KARSZTFEJLŐDÉS XII.
Szombathely, 2007. pp. 193-205.

A LÖSZTAKARÓ KARSZTOSODÁSBAN JÁTSZOTT SZEREPÉNEK VIZSGÁLATA A TÉSI-FENNSÍKON

KISS KLAUDIA-ZÁMBÓ LÁSZLÓ-FEHÉR KATALIN-MÓGA JÁNOS

ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C., klkiss@freemail.hu, jmoga@freemail.hu

Abstract: Significant parts of the karstic bedrocks of Tési-plateau are covered with loess deposits. The cover deposit plays an important role in the characterising of karst processes. The thickness and structural qualities of the loess influence the quantity of the precipitation leaking through the cover deposit. Depending on the qualities of the loess (and the soil developed on the loess) the chemical composition of the waters – so the capacity of the corrosion – varies, influencing the rate of karst processes. The leaking processes of the cover deposit were studied with lab experiments on monoliths – the results were worked up with mathematical-statistical methods. The experiments demonstrated the differences in the quality of waters leaking through soil and loess, which plays role in karst processes.

Bevezetés

Az elmúlt évtizedek kutatásai rámutattak arra, hogy a felszíni, felszínközeli karsztos korrózió folyamataiban a kőzeteket borító talajtakarónak döntő jelentősége van: alapvetően határozza meg a karsztos oldódás intenzitását azáltal, hogy befolyásolja a beszivárgás fizikai, kémiai feltételeit.

A Tési-fennsík karsztos kőzeteit a terület jelentős részén löszös üledékek borítják. A karsztos folyamatok alakításában ezek a laza fedőüledékek szerepet játszanak. A lösztakaró a vizek egy részét elnyeli, lehetőséget teremtve arra, hogy azok a mélyebb rétegekbe beszivárogjanak.

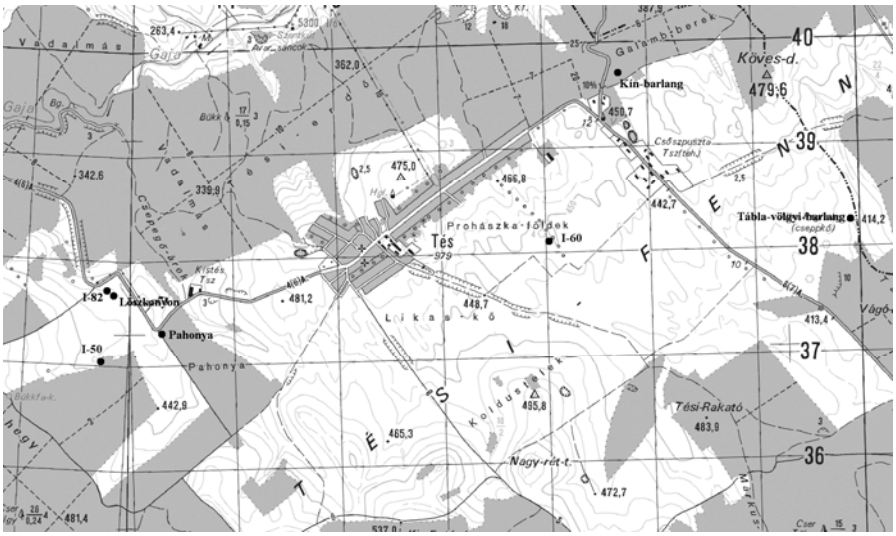
A fedőtakarón átszivárgó víz hatására bekövetkező oldási folyamatokat esőztető berendezésben végzett kísérletekkel modelleztük. Esőszimulátor segítségével végezhető talajtani (elsősorban talajeróziós) és felszínmorfológiai vizsgálatokat az elmúlt évtizedekben többen is végeztek (részletesebben ld. *ZÁMBÓ – WEIDINGER* 2005). Hazánkban hasonló esőztető kísérlet keretében *VENKOVITS* (1950) magában a talajban lejátszódó kémiai folyamatokat, míg *BALÁZS* (1964), valamint *ZÁMBÓ* (1986) a talaj és a közvetlenül alatta elhelyezkedő mészkőtömeg együttes szerepét tanulmányozta. A Tési-fennsík esetében lösztakaró borítja a karsztos alapkőzetet, ezért korróziós kísérleteink során nem csupán a talajon, hanem a löszön átszivárgó víz hatására bekövetkező oldási folyamatokat is modelleztük.

A vizsgált terület rövid bemutatása

A Tési-fennsík az Északi-Bakony legnagyobb kiterjedésű, a szomszédos tájaktól morfológiai szempontból jól elkülönülő, egységes fennsíkja. Felépítésében triász, jura és kréta időszaki karbonátos kőzetek (mészkövek, dolomitok) játsszák a fő szerepet. Ezeket a jól karsztosodó kőzeteket a terület jelentős részén változó vastagságú (átlagosan 3-5m vastag) löszös üledékek borítják, amely a fennsík fedett karsztos jellegét eredményezi (*VERESS* 2006).

A Tési-fennsík területén a platójellegből adódó enyhe lejtésviszonyok a fennsíkra hulló csapadék beszivárgását elősegítik, ám a lösz- és talajtakaró vastagsága, szerkezeti tulajdonságai befolyásolják az átszivárgó csapadékvíz mennyiségét és összetételét.

Elvégzett vizsgálatok

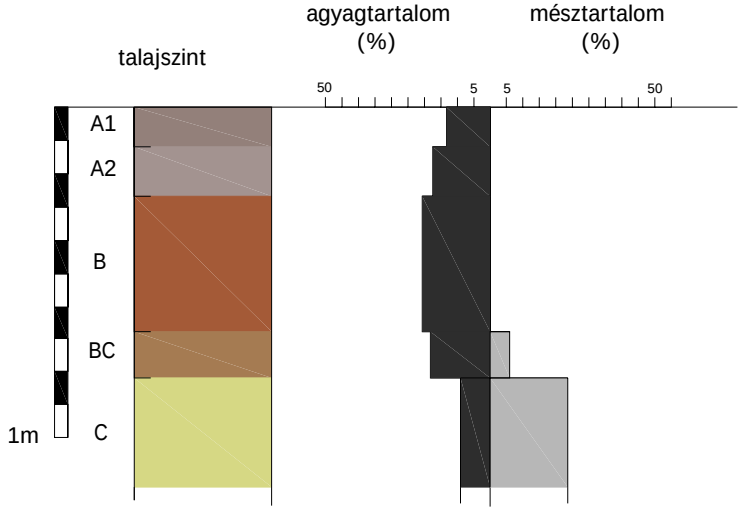


1. ábra: A Tési-fennsíkon készített talajszelvények elhelyezkedése
Fig. 1: The location of the soil sections made on Tési-plateau

A mintavétel

A fennsík hét pontján vettünk fel talajszelvényt (*1. ábra*). E talajszelvények vizsgálata (szemcseeloszlás, karbonáttartalom, higroszkóposság) alapján a

fennsík területén elterjedtek a löszön kialakult barna erdőtalajok különböző típusai és altípusai (a Ramann-féle barna erdőtalajok, az agyagbemosódásos barna erdőtalajok, valamint a csernozjom barna erdőtalajok illetve „*átmeneteik*”, pl. agyagbemosódásos Ramann-féle barna erdőtalaj, *2. ábra*). E talajok esetén a kilúgzás már végbement vagy előrehaladott, ezért kalciumkarbonátot nem vagy alig tartalmaznak. A fennsík löszös üledékeinek kalciumkarbonát-tartalma a laborvizsgálati eredmények alapján 21,1-31,1% között változik, amely érték azonban nem tartalmazza a mészkonkréciókat (ezek kalciumkarbonát-tartalma 70% körüli értéket mutat). Megfigyeléseink szerint e löszös üledékek meszes csövecskékkel átjártak, ami makroporózus szerkezetet és jó vízáteresztő-képességet eredményez. A löszös anyag lejtőirányú áthalmozódását a lösz jelenlegi felszínnel párhuzamos rétegzettsége, lamináltsága mutatja. E finomrétegzettség és az üledékben kialakult nagyobb agyagtartalmú paleotalajszintek a beszivárgó víz oldalirányú szivárgását okozzák.



2. ábra: A Pahonya nevű részen készített talajszelvény (barna erdőtalaj)
Fig. 2: The soil section of Pahonya (Luvisols)

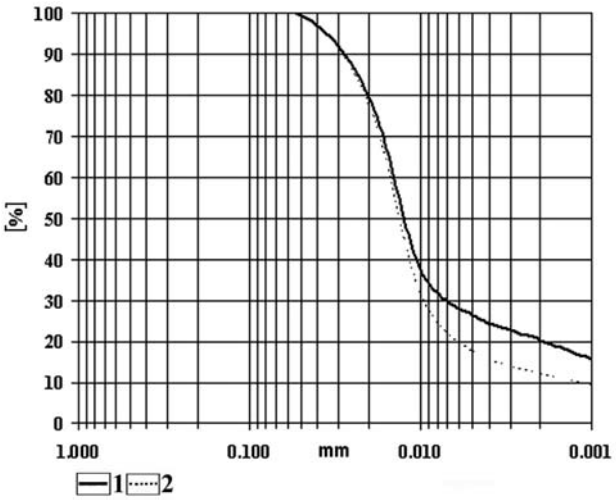
Az esőztető kísérlethez két helyről vettünk monolitmintákat: a Kistési-fennsíkon található I-82 sz. „*víznyelő*” DK-i oldalfalából (talajmonolit), illetve a „*löszkanyonból*” (löszmonolit). A mintáknak a téma feldolgozása szempontjából legfontosabb jellemzőit vizsgáltuk (*I. táblázat, 3. ábra*). A monolitokat megfelelő előkészítés után esőztető berendezésben egyenletes intenzitással desztillált vízzel esőztettük. A desztillált víz alkal-

mazását az indokolta, hogy a természetes csapadék összetétele jó közelítéssel a desztillált víz összetételével egyezik meg.

I. táblázat
Table I.:

A monolitok legfontosabb jellemzői
The most important characteristics of the monoliths

Minta jele:	*Talajmonolit*	*Löszmonolit*
Mintavétel helye:	I-82. sz. víznyelőperem	löszkanyon
Mintavétel mélysége [cm]:	10	100
Higroszkóposság [hy%]:	1,91	1,11
$CaCO_3$-tartalom [%]:	0	23,2
Humusztartalom [%]:	2,20	0,15
pH (deszt.víz):	6,3	8,3
Monolit vastagsága [cm]:	10	10
Monolit térfogata [cm^3]:	4400	4400



3. ábra: A vizsgált monolitok szemcseeloszlási görbéje
Jelmagyarázat: 1. talajmonolit, 2. löszmonolit
Fig. 3: The grain size characteristics curve of the studied samples
Legend: 1. soil, 2. loess

Miután nem hosszú időszakot felölelő terepi mérést, hanem laboratóriumi körülmények között megvalósított modellkísérletet végeztünk, sajátosságokkal is számolnunk kellett:

- statisztikailag megfelelő mennyiségű különböző típusú, méretű, vastagságú monoliton történő kísérlet elvégzésére nem volt lehetőség;
- a lég- és vízhőmérséklet, a vegetáció és a talajélet szintén hatással van az oldási folyamatok mértékére. A vizsgálat során – laboratóriumi körülményekről lévén szó – gyakorlatilag állandó hőmérséklet-értékek (22-23 ºC) voltak, ezért a vizsgálat a talajaktivitás magyarországi nyári szintjét mutatta.

Az oldási folyamatokban egyébként bizonyosan megmutatkozó évszakos különbségeket nem mértük.

Az esőztetés

Az esőztető berendezést *VID – ZÁMBÓ* (2003) tervezte. A berendezés egy mérőkamrában helyezkedik el. Benne egyidőben maximum hat darab 22 x 20 cm felületű mintatartó helyezhető el, amelyekbe beépíthetőek a terepen kiemelt, bolygatatlan szerkezetű 10 cm vastagságú monolitok. A mintatartó fölötti cseppképző tálca a desztillált vizet a mintára egyenletesen eloszlatva csepegteti (*1. kép*). A monolitmintán átszivárgó víz a mintatartóból kivezethető és így felfogható a további kémiai elemzésekhez. A mintavételezést a folyamat elején – az átszivárgott víz mennyiségének függvényében – a lehető leggyakrabban, a folyamat végén – az állandósult szakaszon – ritkábban végeztük el.

1. kép: A cseppképző tálca
Picture 1: The dropforming tray

Az összegyűjtött vízből pH, vezetőképesség, lúgosság (hidrogénkarbonát-ion), savasság, összes keménység (kalciumion, magnéziumion), állandó keménység, nitrátion-, valamint agresszív szén-dioxid koncentrációk kerültek meghatározásra. Az agresszív szén-dioxid koncentrációját Lemann és Reuss módszerével (*VITUKI* 1975) számítottuk ki.

A kapott eredmények feldolgozása

A kísérletek során mért jellemzőket matematikai statisztikai módszerekkel dolgoztuk fel. A feldolgozáshoz az "R" programcsomagot használtuk (*WWW. R-PROJECT.ORG*).

Megállapítottuk, hogy a természetben gyakran előforduló kiürülési/telítési folyamatokat általánosan leíró függvény jó közelítéssel alkalmazható kísérleteink esetén is. Ezért a mért adatokra a következő függvényeket illesztettük:

kiürülési jellegű folyamatnál: $y = m + k * e^{-\frac{t}{\lambda}}$ illetve telítési jellegű folyamatnál: $y = m + k * \left(1 - e^{-\frac{t}{\lambda}}\right)$ Az egyes paraméterek jelentését a *II. táblázatban* mutatjuk be.

A fenti függvény illesztése lehetővé tette azt, hogy a megfelelő megjelenítéshez normáljuk az adatokat és így az eltérő skálán lezajló folyamatokat össze tudjuk hasonlítani. Az illesztett görbe paraméterei felhasználhatóak arra, hogy meghatározzuk az egyes folyamatok lefutási idejét, illetve az esőztető kísérlet során a monolitokból kioldódott anyagmennyiséget.

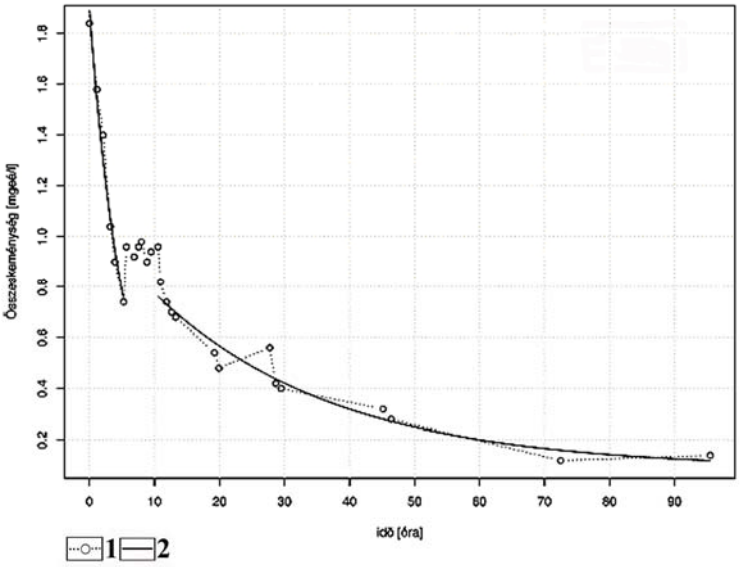
II. táblázat
Table II:

Az illesztett függvény paraméterei
The parameters of the fitted function

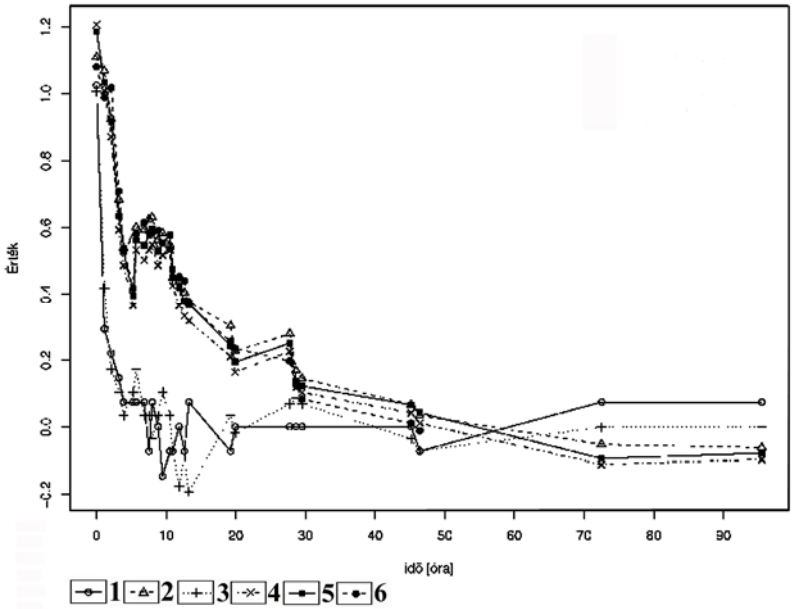
Paraméter	*Jelentés*
m	A folyamat lefutása utáni egyensúlyi érték (x tengellyel párhuzamos asszimptota tengelymetszete)
k	Megmutatja, hogy milyen tartományban zajlik a folyamat (ideális, elvi esetben a legnagyobb mért érték, az y_{max}=m+k)
λ	A folyamat időállandója. Megmutatja, hogy milyen gyorsan zajlik a folyamat.

Az 1. esőztető kísérlet

Az 1. kísérlet folyamán az I-82 sz. „*víznyelőből*” származó talajmonolitot esőztettük 9,5 mm/h intenzitással (ez kb. az országos, melegfronti csapadék intenzitásának felel meg). A mért paraméterek közül az összes keménység változásának időbeli lefutását mutatjuk be (*4. ábra*). Az ábrán jól látható, hogy a folyamat eleje és vége két különböző paraméterű exponenciális görbe szerint fut le. A két, paraméterében jelentősen eltérő görbe közötti átmenet 5 óra 15 perc és 10 óra 32 perc között történik meg. Az átmeneti szakasz az ásványszemcsék felületén lejátszódó folyamatokkal magyarázható.



4. ábra: Az 1. kísérlet töréspontttal illesztett összes keménység értékei
Jelmagyarázat: 1. mért, 2. számított
Fig. 4: The first experiment's total hardness fitted values
Legend: 1. measured, 2. calculated



5. ábra: Az 1. kísérlet normált eredményei
Jelmagyarázat: 1. pH, 2. vezetőképesség, 3. HCO_3^-, 4. összes keménység, 5. állandó keménység, 6. NO_3^-
Fig. 5: The first experiment's normalised values
Legend: 1. pH, 2. conductance, 3. HCO_3^-, 4.total hardness, 5. constant hardness, 6. NO_3^-

A normált görbékből jól látható (*5. ábra*), hogy a pH és a lúgosság (hidrogénkarbonát-ion) a többi paramétertől eltérően viselkedik: gyorsabban lefut. Az összes oldottanyag-tartalom (a vezetőképesség) túlnyomó részét a kalcium- és magnézium-, valamint az anionok közül a nitrátion jelentette, miután a kísérlet során a hidrogénkarbonát-ion (13-5 mg/l) alacsony abszolút értékeket vett fel. A monoliton átszivárgott víz pH-ja savas (6,6-5,3) volt. Utóbbiakból következik, hogy a monoliton átszivárgott víz agresszív szén-dioxid tartalommal rendelkezett (6-12 mg/l).

A 2. és 3. esőztető kísérlet

A 2. és a 3. kísérlet során ugyanazt a löszmonolitot esőztettük, eltérő (a 2. kísérlet folyamán 9,5 mm/h, a 3. kísérlet folyamán 16,5 mm/h) intenzitással. Nyilvánvaló, hogy ugyanazon löszmonolit esőztetése során hasonló folyamatok játszódnak le. Különbségek abból adódhatnak, hogy a monolitnak a két esetben eltérő volt a nedvességtartalma (a 3. kísérlet során nagyobb), valamint hogy a 3. kísérlet során a 2.-hoz képest másfélszer akkora sebességgel történt az esőztetés.

III. táblázat
Table III.

A 2. és 3. kísérlet illesztett görbéinek paraméterei
The fitted parameters of the 2nd and 3rd experiments

	2. kísérlet			*3. kísérlet*		
	k	*λ*	*m*	*k*	*λ*	*m*
pH	0,28	3 óra 15 perc	7,81	1,05	0 óra 50 perc	7,41
vezetőképesség	762,11	1 óra 11 perc	162,14	190,95	0 óra 18 perc	66,2
lúgosság	1,48	18 ó. 14 perc	0,9	0,63	1 óra 33 perc	0,68
összes keménység	1,52	5 óra 36 perc	1,47	0,61	1 óra 31 perc	0,7
NO_3^-	32,31	1 óra 23 perc	-0,26	2,8	0 óra 26 perc	0

A folyamat lefutása a 3. kísérletnél a nagyobb esőztetési sebesség miatt lényegesen gyorsabb volt (*III. táblázat*). A két kísérlet során hasonló tendenciák voltak megfigyelhetők, azzal a különbséggel, hogy a 3. kísérlet esetében, ugyanannyi csapadék mellett az átszivárgott víz jóval kevesebb hidrogén-karbonátot oldott ki (127 mg) – valószínűleg a nagyobb átfolyási sebességnek köszönhetően, ami miatt a vezetőképesség és az összes keménység is alacsonyabb értékeket vett fel. Nem foghatjuk azonban az alacsonyabb oldott anyag tartalmat arra, hogy a lösz az előző esőztetés során elveszítette kalciumkarbonát-tartalmát. A löszminta ugyanis – a konkréciókat nem számítva is – 23% kalcium-karbonátot tartalmazott, amely a monolit térfogatára átszámítva 2,6 kg-ot jelent (a monolit tömege kb. 11,5 kg), ennél pedig nagyságrendekkel kevesebb kalcium-karbonát oldódott ki (*IV. táblázat*).

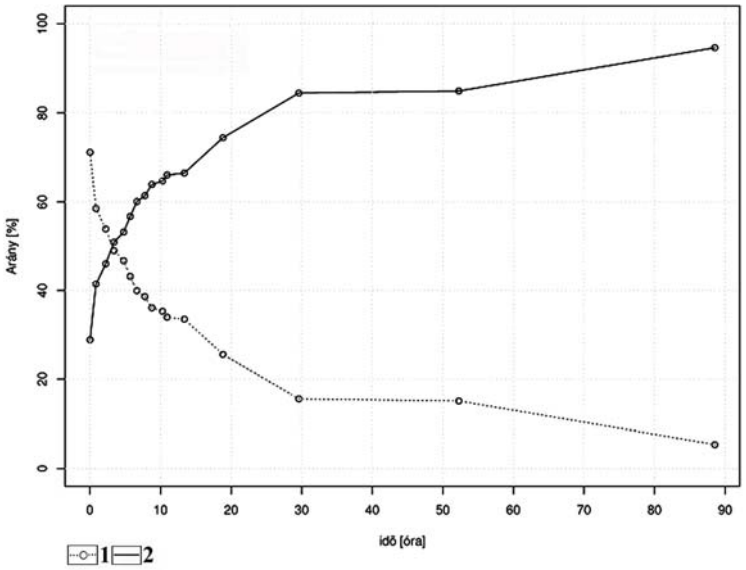
IV. táblázat
Table IV.

Az egyes kísérletek során kioldott anyagmennyiségek
The summarized dissolved ions during the experiments

Mérés	*1. mérés*	*2. mérés*	*3. mérés*	*4. mérés*
Megfigyelési idő [óra]	5	5	3	5
Esőztetés sebessége [l/óra]	0,42	0,42	0,72	0,42
Átlagos csapadék intenzitás [mm/óra]	9,5	9,5	16,4	9,5
Ca^{2+} [mg] ([mgeé])	40 (2,0)	87 (4,3)	31 (1,5)	112 (5,6)
HCO_3^- [mg] ([mgeé])	17 (0,3)	281 (4,6)	127 (2,1)	194 (3,2)

A 4. esőztető kísérlet

A 4. kísérlet során talajmonolitot esőztettünk, és az ezen átszivárgott vizet vezettük rá löszmonolitra, így modellezve egy, az előzőnél összetettebb rendszer viselkedését. A 4. kísérletnél érdekesnek bizonyult a keménységarány időbeli változása (*6. ábra*). A mérés kezdeti szakaszában a kalcium- és magnéziumionokhoz kapcsolódó nem-hidrogénkarbonát anionok dominálnak, amit az okoz, hogy e mobilisabb kalcium- és magnéziumsók gyorsabban képesek kimosódni, mint a karbonátkeménységet adó hidrogénkarbonát-ionok.



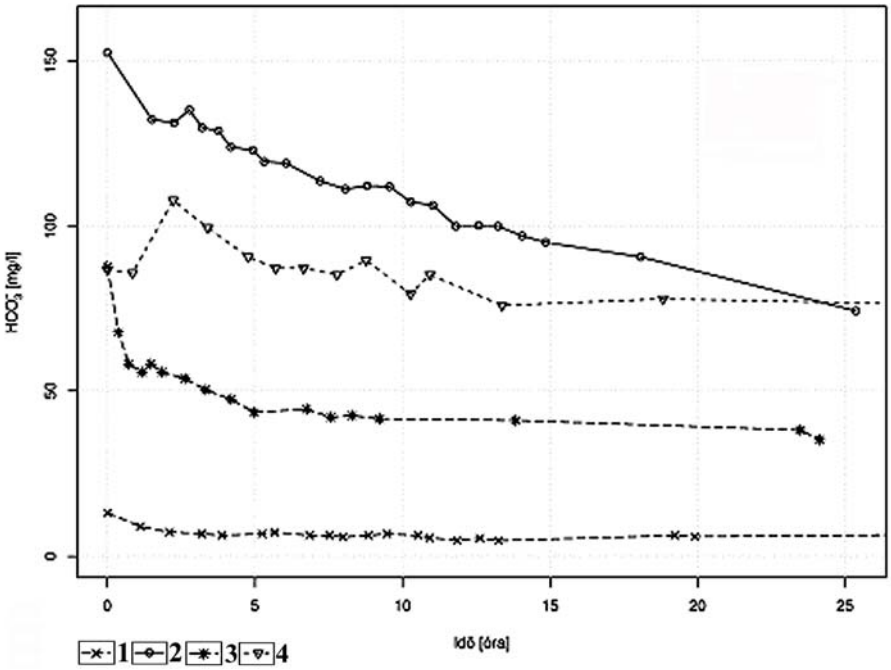
6. ábra: A 4. kísérlet során észlelt keménység arány
Jelmagyarázat: 1. állandó keménység, 2. változó keménység
Fig. 6: The hardness ratio during the fourth experiment
Legend: 1. constant hardness, 2. variable hardness

A 4. kísérlet savasság és lúgosság eredményei azt mutatták, hogy az átszivárgott víznek szabad szén-dioxid tartalma van. Azonban ez rendkívül

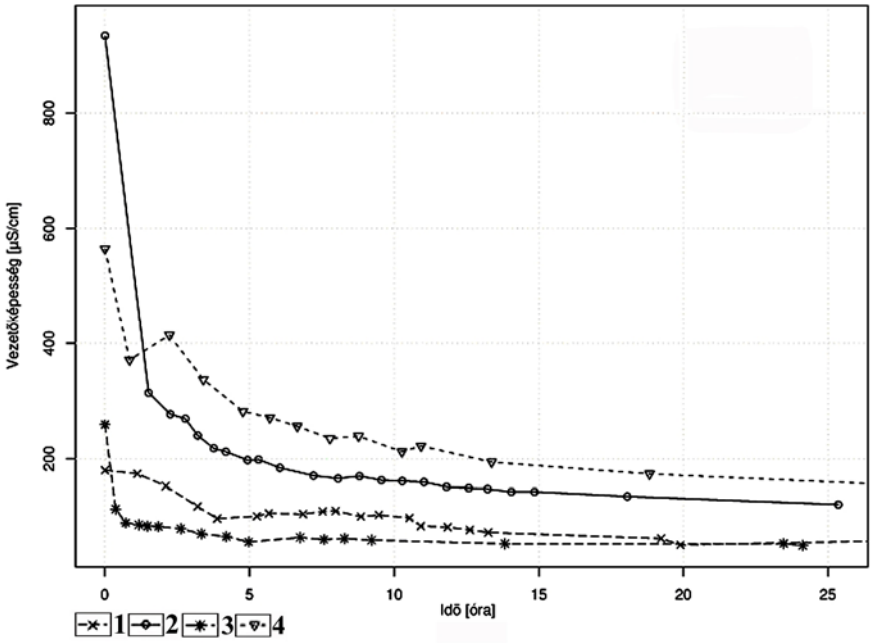
kis értékeket vett fel (mindvégig 1-2 mg/l) a talajmonoliton átszivárgott víz esetén tapasztaltakhoz képest, ezért az általunk használt mérési és számítási módszerekkel nem állapítható meg egyértelműen, hogy melyik szabad szén-dioxid-formáról (agresszív vagy egyensúlyi szén-dioxidról) van szó.

A kísérletek összehasonlítása

Összehasonlítva a kísérletek eredményeit megállapítható, hogy a talaj- illetve löszmonolit esetében merőben ellentétes folyamatok játszódtak le. A talajosodott rétegen átszivárgott víz hidrogénkarbonát-ion tartalma mindvégig alacsony volt, ezzel szemben a löszös mintáé a 2. kísérlet során 8-10-szer nagyobbnak mutatkozott (*7. ábra*). A löszön átfolyt víz fajlagos vezetőképessége emiatt többszöröse volt a talajon átszivárgotténál (*8. ábra*).



7. ábra: A kísérletek hidrogénkarbonát-ion értékei
Jelmagyarázat: 1. kísérlet, 2. kísérlet, 3. kísérlet, 4. kísérlet
Fig. 7: The HCO_3^- values of the experiments
Legend:1. number 1 experiment, 2. number 2 experiment, 3. number 3 experiment, 4. number 4 experiment



8. ábra: A kísérletek vezetőképesség értékei
Jelmagyarázat: 1. kísérlet, 2. kísérlet, 3. kísérlet, 4. kísérlet
Fig. 8: The conductivity values of the experiments
Legend:1. number 1 experiment, 2. number 2 experiment, 3. number 3 experiment, 4. number 4 experiment

A talajmonoliton átszivárgott vizek további oldásra képes agresszív szén-dioxidot tartalmaztak, átlagosan 10 mg/l mennyiségben. A löszmonolit desztillált vízzel történt esőztetése során az átszivárgott vizeknél savasság nem volt kimutatható, ami azt jelenti, hogy e vizek már telítettek voltak, agresszív szén-dioxidot nem tartalmaztak. Abban az esetben, amikor a kísérlet során a talajmonoliton átszivárgott vizet közvetlenül a löszmonolitra esőztettük, az gyakorlatilag elveszítette mészoldó-képességét. A szabad szén-dioxid kimutatható volt ugyan, de nagysága a kimutathatósági- és mérési hibahatár közelében mozgott (1-2 mg/l). A löszön átszivárgott vizek tehát lényegében ebben az esetben is agresszivitásukat veszítették.

Következtetések, összefoglalás

A vizsgálatsorozat kimutatta a talajon és löszön átszivárgó víz minőségi különbségeit, amelyek a karsztos oldási folyamatokban döntő szerepet játszanak.

Megfigyeléseink szerint a fennsík talajai az 1–1,5 m vastagságot ritkán haladják meg, ami azt jelenti, hogy a felszínről beszivárgott víz bizo-

nyos hányada *képes* a talajon átszivárogni és elérni a löszös üledéket vagy akár a karsztos alapkőzetet is. A terület talajai kilúgozottak, karbonátot gyakorlatilag nem tartalmaznak. Ezért a talajtakarón diffúz módon átszivárgó víz hidrogénkarbonát-ion koncentrációja lényegesen nem növekszik (mint azt az 1. kísérlet során láthattuk), vagyis képes mészoldó-kapacitásának megtartására; sőt, annak növelésére – szén-dioxidban való feldúsulása következtében.

A kísérletek alapján megállapítható, hogy amennyiben a talajtakaró alatt löszös üledék van, az ezen átszivárgó víz mészoldó-képességének nagy részét elveszíti a lösz kalciumkarbonát-tartalmának oldásával.

A fennsíkot fedő talajosodott lösz üledéken átszivárgó vizek a talaj minőségétől, a talaj alatti löszréteg vastagságától valamint makroporozitásától függően eltérő mértékben rendelkezhetnek mészoldó-képességgel.

Ahol a fedőtakaró vékony, a lösz teljes mélységében, tehát egészen a feküig kilúgzódhat, talajosodhat; ezért a rajta átszivárgó csapadékvíz agresszivitását jelentősen megnövelve jut el a karbonátos kőzetekhez. Ennek bizonyítékai a terepen megfigyelt talaj alatti karros formák és oldódásos kürtők.

A fedőtakaró kivékonyodási helyeinél a víz a karsztosodó alapkőzethez nemcsak felülről, hanem felszín alatti mozgást végezve oldalirányból is érkezhet (*ZÁMBÓ* 1986, *VERESS* 1999). Az áthalmozott löszök lamináris rétegzettsége és a paleotalaj-szintek miatt a felszínről vertikálisan beszivárgó vizek a löszben lejtőirányban elvezetődnek. A nagyobb vastagságú löszöknél a szuffózió nagyobb mértékű, ami a vízzáró hatást növeli. Ezért a kisebb löszborítású helyek felé nemcsak felülről, hanem oldalirányból, a fedőtakaró kivastagodási helyei felől is érkezik víz (*VERESS M.* 1999). A különböző irányokból érkező vizek a karbonátos kőzetek zónájába lépve találkozhatnak egymással. A keveredő vizek kötött szén-dioxid koncentrációban jelentkező különbségei miatt agresszív szén-dioxid szabadul fel, keveredési korrózió jön létre. E folyamatnak a felszín alatti karsztosodásban jelentős szerepe lehet, de vizsgálatára megfelelő mérési módszert jelenleg nem ismerünk.

Lényegesnek tartjuk és tervezzük komolyabb statisztikai értékeléshez megfelelő számú kísérlet elvégzését, ha lehet, nagyobb térfogatú monolitokon, illetve minden talajszintet figyelembe véve (akár in situ mérésekkel). Ezzel közelebb jutnánk a teljes rendszer modellezéséhez.

IRODALOM

BALÁZS D. (1964): Karsztkorróziós problémák. – Doktori értekezés. Kézirat. 144 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2005): R: A language and environment for statistical computing. – R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. URL http://www.R-project.org.

VENKOVITS I. (1950): Dorogi vízvizsgálatok. – Hidr. Közl. 30/5-6. p. 184-197.

VERESS M. (1999): Az Északi-Bakony fedett karsztja. – A Bakonyi Természettudományi Múzeum Kut. Eredményei 23., Bakonyi Természettudományi Múzeum, Zirc. 167 p.

VERESS M. (2006): Adatok a Tési-fennsík két térszínrészletének fedett karsztosodásához. – Karsztfejlődés XI. BDF, Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely. p. 171-184.

VID, G. – ZÁMBÓ, L. (2003): Review of the measuring mechanism and data acquisition of the equipment measuring dissolution. – In: Horváth, G. (szerk.): Soil effect on karst processes, Budapest. p. 87–89.

VITUKI (1975): Egységes Vízvizsgálati módszerek I. – VITUKI, Budapest. 233 p.

ZÁMBÓ L. (1986): A talaj-hatás jelentősége a karszt korróziós fejlődésében. – Kandidátusi értekezés. Kézirat, Budapest. 143 p.

ZÁMBÓ L. – WEIDINGER T. (2006): A karsztkorróziós talajhatás néhány tényezőjének vizsgálata esőszimulációs kísérletek alapján. – In: Táj, környezet és társadalom, Szeged. p. 757-765.