

CSEPPKŐ-PUSZTULÁSI JELENSÉGEK VIZSGÁLATA A PÁL-VÖLGYI-BARLANGBAN

TAKÁCSNÉ BOLNER KATALIN

Környezetvédelmi Minisztérium, Természetvédelmi Hivatal Barlangtani
Osztály, 1025 Budapest, Szépvölgyi út 162/b. bolner.katalin@mail4.ktm.hu

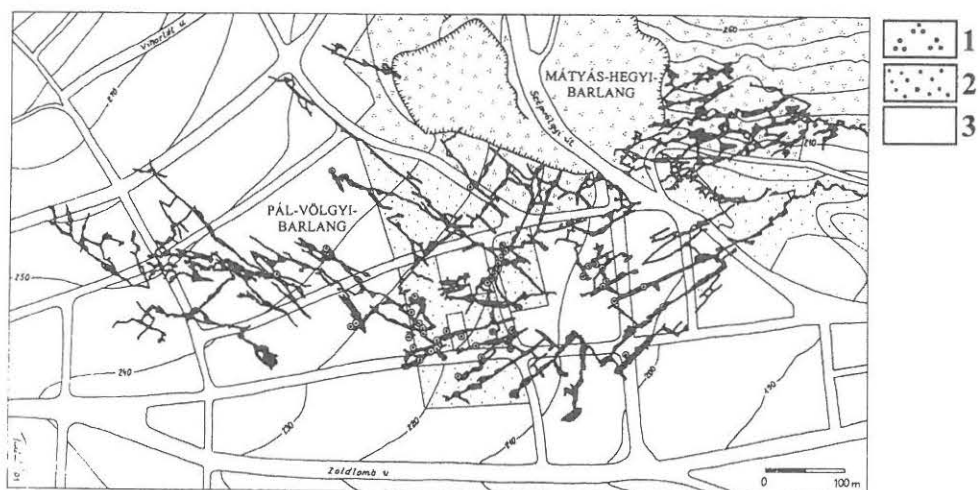
Abstract: A state assessment carried out in 1998-99 in Pál-völgy Cave – the only dripstone-decorated member of the large relic hydrothermal mazes situated within the Hungarian capital – revealed degradation features (etched surfaces, irregular hollows, radial flutes, and dissolutional channels) caused by recent drippings on some 150 dripstone formations. Occurrence of these features proved to be independent from the depth of the passages (20-80 m under the surface), as well as the type of surface utilisation in this urban environment; but most of the degrading drippings were conspicuously intense (up to 72 ml/min). Though chemical analyses carried out on altogether 21 points revealed high concentration of sulphate, nitrate and chloride in these waters, the aggressive drippings were not more contaminated than the drippings feeding apparently intact formations nearby, and no consistent differences could be shown in other chemical parameters, either. All these facts may refer to a special kind of mixing corrosion, where mixing of infiltrating waters takes place just before entering the aerated cave.

Bevezetés

A jelenleg már 13,3 km hosszúságban ismert *Pál-völgyi-barlang* az egyetlen a Budai-hegység nagy hévizes eredetű barlangrendszerei közül, amely jelentős mennyiségben tartalmaz cseppköveket is. E képződmények fő tömegét a cseppkőlefolyások és a sztalaktitok alkotják, de található itt kisebb sztalagmitok, oszlopok, cseppkőzászlók, cseppkőmedencék és más, ritkább cseppkőváltozatok is. Előfordulásaik az eocén Szépvölgyi Mészkö Formációban kialakult, de többnyire jelentős vastagságú márgarétegekkel (Budai Marga Formáció) fedett labirintusszerű járatrendszerben bizonyos körzetekre korlátozódnak, melyeket rövidebb-hosszabb képződménymentes szakaszok választanak el egymástól. A cseppkőalakzatokat létrehozó beszivárgások zömmel jelenleg is aktívak; száraz, „halott” cseppkövek szinte csak a barlang 1904-ben felfedezett Régi Részén fordulnak elő.

A hazánkban részletesebben elsőként JAKUCS L. (1985, 1986) által tanulmányozott s „újkeletű cseppkődegradációs szindróma” néven leírt cseppkő-pusztulási tünetek jelentkezése itt elsőként 1998 májusában, a barlang 1993-ban feltárt szakaszán végzett részletes cseppkő-állapotfelvétel során került észlelésre (FÜREDI K. – FEHÉR V. 1999). Miután az ezt követő tüzetesebb megfigyelések a barlang egyéb részein, sőt a rendszeresen használt járóútvonalak közvetlen közelében is számos további, mindaddig észrevétlenül maradt tünet regisztrálását eredményezték, 1998 nyarán megkezdő-

dött a jelenség tényleges elterjedtségének, mértékének és előfordulási körülményeinek részletes feldolgozása, illetve az azt kiváltó lehetséges okok vizsgálata.



1. ábra: A cseppkő-pusztulási tünetek ismert előfordulásainak (o) elhelyezkedése a Pál-völgyi-barlangban
 Jelmagyarázat: 1. védett természeti terület, 2. beépítetlen terület, 3. lakóingatlanok
 Fig. 1: Known occurrences of degrading dripstone formations (o) in Pál-völgy Cave
 Legend: 1. protected area, 2. unbuilt lots, 3. built-in lots

A cseppkő-pusztulási tünetek jellege és előfordulási körülményei

A megkezdett szisztematikus vizsgálatok keretében a *Pál-völgyi-barlang* alapterületének mintegy a felét kitevő eddig átvizsgált szakaszon (TAKÁCSNÉ BOLNER K. – FÜREDI V. 1999, 2000) közel 50 képződménycsoport esetében, összesen mintegy 150 ponton regisztráltunk kisebb-nagyobb mértékű lepusztulást jelző tüneteket (1. ábra). E tünetek igen hasonlóak a JAKUCS L. (1985, 1986) által leírtakhoz: e pontok aktív csepegései alatt a sztalagmitokon, cseppkölefolyásokon és cseppkőkérgeken az aláhulló vízcseppek becsapódási-szétfreccsenési körzetében a normális, sima tapintású cseppköfelület helyett finoman szálkás felületű, világosabb foltok; sugárirányú barázdák; egyenetlen-rücskös felületű sötét durva ragyákkal tagolt bemélyedések; szabálytalan peremű, mély kráterek; vagy a képződmény felső rétegeinek héjas visszaoldódása figyelhető meg; melyekhez számos esetben a képződmény felületén továbbfolyó víz által kialakított, s akár 40-60 cm hosszúságot is elérő keskeny korróziós árkok kapcsolódnak. Több esetben

visszaoldottak vagy egyéb módon torzultak (pl. malacfarok-szerűen görbülő végűek vagy csavarodó tengelyűek) a pusztuló aljzati képződményekre hulló csepegésekhez tartozó mennyezeti képződmények is; ezt a jelenséget eddig összesen 12 ponton tapasztaltuk. Az előfordulások közel egynegyedénél azonban a lepusztulási folyamat már nem tűnik aktívnak: ezek sérülései a többiekkel ellentétben nem éles pereműek, hanem kisimuló, sőt helyenként kifejezetten új kiválásréteggel bevont, regenerálódó jellegűek.

Hasonló részletességű megfigyelések hiányában mindezek közül sajnos csupán egyetlen aktívan pusztuló képződmény és egy szenilis jelenség-csoport esetében ismert, hogy e nyomok már a nyolcvanas évek közepén is észlelhetők voltak. Az összes többinél sem azok korábbi jelenlétére, sem az adott képződmény felfedezéskori (azaz 5-20 évvel ezelőtti) bizonyosan ép voltára nincs információ.

Az aktív lepusztulási jelenségekre vonatkozó eddigi megfigyelések alapján az azokat előidéző csepegések környezeti és fizikai adottságai igen tág határok között változnak. Ezek a jelenségek a barlang legmélyebb szakaszain, 70-80 m felszín alatti mélységben éppúgy megtalálhatók, mint a felszínt akár 20 m-re megközelítő járatokban. Csepegéseik között egyaránt vannak jelentős, 6-8 m magasságból hullók és csupán pár dm magasságból érkezők, sőt árkos visszaoldódás közvetlenül az oldalfalról előszivárgó víz által előidézett is megfigyelhető. Az előfordulások területi elhelyezkedése nem mutat összefüggést az antropogén felszíni környezet hasznosítási jellegével sem: a beépítetlen, kertes-bokros felszín alá eső járatszakaszokon, illetve a beépített lakóingatlanok és utak alatt egyaránt észlelhetők. A visszaoldó jellegű csepegések intenzitása ugyancsak szélsőségesen különbözőnek bizonyult. A nem hallható gyakoriságától egészen a folyamatos sugárban való csorgásig terjedt. Figyelemre méltó azonban, hogy az esetek több mint kétharmadánál a percenkénti cseppszám meghaladta a 10-et, közel felénél pedig 30-nál is több, azaz kifejezetten intenzív volt. Ez a megfigyelés fordítottan is igaz. A lepusztulási tünetek az ilyen intenzív csepegések alatt szinte kivétel nélkül megtalálhatók voltak, ugyanakkor regenerációs jelenségeket szinte kizárólag csak a kifejezetten gyér, 1 csepp/perc-nél ritkább csepegések alatt észleltünk.

Kémiai vizsgálatok mintavételi pontjai; agresszív csepegések
Sampling sites for chemical analyses; aggressive drippings

mintavételi helyek	fedő vastagság	esés-magasság	csepegésintenzitás
1. Pentacon-terem, a létra előtti cseppkölefolys felső részének kis terasza: éles peremű vályú, a szétfreccsenési zónában 10 cm átmérőjű szálkás felülettel, folyásirányban árkokkal; tápláló a harántirányú sztalaktit-sor legbelső tagja	40 m	3,3 m	98.08.03.: 15 csepp/perc 12.06.: 18 csepp/perc 99.07.07.: 20 cs = 1,6 ml/p 10.17.: 16 cs = 1,1 ml/p
2. Bekey-terem torkolata, a létra melletti cseppkölefolys: világos folt a becsapódás helyén mély barázdákkal; tápláló: mennyezet jobboldali szalmacseppköve	50 m	2,7 m	98.08.08.: 1-2 csepp/perc 12.06.: 3 csepp/perc 99.07.07.: 7 cs = 0,6 ml/p 10.17.: 8 csepp/perc
3. Bekey-terem: cseppkődomb nagy sztalagmitja a csúcán mély, ragyás-szabálytalan felületű kráterrel; tápláló: a mennyezeti sztalaktit-csoport leghosszabb tagja	50 m	3,1 m	98.10.04.: kb. 10 csepp/p 12.06.: 24 cs = 2,6 ml/p 99.07.07.: 41 cs = 4,6 ml/p 10.17.: 36 cs = 3,3 ml/p
4. Gyöngyös-folyosó, torkolati omladéktömb teteje mellett: 5 cm átmérőjű, rücskös felületű csepptál, folytatásában 0,5 m hosszú árokkal; tápláló: a főtépedés melletti cseppkősor	50 m	Kb. 6 m	99.07.05.: 38 cs = 3,3 ml/p 07.07.: 38 cs = 3,6 ml/p 10.17.: 39 cs = 3,5 ml/p
5. Csipkerózsika-folyosó, kiszélesedő rész cseppköves tömbje: utolsó kis sztalagmit ragyás mélyedéssel, folyásirányban rücskös felülettel; tápláló: kétágú sztalaktit jobb ág	70 m	1,5 m	98.05.10.: 30 csepp/perc 07.27.: 32 cs = 2,2 ml/p 99.10.12.: 32 cs = 2,2 ml/p
6. Csipkerózsika-folyosó, előzőtől 1,5 m-re jobbra: széles kis sztalagmit, tetején héjas visszaoldással, palástján körben világos árkokkal; tápláló: arasznyi, szabályos sztalaktit	70 m	1,7 m	98.05.10.: 42 csepp 07.27.: 46 cs = 4,2 ml/p 99.10.12.: 42 cs = 3,4 ml/p
7. Csipkerózsika-folyosó, cseppköves átjáró középső része: kis sztalagmit 3 cm átmérőjű ragyás felülettel; tápláló: kis cseppközszlő	70 m	Kb. 0,5 m	98.05.10.: sugárban csorog 07.27.: 114 cs = 21,0 ml/p 99.10.12.: 98 cs = 17,6 ml/p
8. Nyolcezres-folyosó, köpenge mögötti lefolyás terasza: világos, ragyás felületű mélyedés, folyásirányban 0,6 m-es árokkal; tápláló: mennyezeti cseppkőcsoport kis sztalaktitja	70 m	1,5 m	98.05.10.: 51 csepp/perc 07.27.: 40 cs = 4,0 ml/p 99.10.12.: 53 cs = 5,0 ml/p
9. Nyolcezres-folyosó oldaljárata, D-i fülke: visszaoldott tetejű kis sztalagmit; tápláló: torz, korrodált szalmacseppkö	75 m	Kb. 0,5 m	98.05.10.: 12 csepp/perc 99.06.24.: 47 cs = 5,0 ml/p
10. Kis-Dóm, Ny-i oldal aljzati lefolyásának kezdete: omladéktömb oldalának bekérgezésén kb. 2 cm átmérőjű, 30 cm hosszú oldott csatorna; tápláló: a falkiszögellés élének cseppkőcsoportja	65 m	Kb. 6 m	98.07.27.: 84 ml/perc (!) 99.03.01.: 90 cs = 19,8 ml/p 06.24.: 120 ml/perc (!) 10.12.: 56 cs = 10,8 ml/p
11. Kis-Dóm Ny-i oldaljárata, aljzati bekérgezés hátsó része: fehér, ragyás felületű kráterszerű mélyedés; tápláló: mennyezeti cseppkőcsoport	70 m	Kb. 6 m	98.05.10.: 74 csepp/perc 99.03.07.: 116 cs = 12,4 ml/p 06.24.: 96 cs = 10,2 ml/p 99.10.12.: 72 cs = 6,2 ml/p
12. Z-folyosó, kanyarulat cseppkölefolysa: féloldalasan visszaoldott, ragyás felületű kis sztalagmit-csonk, alatta kb. 40 cm hosszú árokkal; tápláló: apró sztalaktit-csonk (?)	70 m	Kb. 0,4 m	98.12.06.: 104 cs = 16,2 ml/p 99.07.07.: 104 cs = 16,8 ml/p 10.17.: 26 cs = 3,8 ml/p
13. HOSE-terem, oldalfülke legbelső cseppkömedencéje: peremen 3 cm átmérőjű, ragyás felület; tápláló: visszaoldott zászló-csonk, a főtépedéstől ráfutó, 15 cm hosszú árokkal	70 m	0,45 m	98.12.06.: 164 cs = 30,0 ml/p 99.07.07.: 238 cs = 34,2 ml/p 10.17.: 65 cs = 8,9 ml/p
14. Patakos-ág, létra feletti lefolyás: 3 cm átmérőjű ragyás felület, alatta 0,1 m széles sávban szétterülő, 0,5 m hosszú árokkal; tápláló: kis cseppközszlő	75 m	0,6 m	98.12.06.: 64 cs = 13,2 ml/p 99.07.07.: 112 cs = 20,0 ml/p 10.17.: 49 cs = 9,1 ml/p
15. Gipszes-folyosó, a középső rész kalcitkiválásos kis mederben folytatódó lefolyása: kis ragyás felület 10 cm-re szétterülő árkos visszaoldással; tápláló: 3 cm-es sztalaktit	80 m	0,1 m	98.12.06.: 78 cs = 7,6 ml/p 99.07.07.: 156 cs = 20,8 ml/p 10.17.: 3 csepp/perc
16. Gipszes-folyosó, végponti cseppkődomb terasza: 5 cm átmérőjű, ragyás felületű bemélyedés, túlfolyó vize alatt rücskös felülettel, tovább árokkal összekötött tetarátamedencékkel; tápláló: visszaoldott sztalaktit-csonk	83 m	1,3 m	98.12.06.: 132 cs = 35,6 ml/p 99.07.07.: 70,8 ml/p 10.17.: 64 cs = 15,0 ml/p

I/b. táblázat
Table I/b

Kémiai vizsgálatok mintavételi pontjai; kontroll-minták
Sampling sites for chemical analyses; control samples

mintavételi helyek	fedő vastagság	esés-magasság	csepegésintenzitás
R/K. Régi Rész, Cseppkő-folyosó: csapadékmérő-karral szemben lévő cseppkőfolyás; tápláló: kis mennyezeti sztalaktit	25 m	< 1 m	99.10.28.: 1 csepp/perc
1/K. Pentacon-terem: a névadó képződménycsoport alatti dobszerű alakzat; tápláló: főtéhasadék kis vastag sztalaktitja	40 m	2,5 m	99.10.28.: 2 csepp/perc
3/K. Bekey-terem: a cseppkődomb felett, a fal tövében lévő kis sztalagmit (rajta bekérgezett szűnyög); tápláló: cseppkőlécc pereméről induló 1 cm-es sztalaktit-embrió	50 m	0,3 m	99.10.28.: 11 csepp/perc
D/K. Hajós-terem: a nagy cseppkőfolyás felső részének narancssárga színezetű sztalagmitja, tápláló: nagy zászló	45 m	6-7 m	99.07.07.: 104 cs = 11,0 ml/p 10.17.: 21cs = 1,7 ml/p
13/K. HOSE-terem: az oldalfülke közepén álló, lapos tetejű narancssárgás kis sztalagmit; tápláló: a zászlósor első tagja	70 m	0,4 m	99.10.17.: 6 cs = 1,1 ml/p

II. táblázat
Table II

A Pál-völgyi-barlang védőterülete alatt beszivárgó vizek kémiai jellemzői
Chemical characteristics of infiltrating waters under the protective zone of Pál-völgy Cave

összetétel	Kőhid-t., Turista-f., Hosszú-f. (1984); Színház-terem (1987)	Cseppkő-folyosó (1999)
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	109,8 –	145,9
Ca ⁺⁺ (mg/l)	77 – 94	76,7
Mg ⁺⁺ (mg/l)	21,8 – 27,8	9,3
NO ₃ ⁻ (mg/l)	6,4 – 17	2,8
Cl ⁻ (mg/l)	5,0 – 12,1	9,0
SO ₄ ⁺⁺ (mg/l)	163 – 182	142,3
PH	7,9 – 8,1	–
KOI (mg/l)	1,5 – 8,0	–
összes keménység (mgeé/l)	170 – 190 (CaOmg/l)	4,6
lúgosság (mgeé/l)	1,8 – 2,4	2,4
állandó keménység (mgeé/l)	–	2,2

III. táblázat
Table III

Pál-völgyi-barlang, a csepegővíz-minták kémiai elemzési eredményei
Pál-völgy Cave, chemical parameters of dripping water samples

minta száma	időpont	pH	KOI (mg/l)	összes keménys. (mekv/l)	lágosság (mekv/l)	áll. keménység (mekv/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)
1.	99.07.07.		1,3	8,5	3,8	4,7	231,8	68,1	62,0	65,9	37,0	108,9
	99.10.31.			8,5	4,3	4,3	265,2	72,9	60,5	79,0	44,0	163,1
2.	99.07.07.		1,2	7,3	2,4	4,9	146,4	83,2	37,9	29,1	63,0	139,9
	99.10.29.	7,8		7,5	2,8	4,6	172,4	86,3	38,4	31,8	62,0	207,4
3.	99.07.07.		1,1	7,9	3,0	4,9	183,0	96,4	37,9	31,0	63,0	143,6
	99.10.31.			8,0	3,5	4,6	212,1	99,7	37,2	33,2	68,0	201,2
4.	99.07.07.		0,9	8,9	2,0	6,9	122,0	121,0	34,4	69,0	73,0	237,8
	99.10.29.	7,8		9,3	2,2	7,1	132,6	124,6	37,2	74,4	77,0	280,4
5.	99.10.12.	7,7	0,48	5,6	3,0	2,6	185,0	61,1	31,3	47,9	22,0	84,0
6.	99.10.12.	7,8	0,68	5,5	3,1	2,4	191,9	59,2	31,3	53,0	18,0	98,3
7.	99.10.12.	7,6	0,81	6,7	3,1	3,5	191,9	84,0	30,1	54,0	26,0	143,3
8.	99.10.12.	7,5	1,49	10,1	4,3	5,8	260,4	160,3	25,5	49,4	136,0	174,9
9.	99.06.24.	7,3	0,3	6,2	2,8	3,4	170,8	81,3	26,4	42,8	35,0	97,9
10.	99.06.24.	7,5	1,0	8,2	2,2	6,0	134,2	130,4	20,6	73,4	65,0	146,3
	99.10.17.	7,7	1,26	7,6	2,4	5,2	146,4	115,1	22,1	130,7	60,0	152,6
11.	99.06.24.	7,5	1,0	12,3	2,2	10,1	134,2	172,0	44,7	24,0	77,0	210,8
	99.10.17.	7,7	1,04	12,3	2,4	9,9	146,4	168,7	46,5	242,9	75,0	273,4
12.	99.07.07.		1,1	12,4	5,8	6,6	353,8	128,6	72,3	140,0	68,0	149,8
	99.10.17.	7,4	1,04	12,3	5,6	6,7	341,6	128,5	72,1	142,4	66,0	222,5
13.	99.07.07.		0,9	15,5	7,0	8,5	427,0	147,5	98,7	84,6	136,0	205,0
	99.10.17.	7,4	1,11	13,8	7,0	6,8	427,0	134,2	86,1	74,1	107,0	218,2
14.	99.07.07.		1,4	11,1	5,2	5,9	317,2	117,2	64,2	124,4	62,0	145,4
15.	99.07.07.		1,5	13,7	6,0	7,7	366,0	139,9	81,5	111,0	71,0	191,0
	99.10.29.	7,6		11,8	5,9	5,9	358,1	122,7	68,6	101,0	65,0	265,1
16.	99.07.07.		1,0	9,9	4,8	5,1	292,8	119,1	48,2	72,9	47,0	137,6
	99.10.17.	7,4	1,11	9,4	5,0	4,4	305,0	111,2	46,5	64,3	42,0	161,7
R/K	99.10.31.			4,6	2,4	2,2	145,9	76,7	9,3	2,78	9,0	142,3
1/K	99.10.31.			9,6	3,7	5,8	225,4	51,8	83,8	115,6	64,0	199,3
3/K	99.10.31.			6,7	3,0	3,7	185,7	47,9	52,4	39,3	43,0	205,3
D/K	99.07.07.		1,9	14,1	7,0	7,1	427,0	168,3	68,8	69,5	127,0	144,7
	99.10.29.	7,6		13,8	8,5	5,3	517,2	151,5	76,5	72,4	97,0	149,8
13/K	99.10.29.	7,8		11,7	4,6	7,1	278,5	90,1	87,3	80,2	110,0	234,9

Vízkeimiai vizsgálataok

A beszivárgó vizek minőségében bekövetkezett, s a korábbi cseppkő-kiválások visszaoldódását eredményező változások jellegének kiderítése érdekében eddig két sorozatban, 1999 nyarán és őszén összesen 21 pontról történtek kéimiai vizsgálataok. Ezek részben a visszaoldó csepegések kéimiai összetételének és azok időbeli változásainak megismerését célozták, részben pedig kontroll-jelleggel, néhány "normális", építőnek tűnő csepegés vizsgálatára irányultak; mely utóbbiak közül három egy-egy visszaoldó csepegés pár m-es körzetében helyezkedett el, a negyedik egy intenzív, de visszaoldást (még ?) nem eredményező csepegést képviselt, míg az ötödik a barlang 1944-ben természetvédelmi területté nyilvánított, beépítetlen felszíne alól származott.

A vizsgált csepegések adatait az *I. táblázat* tartalmazza. A begyűjtött vízminták kéimiai elemzését Fehér Katalin végezte az ELTE Természetföldrajzi Tanszékének Laboratóriumában a Magyar Ivóvíz-szabvány előírásai szerint. Az eredményeit a *II. táblázat* mutatja be.

Az eredmények értékelése

Az eredmények értékeléséhez a témakörrel rendelkezésre álló ismereteket áttekintve, *JAKUCS L.* (1985, 1986) e jelenséget - egyes hazai és külföldi barlangok csepegő vizeinek kéimiai összetételében kimutatható változási trendeket elemelve - a beszivárgó vizek megnövekedett szulfát-koncentrációjára, azaz végső soron a savas esők hatására vezette vissza. Ezt azonban a Postojnai Karsztkutató Intézet 1988-ban, a Jakucs László által is hivatkozott *Postojnai-barlangban* végzett részletes összehasonlító vizsgálatai nem erősítették meg. E vizsgálataok szerint ugyanis az agresszív és a túltelített, cseppkővet lerakó vizek csupán a keménység-értékek tekintetében bizonyultak lényegesen eltérőnek (mely különbség mintegy kétszeres volt az utóbbiak javára), ám ennek okára a vizsgálat nem adott magyarázatot (*KOGOVŠEK, J. - KRANJC, A.* 1988).

Minthogy a *Pál-völgyi-barlang* érintett szakaszai csupán az elmúlt 20 esztendő során váltak ismertté, esetünkben a beszivárgó vizek minőségi változásainak értékeléséhez sajnos régebbi, a barlang feletti felszín beépülése előtti időszakot tükröző elemzési adatok nem állnak rendelkezésre. A természetes beszivárgás kéimiai összetételére vonatkozóan csupán a barlang régóta ismert része fölött (a Pálvölgyi út és a kőfejtő pereme között) elhelyezkedő, s már 1944-ben természetvédelmi területté nyilvánított beépítetlen felszínről érkező beszivárgások adatai nyújtanak információt. Itt a domborzati és kő-

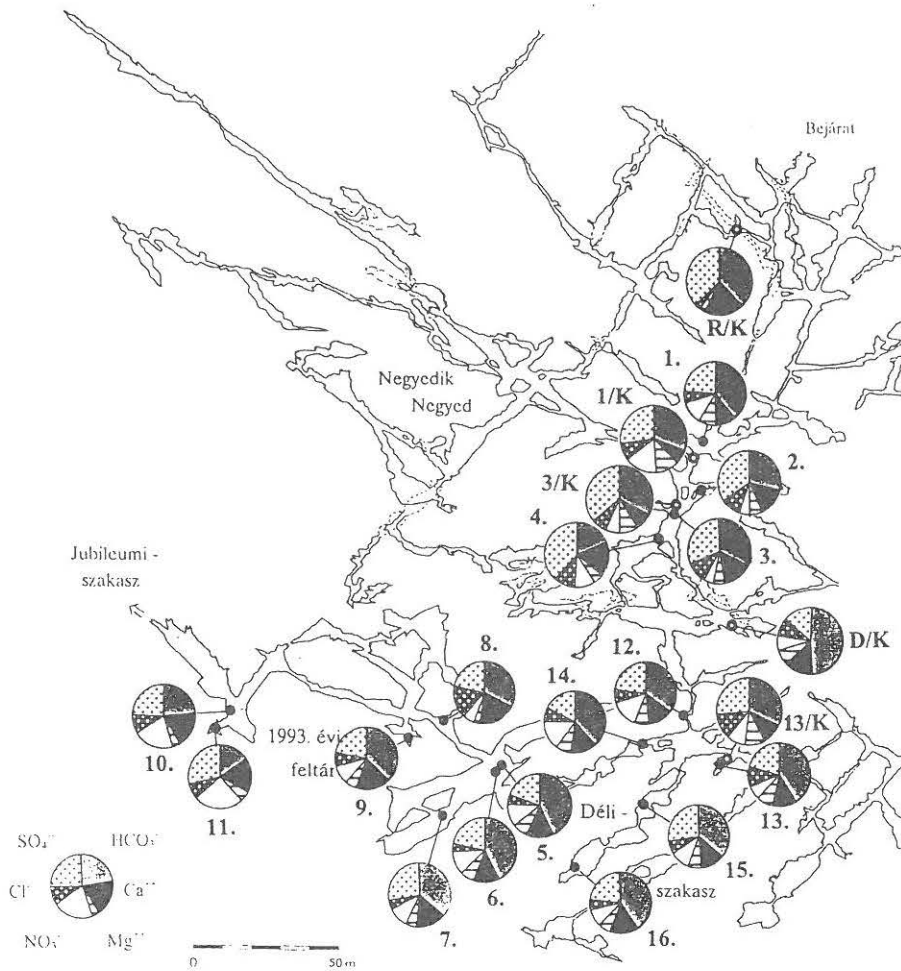
zetdőlési viszonyok a nem csapadékeredetű vizek oldalirányú hozzáfolyását is kizárják. Itt a Környezetvédelmi Intézet 1984-ben 3 ponton egy-egy alkalommal (*TAKÁCSNÉ BOLNER K.* 1984), a Fővárosi KÖJÁL pedig 1987-ben egy további ponton négy alkalommal végzett vizsgálatokat. Az elemzési eredményeit a jelen vizsgálatsorozat keretében gyűjtött kontroll-mintáéval együtt a *III. táblázat* mutatja be.

Ezek a vizek akár *JAKUCS L.* (1985, 1986) aggteleki adataival, akár a postojnai adatokkal összehasonlítva nagyságrendileg nagyobb szulfát-tartalmat mutatnak. Ez azonban, figyelembe véve nemcsak a *Pál-völgyi-barlangban*, de a többi rózsadombi nagy barlangban is számos helyen előforduló gipsz-kiválásokat, itt természeti adottságként értékelhető. A szulfácionok bőséges jelenléte az eltérő földtani környezetből, nevezetesen a fedő márgaösszlet pirit-tartalmának bomlásából származtatható.

A tárgyi vizsgálatsorozat eredményeit értékelve, a lakóterület alatt elhelyezkedő barlangszakaszokról vett csepegővíz-minták kémiai elemzése a vizsgálat céljától függetlenül is figyelemre méltó adatokat szolgáltatott. Az összesen 20 pontról származó minták klorid- és nitrát-tartalma kivétel nélkül lényegesen magasabb (átlagosan öt-tízszeres) értéket mutatott a tisztán csapadékeredetű beszivárgások kémiai összetételéhez képest. Sőt az esetek többségében (a klorid-tartalom vonatkozásában 4 ponton, a nitrát-tartalom vonatkozásában pedig 17 ponton) az ivóvíz-szabványban rögzített – s a fenti természetes beszivárgásokra jellemző értékek mintegy tízszeresét illetve négyszeresét képviselő – 100 mg/l-es illetve 40 mg/l-es túrhatóssági határértéket is meghaladta. Minthogy ezen összetevők megnövekedése az adott barlangszakaszokon a földtani viszonyokkal nem magyarázható, a *Pál-völgyi-barlang* e szakaszaira beszivárgó vizeket jelentős mértékben szennyezettnek kell minősítenünk, amely az antropogén környezet hatásaira (utak fagymentesítése, műtrágyázás, szennyvízbeszivárgás, stb.) vezethető vissza.

Ugyanakkor az eddigi eredmények alapján a beszivárgó vizek e klorid- és nitrát-szennyezettsége, illetve annak mértéke nem mutat közvetlen összefüggést a cseppkőpusztulási jelenségek előfordulásával. Így például a védőterület alól származó kontroll-mintát (R/K) követően a legalacsonyabb nitrát-tartalom a (2) pont barázdás visszaoldást eredményező csepegésében volt mérhető. A visszaoldó jellegű csepegések közvetlen környezetéből származó kontroll-minták nitrát-tartalma pedig mindhárom esetben magasabb volt a szomszédos agresszív csepegésekénél, sőt a Pentacon-teremből származó (1/K) a vizsgált pontok közül az ötödik legmagasabb értéket képviselte. Hasonlóképpen, a Hajós-terem teljesen épnek tűnő nagy sztalagmitját tápláló, kontrollként megmintázott csepegés (D/K) klorid-tartalma a vizsgált pontok közül a harmadik legmagasabb értéket képviselte, ugyanakkor viszont

a védőterület alól származó kontroll-mintát követően a legalacsonyabb klorid-tartalom a (6) pont héjasan korrodált sztalagmitjára hulló csepegésben volt mérhető. A közvetlen összefüggés hiánya a szulfát-tartalom vonatkozásában még markánsabban jelentkezett. Hat (!) legalacsonyabb szulfát-koncentráció agresszív csepegésekben volt mérhető, melyek közül négy alig 60-70 %-a volt a kontroll-minták közötti legalacsonyabb értéknek.



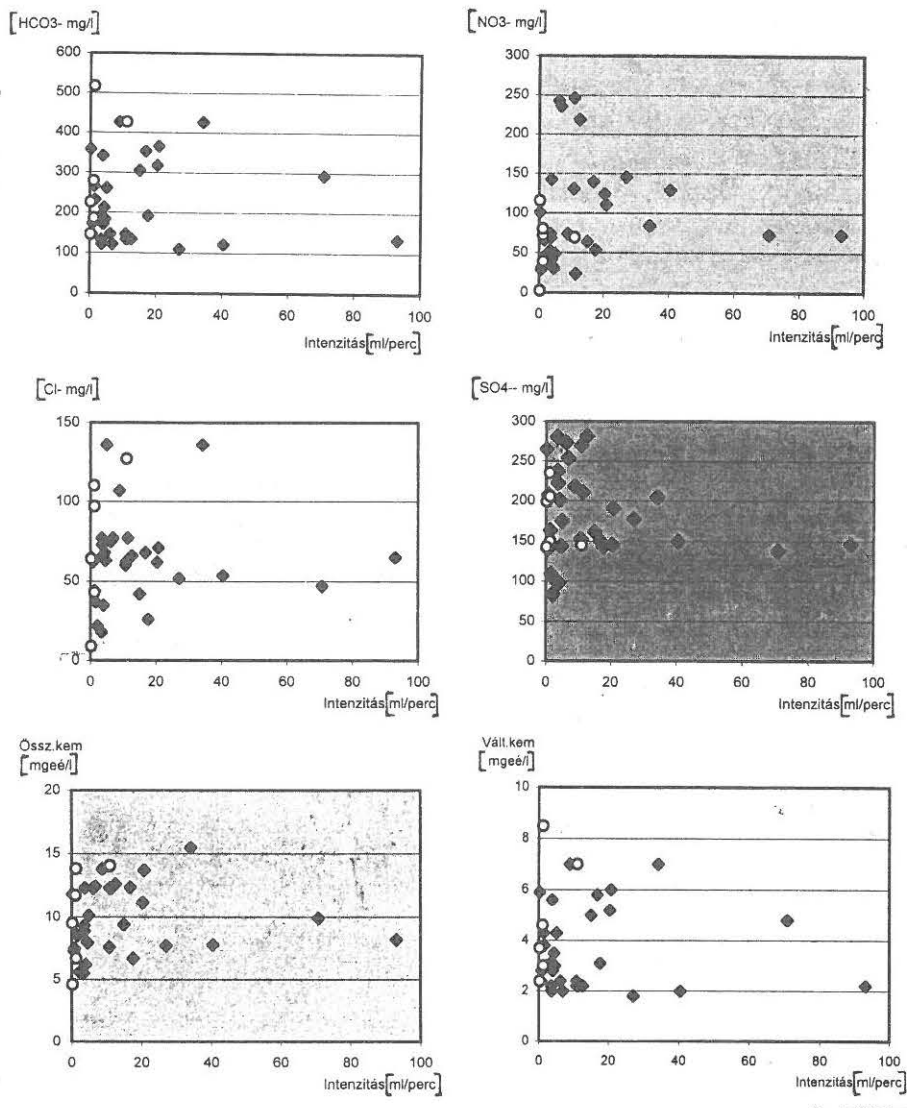
2. ábra: A vizsgált agresszív csepegések (o) és a kontroll-minták (o) elhelyezkedése és kémiai összetétele a Pál-völgyi-barlangban
 Fig. 2: Location and chemical composition of the aggressive drippings (o) and control samples (o) analysed in Pál-völgy Cave

Az agresszív, visszaoldó és a "normális" csepegések között azonban következetes eltérések a keménység-értékek vonatkozásában sem voltak kimutathatók. Bár az agresszív csepegéseknél az összes keménység és a karbonát-keménység átlagértéke alacsonyabb, az állandó keménység átlaga pedig magasabb volt a kontrollminták átlagaihoz képest (4. táblázat), a szélsőértékek már átfedték egymást. Így a legmagasabb összes keménység-értéket a HOSE-terem kalcitmedres oldalfülkéjének agresszív, a mennyezeti cseppkőzászlócskát is visszaoldó csepegése (13) mutatta. A legalacsonyabb értéket pedig a védőterület alól származó kontroll-minta (R/K) képviselte. Ugyanezen agresszív csepegés karbonát-keménysége a Hajós-terem kontrollmintáját (D/K) követően a második legmagasabb érték volt, míg a védőterület alól származó kontroll-mintáénál alacsonyabb érték csak négy agresszív csepegésben volt mérhető.

IV. táblázat
Table IV

Az agresszív csepegések és kontrollminták összehasonlító adatai
Comparative values of aggressive drippings and control samples

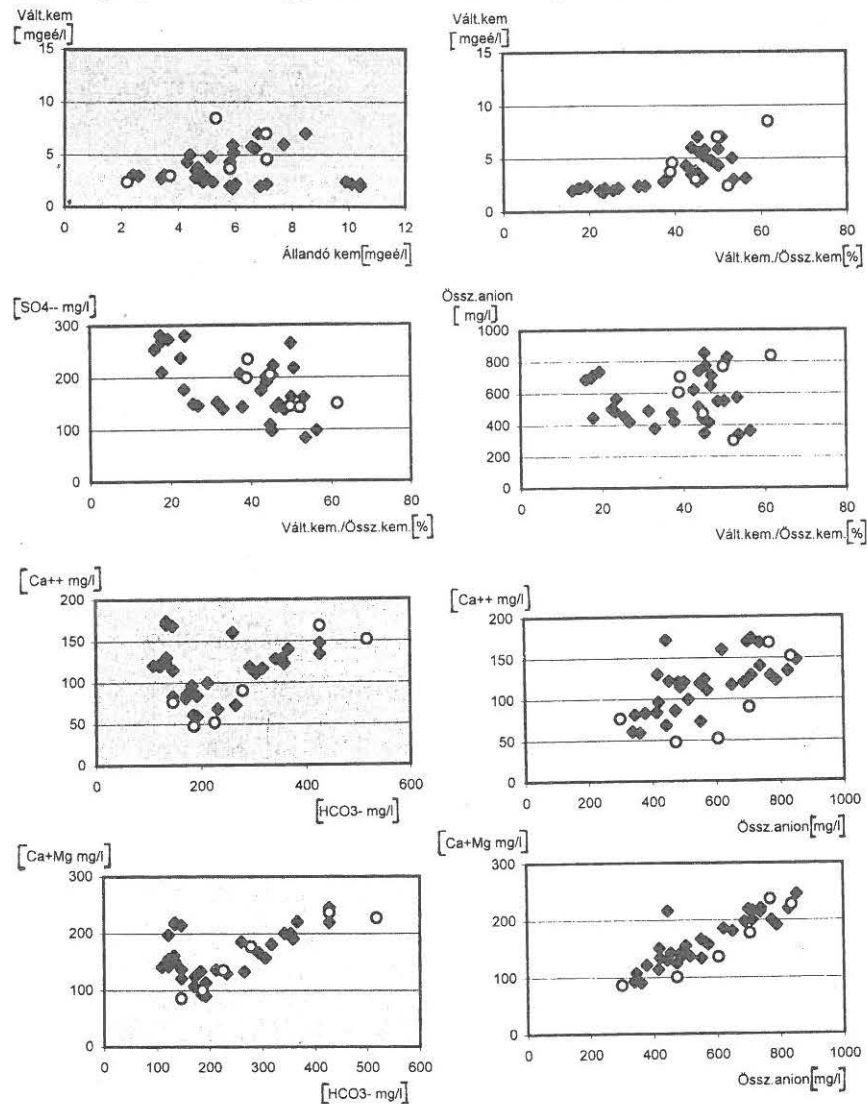
összetétel	agresszív csepegések			kontroll-minták		
	min.	max.	átlag	min.	max.	átlag
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	109,8	427,0	220,6	145,9	517,2	296,6
Ca ⁺⁺ (mg/l)	59,2	173,9	117,4	47,9	168,3	97,7
Mg ⁺⁺ (mg/l)	20,6	98,7	47,6	9,3	87,3	63,0
NO ₃ ⁻ (mg/l)	24,0	246,4	97,5	2,8	115,6	63,3
Cl ⁻ (mg/l)	18,0	136,0	63,7	9,0	127,0	75,0
SO ₄ ⁻⁻ (mg/l)	84,0	281,4	183,6	142,3	234,9	179,4
pH	7,3	7,8	7,6	7,6	7,8	7,7
KOI (mg/l)	0,3	2,0	1,1	1,9	1,9	1,9
összes keménység (mgekv/l)	5,5	15,5	9,8	4,6	14,1	10,1
lúgosság (mgekv/l)	1,8	7,0	3,6	2,4	8,5	4,9
állandó keménység (mgekv/l)	2,4	10,4	6,2	2,2	7,1	5,2



3. ábra: Az agresszív csepegések (●) és a kontroll-minták (o) különböző paramétereit a csepegésintenzitásuk függvényében
 Fig. 3: Chemical parameters of the aggressive drippings (●) and the control samples (o) related to the intensity of the drippings

Az agresszív és a "normális" csepegések között szignifikáns különbségek azonban nemcsak a fentiek, de egyetlen vizsgált paraméter vonatkozásában sem voltak kimutathatók. A kontroll-minták szélsőértékei szinte minden esetben a visszaoldó csepegések szélsőértékein belül helyezkedtek el. Az

átlagértékekben is csupán a hidrokarbonát- és magnézium-tartalom valamint a már említett karbonát-keménység tekintetében mutatkozott számottevőbb különbség a "normális" csepegések javára. Természetesen felmerül annak a lehetősége is, hogy a visszaoldódás nem valamely paraméter(ek) konkrét értékéhez, hanem a paraméterek egymáshoz való viszonyához köthető, vagy azt különféle tényezők is előidézhetik. Ám a rendelkezésre álló adatok elemzésével eddig ilyen összefüggést sem sikerült még találnunk.



4. ábra: Az agresszív csepegések (●) és a kontroll-minták (○) egyes kémiai paramétereinek egymáshoz való viszonya
 Fig. 4: Relations between the different chemical parameters of the aggressive drippings (●) and the control samples (○)

Az egyes beszivárgások oldottanyag-tartalmát és a különböző ionok egymáshoz való arányát tekintve a vizsgált beszivárgások igen változatos képet mutatnak (2. ábra); ahol az egyes járatrészek közötti különbségek sokkal markánsabbaknak tűnnek, mint az agresszív és kontroll-minták közöttiek. A 21 vizsgált pont többségének (12 pont) anion-összetételében a hidrokarbonát volt a domináns, melynek aránya 6 ponton az 50 %-ot is meghaladta, ám a kontroll-minták közül csak egy (D/K) tartozott ebbe a kategóriába. Öt további ponton ugyan szintén a hidrokarbonát aránya volt a legmagasabb, de mellette közel azonos arányban volt jelen a szulfát is - a kontroll-minták többsége, ideértve a védőterület alól származót is, ehhez a csoporthoz tartozott. Végül a fennmaradó 4 ponton - köztük egy kontroll-mintánál (3/K) is - a szulfát bizonyult dominánsnak; sőt a Kis-Dóm DNY-i oldaljáratainak aljzati cseppkőkérgébe krátterszerű mélyedést oldó csepegés (11) esetében nemcsak a szulfát, de a nitrát aránya is meghaladta a hidrokarbonátét. A különböző csepegések intenzitása és kémiai összetétele között összefüggés ugyancsak nem volt tapasztalható (3. ábra). Nem vezetett szignifikáns eredményre az egyes paraméterek egymáshoz való viszonyának elemzése sem (4. ábra). Összefoglalóan megállapítható, hogy bár a vizsgált 16 agresszív csepegés közül 10-nél volt legalább egy olyan paraméter vagy viszonyszám, melynek szempontjából az (legalábbis időszakosan) kívül esett a kontroll-minták által lefedett tartományon, a fennmaradó 6 csepegés semmilyen tekintetben nem különbött el azoktól.

Összegzés

A vizsgálatok jelenlegi állása szerint – bár természetesen nem lehetünk bizonyosak abban, hogy a visszaoldott képződményekre hulló csepegések a mintavételek időpontjában is kivétel nélkül visszaoldó jellegűek voltak, illetve hogy a kontrollként megmintázott csepegések a mintavételkor is kivétel nélkül cseppkövet lerakó jellegűek voltak – a *Pál-völgyi-barlangban* észlelhető cseppkő-pusztulást előidéző tényező(k) felderítése a vártnál jóval összetettebbnek tűnik.

A problémakör további vizsgálatához figyelemre méltó adaléknak ítéljük azonban azt a megfigyelést, hogy a visszaoldó jellegű csepegések többnyire feltűnően erős, s évszakosan alig változó intenzitásúak. Ugyanakkor többnyire egy összetett képződménycsoportnak csak egy-egy tagjára korlátozódnak, azaz mellettük normális intenzitású, építő jellegű csepegések tucatjai találhatóak. Mindezek felvetik azt a már *MAUCHA* (1984) által is vázolt lehetőséget, hogy itt a keveredési korrózió egy sajátos típusával állunk szemben, amelynél az adott csepegések vizét szállító repedések mintegy

gyűjtőcsatornaként működve, a barlangba lépés előtt megcsapolják a környező repedések vizét, ismételt telítődésükre pedig az intenzív vízmozgás miatt a közettömegben belül már nincs lehetőség. E kitüntetett vízszállító képességű „gyűjtőcsatornává” válásra a Pál-völgyi-barlang földtani és környezeti adottságai alapján két kézenfekvő lehetőség is kínálkozik. Közrejátszhat benne egy-egy lokális piritfelhalmozódás (piritgumó) körzetének bekapcsolódása az adott szivárgási pályába, de lehet az a sajnos elő-elő forduló közműtörések koncentrált vízbefolyásainak „öröksége” is.

Befejezésül szeretnék köszönetet mondani Fehér Katalinnak a vízkémiai vizsgálatok elvégzésével nyújtott segítségért, valamint a Bekey Imre Gábor Barlangkutató Csoport tagjainak a helyszíni megfigyelésekben és a mintavételezésekben való aktív közreműködésükért.

IRODALOM

- FÜREDI V. – FEHÉR K. (1999): A Pál-völgyi-barlangba beszivárgó vizek mennyiségi és minőségi változásainak vizsgálata a 15603/4 hrsz. ingatlan térségében. – Vizsgálati jelentés. Kézirat, 34 p. TvH Barlangtani Adattár
- FÜREDI V. – TAKÁCSNÉ BOLNER K. (1999): Cseppkő-visszaoldódási jelenségek a Pál-völgyi-barlangban. – In: Jelentés a Bekey Imre Gábor Barlangkutató Csoport 1998. évi munkájáról, p. 36-47. Kézirat, MKBT Adattár
- JAKUCS L. (1985): A savas esők és a karsztjelenségek. (A barlangi cseppkőképződmények újkeletű degradációs szindrómájának kutatása). – Kutatási beszámoló jelentés. Kézirat, 183 p. TvH Barlangtani Adattár
- JAKUCS L. (1986): A savas esők (üledések) hatásának nyomai a barlangi cseppkövek visszaoldódásában. – Karszt és Barlang, I. p. 15-22.
- KOGOVSĚK, J. – KRANJC, A. (1988): A comparative investigation of precipitation and seeping waters of the Postojna Cave. – Acta Carsologica. Magyar nyelvű ismertetés: Karszt és Barlang, 1988. II. p. 11-112.
- MAUCHA, L. (1984): Megjegyzések a „Megkezdődött a cseppkőbarlangok pusztulásának Korszaka?” c. cikkhez. – Természet Világa, 12. p. 567-568.
- TAKÁCSNÉ BOLNER K. – FÜREDI V. (2000): Cseppkő-pusztulási jelenségek vizsgálata a Pál-völgyi-barlangban. – In: Jelentés a Bekey Imre Gábor Barlangkutató Csoport 1999. évi munkájáról, p. 29-45. Kézirat, MKBT Adattár
- TAKÁCSNÉ BOLNER K. (1984): A csepegő vizek szennyezettségének vizsgálata a Pál-völgyi-barlangban. – Vizsgálati jelentés. Kézirat, 28 p. TvH Barlangtani Adattár