valamint pH-értéke is, ha eltekintünk az évszakos változásoktól.

2. Ha igaz lenne, hogy az Aggteleki-barlangban az elmúlt öt évben átlagban 3–4 nk°-kal kilágylt volna a szivárgó és csepegő vizek összes keménysége, akkor több mint öt évtized távlatában – lényegesen csekélyebb ipari légszennyezés mellett – jól definiálható különbségnek kellene lenni az akkori és a jelenlegi csepegővíz-keménységek között. Kisebb kalcium- és hidrogénkarbonátion-tartalomnak kellene lenni az azonos mérőhelyeken jelenleg mért csepegő vizekben. Kénsavas esők esetén növekvő szulfáttartalomnak kellene jelentkeznie. A cseppkővisztaoldás általánossá válása esetén 7,0 alatti pH-t kellene találnunk a mai szivárgó vizekben.

A fentiek ellenőrzésére felhasználtuk Maucha Rezső 1929. évi, az Aggteleki-barlangban végzett kémiai elemzéseit, és 1984-ben mi is megvizsgáltattuk a vizek összetételét ugyanazokra a kémiai alkotókra. Az első és a harmadik mérőhely cseppkőmedencében gyűlekező víz, a második sztalagmitra csepegő víz volt. A kapott különbségek alapján megállapítható, hogy a szivárgó és a csepegő vizek kedvezően hosszú időtartamra vonatkozó kémiai összetételbeli különbségei Jakucs feltételezéseiellentétesek. A jelenlegi mintákból mindhárom helyen 10–40%-kal nagyobb összes keménységet és karbonátkeménységet határoztak meg, mint 55 éve. Hasonló

arányban nagyobb kalcium- és hidrogénkarbonátion-tartalmat is kaptunk.

Az Mg-ion mennyisége a Királykútnál a felére csökkent, a másik két helyen kis mértékben nagyobb volt. A K- és Na-ion-tartalom feltűnően csökkent. A szulfáttartalom mennyisége a sztalagmitra csepegő víznél nagy, a cseppkőmedencékben kismértékben csökkent. Ez nincs ellentétben Jakucs állításaival, aki hangsúlyozta, hogy karsztidegen anyagokat a barlangi vizekben nem talált.

Az ammóniumion- és a kloridion-tartalom gyenge növekedését a barlanglátogatás által okozott kismértékű környezetszennyezés számlájára lehet írni.

A nitráttartalom határozott növekedését összevetve a vizek keménységének növekedésével és a légkör 1929 óta növekvő savasságával feltételezzük, hogy 55 év alatt minimálisan nőtt a karsztkorrózió mértéke. A nitráttartalom növekvő mennyisége a salétromos sav légköri előretörését jelzi, ami 55 év alatt reális többlet lehet. Ez is hozzájárulhat a mai csapadékok savtartalmahoz és a karsztkorrózió növekedéséhez. A csapadékokban elsődlegesen keletkező nitráttartalmat a szivárgó karsztvizekben nem lehetett kimutatni. Az SiO₂ mennyiségének határozott csökkenése esetleg talajtakaró fokozódó lepusztulását jelzi. A foszfáttartalom mennyisége mindhárom mérőhelyen csökkent. A pH gyenge növekedése mindössze arra figyelmeztet, hogy a cseppkövek agresszív CO₂-vel való visszaoldódása nem általános jelenség.

Összefoglalva megállapítható, hogy az elmúlt 10 évben a légkör savtartalma hazánkban nem növekedett. Hosszú távon a barlangi csepegő vizek keménysége növekvő irányzatú, a szulfáttartalom csökkent, a nitráttartalom nőtt, a vizek pH-ja a lúgos tartomány felé tolódott el. A források összes keménysége az elmúlt 25 évben változatlan. Ezért Magyarországon a savas esők káros hatása a karsztalajok mikroorganizmusaira még nem számottevő. A gyenge, nagyrészt kompenzált savhatás ma még csak kis valószínűséggel hozhatná létre a mikroorganizmusok CO₂-termelésének feltételezett csökkenését. Másrészt nem is várható, hogy a CO₂-termelés talajban való csökkenése fokozza a barlangi csepegő vizek agresszivitását, legfeljebb a cseppkövek növekedési ütemét csökkentheti. Nem tartjuk valószínűnek, hogy a hazai savas esők „nagyarányú cseppkődegradációt” hozzanak létre a barlangokban.

Cikkünkben nem a savas esők rendkívül káros hatását akartuk alábecsülni, hiszen ez a hazai, de főként a nyugat-európai és a skandináviai erdők nagyfokú pusztulása miatt közismert tény, hanem a karsztkorrózióban betöltött szerepük értékelését szeretnénk reálisra tenni.

Egyetértünk a Szerzővel abban, hogy valóban óriási veszély fenyegeti a természetet, s hogy e kérdések kutatása égetően fontos feladat. E veszély ellen azonban csak akkor tudunk küzdeni, ha ragaszkodunk a tények objektív bemutatásához. Ehhez kívántunk hozzájárulni e cikk megírásával.

MAUCHA LÁSZLÓ