

A KARSZTKORRÓZIÓS TALAJ-HATÁS NÉHÁNY TÉNYEZŐJÉNEK VIZSGÁLATA ESŐSZIMULÁCIÓS KÍSÉRLETEK ALAPJÁN⁹²

ZÁMBÓ LÁSZLÓ⁹³ – WEIDINGER TAMÁS

INVESTIGATIONS OF KARST CORROSIONAL SOIL EFFECTS BASED ON RAIN GENERATOR EXPERIMENT

Abstract: Karst corrosional effects of red earth (Litosol) is influenced by the slope gradient of the surface, which determines the rate of the infiltration and runoff. Having done experiments by rain simulator for exploring the role of the slope factor, quantitative data were obtained for the rate of the infiltration and runoff. The gradient of the red earth cover proved to be a special controller of the corrosion in the epikarst.

A VIZSGÁLAT CÉLJA ÉS JELENTŐSÉGE

A „karsztkorróziós talaj-hatás” a karsztosodás és a mészkőoldódás egyik fontos befolyásoló tényezője (Zámbó, L. 1991, 1992). A hazai karszt talajok fizikai és kémiai sajátosságait, geoökológiai rendszerét Bárány I. (1980, 1991), Bárány-Kevei I. (1998) tárgyalta. Dolgozatunkban a mérsékeltövi és trópusi karsztokat elterjedten borító, genetikájában változatos, de alapvetően rubefikációs folyamatok okozta meghatározott összetételű és szerkezetű vörösföldek (Zámbó, L. – Ford, D. 2003) csapadékkal kapcsolatos viselkedését igyekszünk feltárni. A terepi mérések a feltételek bonyolultsága, a mérések költségessége és időigényessége, valamint a természetben el nem különíthető más hatások, a vizsgált tényező mozgását elfedő volta miatt, nem adhatnak kellően egzakt eredményeket. Az általunk kifejlesztett – s a hasonló külföldi berendezésekkel (Dimoyiannis, D. G. et al. 2001, Rickson, R. J. 2006) összevethető – esőszimulátorral végzett kisminta-kísérleteink az első feltárás tapasztalatlanságával terheltek, de adataink arra mutatnak, hogy a talajfekvés lejtőszög szerinti különbözőségei a karsztkorrózió hatásosságának feltárásában, következésképpen a felszíni formálás magyarázatában nem hagyhatók figyelmen kívül.

AZ ESŐSZIMULÁTOR SAJÁTOSÁGAI

Az esőszimulátorok talajtani – elsősorban talajeróziós – és felszínmorfológiai vizsgálatokra kialakított változatait az elmúlt évtizedekben több helyen tanulmá-

⁹² Kutatásainkat az NKFP-00028/2005 pályázat támogatta. További segítséget nyújtott az EU 6. keretprogram (No. 017841-2) NitroEurope projektje, valamint a GVOP műszerfejlesztési pályázata.

⁹³ Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Természetföldrajzi Tanszék. 1117 Budapest, Pázmány sétány 1/C.

nyoztuk: a Torontói Egyetemen (**Bryan, R. B.** 1979a, b, **Bryan, R. B. – Luk, S. H.** 1981), a CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) samfordi intézetében (Queensland, Australia), a kínai Tienyuan-ban (**Luk, S. H.** 1977) és a belgiumi Leuveni Katolikus Egyetemen (**de Ploey, J. et al.** 1976, **de Ploey, J.** 1981). A hazai berendezések közül figyelembe vettük a fejlesztés során az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézetében, valamint a **Góczán L.** által kifejlesztett és a Debreceni Egyetemen konstruált hordozható esőztető készüléket (**Kerényi A.** 1991), továbbá a BME Vízgazdálkodási Tanszékén kialakított nagyméretű, de csak művelt felszínek talajmintáinak beépítésére alkalmas esőztetőt.

A 2005-ben üzembe helyezett berendezésünk egy esőgenerátorból (cseppképző tálca), talajmintatartó egységből és egy mérés-adatgyűjtő rendszerből áll.

(i) A cseppképző tálca a talajmintatartó felett 8-9 m-es változtatható magasságban helyezkedik el, ami lehetővé teszi minden, a szabad légkörben előforduló cseppenergia előállítását (**Rickson, R. J.** 2006). A heves zivatarokban, ill. trópusi esőkben kialakuló esési sebességek is modellezhetők berendezésünkkel, ellentétben más, kisebb esési magasságú esőztetőkkel (vö. a 2,2 m-es torontói Edmonton-rendszerű, a 2,5 m-es tienyuani, illetve a 7,1 m-es leuveni berendezéssel). Az esőcseppek 2-6 mm közötti változtatható kezdeti indítási átmérővel rendelkeznek. A 0,5 m²-es tálcán a cseppkeletkezési pontok egymástól 5 cm távolságra találhatók. A kezdeti cseppátmérő a cseppképző pontok alakjának változtatásával manuálisan állítható. A csapadék intenzitását a víztartályban levő víz magasságával szabályozzuk. Beállíthatunk állandó, illetve a vízoszlop változásától függő csökkenő, v. növekvő csapadékintenzitást. Kísérleteinkben folyamatosan csökkenő (160-80 mm közötti) vízoszloppal dolgoztunk. Az intenzív záporok jellemzőit közelítettük 4-6 mm-es cseppátmérővel és egyenletes csapadékeloszlással (a cseppképző tálca folyamatos mozgásával).

(ii) A talajmintatartó 0,5 m²-es esőztetett talajfelszínnel rendelkezik, lejtésirányban 100 cm, a „falhatást” csökkentendő 50 cm széles, míg a mélysége (a talajszelvény vastagsága) 20 cm, ami alkalmas zavartalan szerkezetű *talajmonolit* beépítésére. A monolit mérete és átlagos tömege (~150 kg száraz tömeg) a kezelhetőség felső határát jelenti, de vastagságából és a mintatartó kialakításából következően alkalmas a *talaj vízbeszivárgási folyamatainak* (a karsztok vörösföldes talajtakarója átlagosan 10-20 cm) és azok kísérő tényezői (talajhőmérséklet, talajnedvesség, pH, talajlevegő CO₂-tartalom stb.) változásának folyamatos mérésére. A mintatartót kiegészíti az esőcseppek becsapódásakor röpített csepperóziós (splash) talajanyag és a vízfröccsenés 4 irányban (a lejtés irányában, ellenében és két oldalirányban) való mennyiségi és a splash-intenzitás folyamatos mérésére alkalmas gyűjtőcsatorna. A mintatartóba illeszkedő és a mintát annak kiemelésétől kezdve hordozó, 5 cm-es hálózatnak megfelelően perforált, a talajoldat kemizmusára közömbös műanyag *alaplemez* jelenti a karsztbeszivárgás átlagos drénrendszerének megfelelő mélységi elvezetés eszközét. Ez folytatódik abban a PVC csőrendszerben, ami lehetővé teszi a *karsztbeszivárgás* folyamatának mennyiségi, kémiai és hőmérsékleti nyomon követését. A mintatartó hossz tengelyének (1 m) megfelelően

kerül elhelyezésre a legnagyobb terepi lejtés irányában kiemelt talajmonolit. A térbeli helyzet a 0-45° közötti dőlésbeállítással rekonstruálható.

(iii) A mérés-adatgyűjtés során a légköri, a felszíni eróziós, áramlási és kéregképződési jelenségek, valamint a talajfelszín alatti szivárgási és fizikai-kémiai változások kerültek megfigyelésre. Ehhez felhasználtuk a talajmintába alulról és oldalról behelyezett érzékelők (talajhőmérséklet és talajnedvesség 3 szintben), továbbá a meteorológiai állapotmérőket (a légtér hőmérséklete és nedvessége, a csapadékhullás ideje) adatait, valamint az optikai (foto, video) regisztrációk eredményeit. A gyűjtött vízmintákat kémiai analízisnek is alávetettük. A szenzorokat számítógépes adatgyűjtőhöz csatlakoztattuk. A lefolyási, beszivárgási adatokat és a kifröccsent víz mennyiségét „billencsek” segítségével önálló adatgyűjtőkkel, illetve manuálisan is rögzítettük. Tízperces átlagolással dolgoztunk. Mértük az esőztető tartály vízszint változását, a csapadék intenzitását.

A VIZSGÁLT TALAJMINTA NÉHÁNY JELLEMZŐJE

A korróziós talaj-hatás feltárására a vörösföldek genetikailag még nem minden tekintetben ismert heterogén és a nagy talajrendszerekben csak körvonalazott, de egzaktul nehezen meghatározható csoportját választottuk, mert (i) a jellegzetes felszíni, felszínalatti morfológiájú karszterületek minden kontinens mérsékelt és trópusi övében megtalálhatók. (ii) a hasonló genetikai folyamatok (rubefikáció, vízgazdálkodás, Fe-, Al-oxidok felhalmozódása, szervesanyag tartalom, talajélet) következtében hasonló talajszerkezet, vízbefogadó- és áteresztőképesség, valamint karsztkorróziós agresszivitás jellemzi őket (*Zámbó, L.* 1991, 1992).

A FAO-UNESCO osztályozásban Lithosol-nak meghatározott monolit az Aggteleki-karszt Béke-barlang vízgyűjtőjének 7°-os lejtőjéről származik egy talajtanilag zavartalan vörösföld felhalmozódásból. A rubefikáció ismétlődő szakaszai során az oldható sók, köztük a karbonátok túlnyomórészt már kilúgozódtak, a kicserélhető bázisok jelentős része eltávozott, vas- és alumínium-oxidok dúsultak fel.

AZ ESŐZTETÉS MÓDSZERE

Az esőztetési vizsgálatok szakirodalmi tanúsága szerint nincs szabványszerűen elfogadott menetrendje a kísérleteknek. Vizsgálatunk egyúttal a hosszú idő alatt megvalósított esőszimulátorunk és a karszt-talaj monolit alkalmazhatóságának próbája is volt. Alapelvként a természetes geográfiai, klimatológiai és pedológiai körülmények megközelítését alkalmaztuk.

Az évekkel korábban kiemelt monolitot ezzel a céllal készült mintavevő ládában, lehetőség szerint védett állapotban tartva építettük be a mintatartóba, majd 8 napra terjedő két szakaszban előnedvesítettük, míg a talajnedvesség a mintaterület nyári átlagának megfelelő 30%-os talajnedvességi állapotba került. Ez hasonló a karsztok vörösföld talajainak fő előfordulási zónáiban (mérsékelt és trópusi) a

karsztosodásban leghatékonyabb heves, nagymennyiségű csapadék előtti, jellemző, átlagos talajnedvességi körülményekhez.

A talajmonolit erdővel fedett, aljnövényzettel alig benőtt, enyhén lejtős (7°) térszintről származván, felületén néhány elszáradt egyszikű növény- és avarmaradványokkal, 1-2 cm-es gyengén humuszos, a rendzinásodás kezdeti szakaszában lévő, vékony gyökereket alig tartalmazó, korábban nagyrészt erodált „A” szinttel került esőztetésre. A monolit teljes további mélységében az eredeti talajszelvény – amely fosszilis vörösgyag-lejtőhordalékon fejlődött ki – mintegy 30 cm vastag „B” szintjére jellemző 1-3 mm-es, erősen összecementálódott, éles-sarkos aggregátumnak alkotják a szerkezeti egységeket. Az aggregátumok közötti, szemcseméret szerint agyag-iszap összetételű, gyenge vízállóságú és alacsony folyáshatárú, erősen mállott frakció nem tölti ki a teljes teret, hanem a nagyon kis tágasságú pórusok (összefüggő és általában nyílt) rendszerét (~25-33%) fogja közre, amelyek a kapilláris szivárgási jelenségek csatornáit.

A szivárgás legszemléletesebb „kijelzője” a talajnedvesség változása. A kísérletekből – itt nem részletezve – általánosságban azt tapasztaltuk, hogy az esőztetés kezdete után 10-20 perccel, a szelvény mélységével arányosan a talajnedvesség 70%-os érték fölé emelkedett, s az idő teltével elérte a ~85%-ot, majd az esőztetés után a belső drénhatásra fokozatosan 30-40%-ra csökkent.

A 7-30°-os lejtéssel beállított kísérletsorozat az összehasonlíthatóság követelte egyöntetű hőmérsékleti feltételek biztosításával hajtottuk végre. A lég- és a talajhőmérséklet 24-25°C, míg a csapadékvíz hőmérséklete 25-26°C között volt. Az esőztetés időtartama minden esetben 180 percre terjedt. A cseppképző tartályban kialakított, kezdetkor 16 cm magas, majd fokozatosan 3 óra alatt 8 cm-re csökkenő vízoszlop (a cseppképző kapilláris csöveken keresztül érvényesülő) nyomása szabályozta az *esőintenzitást*. Az esőintenzitás menetének teljes egyöntetűsége az egyes kísérletekben, a cseppképző kapillárisok belső viszonyaiban bekövetkező időszakos változások miatt (pl. az ezidőszerint kiküszöbölhetetlen buborékképződés, vagy a mikro-szennyezések) nem volt megvalósítható, de egy *elfogadhatóan homogén* intenzitásváltozást sikerült biztosítani.

KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

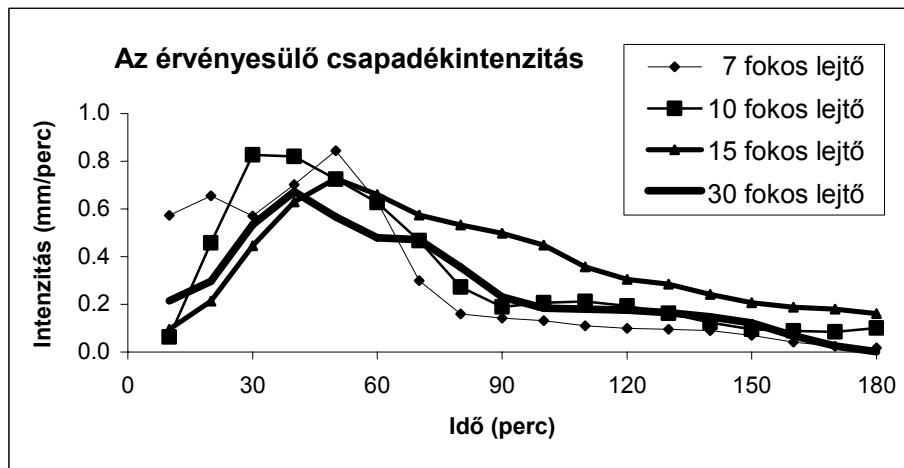
Az esőztetési kísérlet célja, hogy a vörösföldes talajborítású karsztokon a karszt-korrózióhoz leghatékonyabb (közepes időtartamú, változó intenzitású) csapadékesemények következményeként megvalósuló (i) lefolyásról, (ii) felszíni talajlefordásról, (iii) beszivárgásról a (iv) talajnedvesség változásáról, (v) agyagbemosódásról, a (vi) karbonát kimosódásáról a természetes folyamatokat jellemző adatokat nyerjünk úgy, hogy ezek alakulásában kifejezésre juthasson az esőintenzitás és a lejtőszög szerepe.

A *csapadékin-tenzitás* kísérleteink adataiban az ún. *érvényesülő csapadékin-tenzitást* jelenti, vagyis – mivel a kihulló csapadékmennyiséget különböző – rész-

ben az esőszimulátor konstrukciójából eredő, részben a talajpórusok feltöltésére szolgáló – veszteségek érték, az adott tíz percben lefolyásra, kifröccsenésre és beszívárgásra került vízmennyiséget vettük viszonyítási alapul és ennek alakulását mutatjuk be az 1. ábrán. Az érvényesülő csapadékintenzitás kijelzése valamennyi lejtés esetén késést mutat, amely a cseppképződés, az érzékelőig megtett út és az adatgyűjtés-digitalizálás időtartamaiból tevődik össze. Így az első 10-20 perces adatok mindenütt nagy bizonytalansággal terheltek. A billenőedényeknél előforduló dugulások, majd túlfolyások kompenzálására a bemutatásra kerülő 10 perces átlagokban – az első és az utolsó kivételével egy mozgó átlagos simítást végeztünk ennek alakja az f változóra és az i -edik mérési szakaszra:

$$\bar{f}_i = \frac{0,5f_{i-1} + f_i + 0,5f_{i+1}}{2}$$

(A további feldolgozásnál és a következtetések levonásánál mindezeket a bizonytalanságokat figyelembe kell venni).

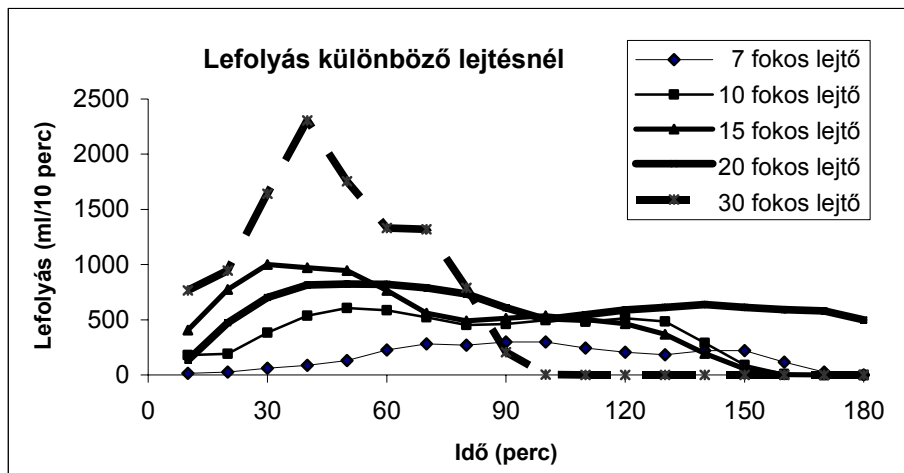


1. ábra Az érvényesülő csapadékintenzitás és az esőztetés kezdete óta eltelt idő különböző lejtőszögek esetén. A teljes lehullott csapadékmennyiség minden esetben ~80 mm volt
Figure 1 Realized rainfall intensity related to the time after the beginning of watering in case of various angles of slope, Total precipitation amount always was ~80 mm

Gyenge lejtésnél a maximum kettős csúcsú, tükrözve a csapadékvíz döntően beszívárgásra kerülését (ezen belül a póruslevegő kiszorítása okozta megtörést). *Erős lejtés* a csapadék drénezését időben előrehozza. Megállapítható, hogy az intenzív csapadék (0,6-0,8 mm/perc) minden lejtőmeredekség esetében a csapadék kezdetétől számított 20-50 perc között a leghatásosabb a talajállapot változásában, s ennek megfelelően az alatta bekövetkező karsztkorrózióban is. A cseppképző vízoszlop, a szimulátor működését illetően, 16-13 cm magasság között a legproduktívabb. A kísérletekben az 50-90 perc között előállt 0,6-0,15 mm/perc értékű érvényesülő csapadékintenzitás a gyenge, tartós záporoszerű csapadék hatásának fe-

lel meg. A 90-180 perc közötti szakasz (<0,15 mm/perc) a tartós esők karsztosító hatását tükrözi. Erős lejtés esetén a csapadék hatásossága az eső befejeztével gyakorlatilag megszűnik.

A *felszíni lefolyás* menetét lejtés szerinti összehasonlításban a 2. ábra mutatja. A lefolyás, s vele a felszíni erózió a lejtősséggel nem lineárisan, hanem azt meghaladóan növekedett. A görbe matematikai leírásához azonban kísérleteink száma nem elégséges. 7-15°-os lejtésnél a lefolyás vízfilm jellegű lassú vízmozgás, amely 0,1 mm/perc intenzitás alatt leáll.



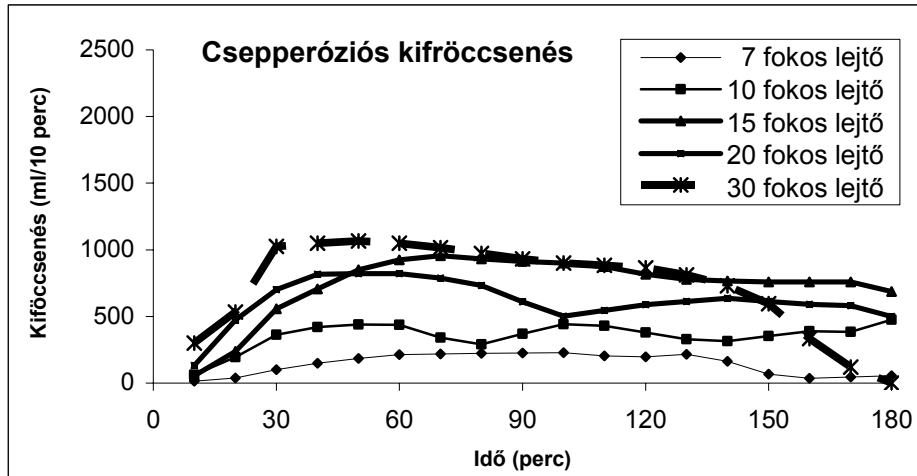
2. ábra A lefolyás az esőztetés kezdete óta eltelt idő függvényében. A teljes lehullott csapadék minden esetben ~80 mm, a 0,5 m²-es esőztető tálcára vonatkoztatva ~40 000 ml

Figure 2 Runoff related to the time after the beginning of watering.

Total precipitation was ~ 80 mm, related to the 0.5 m² splash-board is ~ 40 000 ml

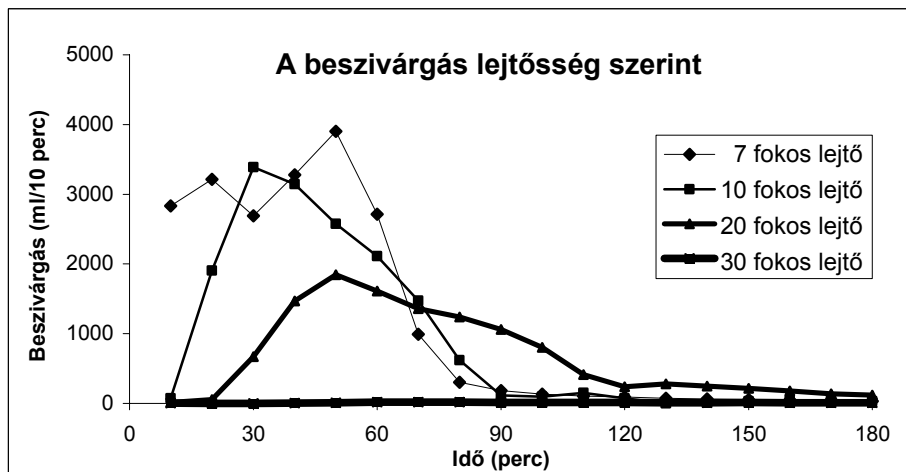
20°-os lejtésnél a lefolyás kis intenzitású, állandósult folyamat, amely időben túlmegy az esőzés időtartamán. 20°-nál nagyobb lejtés esetén – a csapadék intenzitástól függő – erősen erodáló lefolyással találkozunk, ami a 0,15 mm/perc csapadékintenzitás alatt megszűnik.

A *csepperóziós kifröccsenés* a vörösföldeken a lejtőszöggel közel lineárisan növekvő jelenség, amely a felszíni konzisztencia váltás után szinte a csapadékintenzitástól független, állandósultan magas értékű folyamat, amelyet a cseppenergia határoz meg (3. ábra). A vörösföldek legproduktívabb eróziós és transzportációs formájának tűnik. Terepen a kifröccsent víz- és talajmennyiség gyakorlatilag maradék nélkül pótlódik a „szomszédságból” hasonlóan átfroccsent mennyiséggel, amely a továbbiakban nagyobb rész a lefolyást növeli, így átfogó számításokban ahhoz adható. Más talajtípusokon megjelenésformáit **Kerényi A.** (1991) vizsgálta behatóan, megállapításai vörösföldekre is alkalmazhatóak. A kifröccsenés lejtéshez viszonyított orientációját nem mértük – e tekintetben további eredmények várhatók.



3. ábra A csepperóziós kifröccsenés az esőztetés kezdete óta eltelt idő függvényében
 Figure 3 Splash erosion outwash related to the time after the beginning of watering

A beszivárgás a vörösföldeken elsősorban a lejtősségtől függő, de a talajszerkezet által is meghatározott folyamat. Kísérleteink száma nem teszi lehetővé az összefüggés matematikai formulázását, de kimutatja a karsztosodásban feltételként megjelenő beszivárgás érvényesülését és a lejtősségtől való függését (4. ábra). Megállapítható, hogy 20-25°-os lejtés alatt a csapadék döntő része ezen a módon dréneződik. Valószínűsíthető, hogy ~0,15 mm/perc csapadékin tenzitás alatt – feltételezhetőleg a felszíni víznyomás, cseppnyomás(?) hiányában – a talajkapillaritás sajátosságai következtében a talajba szivárgó vízmennyiség még gyenge lejtősség esetén sem a karszt vízrendszerében folytatja az útját; a talajtakaró vízforgalmát növeli.

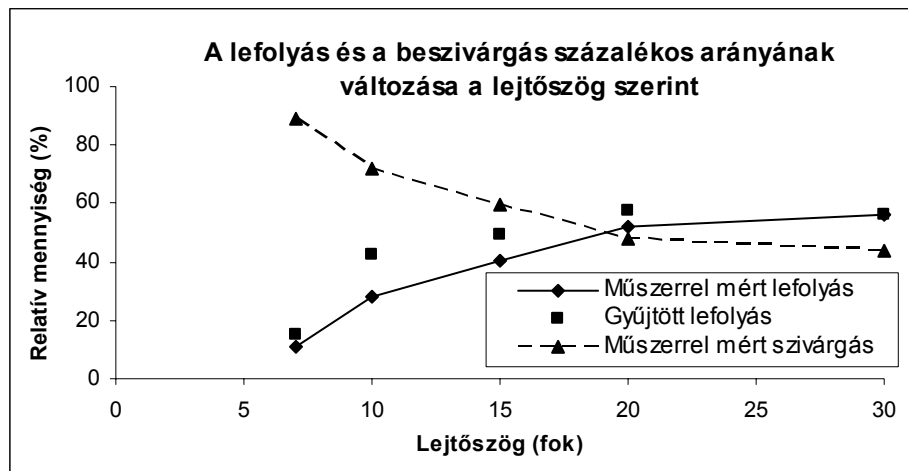


4. ábra A beszivárgás az esőztetés kezdete óta eltelt idő függvényében
 Figure 4 Infiltration related to the time of the beginning of watering

Lejtőszög szerinti elemzésben: (i) 0-20°-os lejtéstartományban, 0,15 mm/perc intenzitás feletti csapadéknál a lejtéssel fordított arányban változó, de túlnyomórészt elvezetés (belső drén) teszi lehetővé a beszivárgást. (ii) >20°-os lejtésnél a vörösföld-borítás felszínén a felszíni lefolyás a vízelvezetés fő módja; 0,1-0,15 mm/perc intenzitásérték alatt a beszivárgás mennyisége jelentéktelenné válik.

Az esőztető mintatartóban kialakított belső drénezettség a jól repedezett tagított rérendszerű karsztokénak felel meg. Ennek alapján feltételezhető, hogy az Aggteleki-karszt részrendszerének átlagos vízvezetése hasonlóan működik, mint a kísérletünkben megfigyelhető belső elvezetés.

A lejtősség szerepét a lefolyás és a beszivárgás arányának alakulásában az 5. ábra mutatja. A vörösföld borítású karsztfelszíneken a jelentős értékű (3 órás), fele időtartamban intenzív (> 0,15 mm/perc) csapadékesemények vize általánosságban a következőképpen oszlik meg: (i) 5-10°-os (legkiterjedtebb) felszíneken a csapadék 70-90%-a beszivárog, 10-30%-a lefolyik. (ii) a 10-20°-os lejtőkön a csapadék 70-50%-a szivárog be, míg a lefolyás értéke már 30-50%, (iii) 20-30°-os lejtőkön a lefolyás eléri a csapadék 95%-át, a beszivárgás mindössze 5%. A nagy lejtőszög miatt az esőzés után több napig regisztráltunk még beszivárgást az először telített talajból. Ez 40%-kal meghaladta a csapadékhullás során regisztrált beszivárgás értéket. A víz a lejtőirányú leszivárgásból származott, amely a nagy dőlés miatt a talajzónában migrálva kerül végső soron a mélyebb rétegekbe.



5. ábra A lefolyás és a beszivárgás százalékos arányának változása a lejtőszög szerint
Figure 5 Changing of the ratio of runoff to infiltration according to the angle of the slope

KARSZTMORFOLÓGIAI, KARSZTHIDROLÓGIAI KÖVETKEZTETÉSEK

A szimulátoros esőztetés alkalmasnak bizonyult a csapadékvíz útjának nyomon követésére a talajzóna térségében. A kísérleti adatok bizonyították, hogy a korróziós talajhatásban nagyjelentőségű csapadékbeszivárgási hányad nem egyön-

tetűen, egyetlen hidrológiai tényezőként vehető számításba. Az összesített beszivárgás térben és időben különbözőképp érvényesülő tényezőktől függő részmenyiségekként jelenik meg a karsztkorróziós folyamatokban.

A kísérleti adatok alátámasztják azt a korábbi feltevést, hogy a vörösföld borítás sajátosan irányítja a csapadék beszivárgás-lefolyás megosztást, sőt e nagy rendszeren belül a felső talajtakaróban további vízmegosztás is fellép, amely a karsztkorrózióban, a karsztmorfológiai alakulásban játszik szerepeket.

A lejtősség (a lejtő hajlásszöge) a korróziós talajhatást alapvetően irányítja és a korróziós folyamatok erősségének, időtartamának egyik meghatározója. Következésképpen a felszínközeli karsztmorfológia nem magyarázható figyelembevétele nélkül. Az esőszimulátoros kísérleti módszer alkalmazásától a közepes méretű karsztformák (víznyelők, töbrök, sziklaalakzatok, nagyméretű karsztok, zsombolyok stb.) genetikai magyarázatának jelentős pontosítása várható.

A karsztokon területileg jelentős kiterjedésben előforduló különböző típusú talajok, vagy talajcsoportok karszthidrológiai hatása hasonló kísérletekkel feltárható. Ez a közeli jövő feladata.

IRODALOM

- Bárány, I.** 1980. Some data about the physical and chemical properties of soil of karst dolines. *Acta Geographica Szegedensis* 20. pp. 37-49.
- Bárány, I.** 1991. Distinction of doline types based on ecological and morphometric parameters. Conference on the karst in Hungary. pp. 47-54.
- Bárány-Kevei, I.** 1998. Geoecological system of karts. *Acta Carsologica* 27/1. Ljubljana. pp. 13-24.
- Bryan, R. B.** 1979a. An improved rain simulator for use in erosion research. *Canadian Research of Earth Sciences* 7. pp. 1552-1561.
- Bryan, R. B.** 1979b. The influence of slope angle on soil entrainment by sheetwash and rainsplash. *Earth Surface Process* 4. pp. 43-58.
- Bryan, R. B. – Luk, S. H.** 1981. Laboratory experiments on the variation of soil loss under simulated rainfall. *Geoderma* 26. pp. 245-265.
- de Ploey, J.** 1981. Some laboratory techniques for investigating land erosion. In: *Erosion and Sediment Transport Measurement*. IAHS Publication. 133. pp. 423-431.
- de Ploey, J. – Savat, J. – Moeyersons, J.** 1976. The differential impact of some soil loss factors on flow, runoff creep and rainwash. *Earth Surface Processes* 1. pp. 151-161.
- Dimoyiannis, D. G. – Valmis, S. – Vyrlas, P.** 2001. A rainfall simulation study of erosion of some calcareous soils. *Global Nest: the int J.* 3/3. pp. 179-193.
- Kerényi A.** 1991. Talajerózió. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Luk, S. H.** 1977. Rainfall erosion of some Alberta soils: a laboratory simulation study. *Catena* 3. pp. 295-320.
- Rickson R. J.** 2006. Experimental techniques for erosion studies: Rainfall simulation. Manuscript. Cranfield University at Silsoe UK. p. 50. (http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/staff/cv/rainfall_simulation.pdf).
- Zámbó, L.** 1991. The soil effect in karst development. *Int. Conf. on Environmental Changes in Karst Area*. Padova. pp. 333-339.
- Zámbó, L.** 1992. The soil effect in karst corrosion. *Studies in Geography in Hungary* 27. MTA RKI. pp. 1-10.
- Zámbó, L. – Ford, D.** 2003. Corrosional factors of the epikarst. Soil effect on karst processes. pp. 7-18.