

BARNAFÖLD ERÓZIÓÉRZÉKENYSÉGÉNEK VIZSGÁLATA ESŐZTETÉSEL A TETVES-PATAK VÍZGYŰJTŐJÉN

JAKAB GERGELY, SZALAI ZOLTÁN

MTA Földrajztudományi Kutató Intézet Természetföldrajzi Osztály
1112 Budapest, Budaörsi út 45. e-mail: jakabg@mtafki.hu

Kulcsszavak: eső-szimulátor, felületi lefolyás, hordalék mechanikai összetétele, K-tényező

Összefoglalás: A Tetves-patak vízgyűjtő területe a Balaton déli részvízgyűjtőjéhez tartozik, kiterjedése 100.2 km². A vízgyűjtő terület D-i határát – a külső-somogyi meridionális völgyekre jellemzően – völgyi vízválasztó képezi. A patak főmedrének hossza 25.1 km, folyásiránya D–É. A patak Balatonlelétől keletre torkollik a Balatonba. A vízgyűjtő tengerszint feletti magassága 105-302 m között változik. Felső szakasza erősen szabdalt, vízmosásokkal tarkított, míg az alsó szakasza síkvidékinek mondható. A kutatási téma keretében kialakításra került négy darab szabványosított mérőparcella a természetes csapadékok erodáló hatását számszerűsítik több éven át. A hazánkban előforduló, szélsőséges, évenkénti csapadékingadozás hatását a hosszú távú mérések jelentősen csökkentik. A parcellák száma és a több éves mérésorozat lehetőséget biztosít a különböző növénykultúrák talajvédő hatásának vizsgálatára is. Az így nyert adatok jól reprezentálják a vizsgált talajtípus, lejtés, fedettség, kiettség stb. által meghatározott erodálhatóságot. Az ettől eltérő viszonyokra való kiterjeszhetőségük vizsgálatára olyan módszert kerestünk, mely a környezeti feltételek bármely kombinációjában használható, rövid idő alatt eredményt ad és a mért értékek egymással összehasonlíthatók. A mesterséges esőztetés ezen követelményeket teljesíti, gyakorlatilag bárhol lehetőséget biztosít a vizsgálatra, ahol a lejtés nem haladja meg a 30 %-ot és a növényzet nem magasabb 3 méternél. Nagy előnye, hogy adott intenzitású és időtartamú csapadékeseményt bármikor és bárhol képes reprodukálni, miáltal az eredmények összehasonlíthatóvá válnak. A módszer alkalmazhatóságát a Veszprémi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Karának tulajdonában lévő Pannon R-02 eső-szimulátorral vizsgáltuk.

Bevezetés

A talajerózió jelentősége Külső-Somogyban és ezen belül a Tetves-patak vízgyűjtő területén a Napóleoni háborúk időszakában nőtt meg. Ezen időszakban jelentős erdőirtások történtek a vízgyűjtő nagyobb relief energiával rendelkező területein is, miáltal a talajpusztulás mértéke is fokozódott. A következő nagyarányú változást a mezőgazdaság gépesítése és a táblák tömbösítése jelentette. Ekkor olyan területek is szántóföldi művelésbe kerültek, melyeken ennek hatására nagyfokú talajpusztulás indult meg. A XX század végén a Balaton eutrofizációjának felgyorsulásával megnőtt a tudományos érdeklődés a talajerózió, mint a folyamat egyik kiváltó oka iránt. Átfogó tanulmányok készültek a Balatont érő, mezőgazdasági eredetű terhelések formáiról és mértékéről (TERVEZŐ ÉS TANÁCSADÓ AGROBER RT 1995, DATE MEZŐGAZDASÁGI VÍZ- ÉS KÖRNYEZETGAZDÁLKODÁSI KAR 1998).

A talajok erózióval szembeni érzékenységét vizsgálva a USLE (WISCHMEIER és SMITH 1978) K tényezőjének mérése is szükségszerűvé vált. E vizsgálatok részben a természetes esők talajpusztító hatását számszerűsítették kísérleti parcellákon (KERTÉSZ és RICHTER 1997, MÉSZÁROS és JAKAB 2001), részben szimulált csapadékok által okozott elhordást mértek (KERTÉSZ és RICHTER 1997, CSEPINSZKY et al. 1998, 1999, CENTERI 2002a, 2002b, 2002c). A külföldi mérések eredményeit felhasználva több olyan összefüggést is leírtak, mely a talaj fizikai tulajdonságai alapján határozza meg a K tényező értékét (WISCHMEIER és SMITH 1978; MSZ/T 20133:2000). Ezek azonban csak közelítő

pontosságú értéket adnak, és a hazai körülményekre való kalibrálásuk sem tökéletes még. A kalibrálást csak megfelelő mennyiségű hazai mért adat birtokában lehet elvégezni. Bár a mesterséges esőztetés elsősorban a talajok in situ víznyelését és vízáteresztését hivatott mérni (POULENARD et al. 2001, ROBICHAUD 2000, VAN DIJCK és VAN ASCH 2002), bizonyos megkötésekkel alkalmas lehet a talajok erodálhatóságának, azaz a K tényező meghatározására is (CENTERI 2001a, CENTERI et al. 2003).

Az eső-szimulátor első hazai alkalmazása a talajerózió mérésében KAZÓ (1966) nevéhez fűződik. Annak ellenére, hogy a külföldi kutatásokban meghatározó módszerré vált (MORGAN et al. 1997, ROBICHAUD 2000); itthon egészen 1995-ig feledésbe merült. A módszer sokoldalúságát és alkalmazhatóságát az alábbi mérési eredményekkel kívánjuk alátámasztani.

Anyag és módszer

Méréseinket Somogy megyében, Visz község határában, a vízgyűjtő felső szakaszán végeztük. A vízgyűjtő talajainak elterjedése szoros összefüggést mutat a domborzattal. A magasabb térszín löszhátain az agyagbemosódásos barna erdőtalajok (luvisols) különböző mértékben erodált változatai fedik a felszínt. A mélyebben fekvő, nagyrészt homokosabb részeket a barnaföld típusúhoz tartozó talajok (cambisols) jellemzik. Az erózió által jobban sújtott területeken előfordulnak a földes kopárok (regosols). A völgyben, a vízfolyás mindkét partján az öntésréti talaj (fluvisols) a jellemző talajtípus. A Balaton partját homokturzásokkal elválasztott, lefűződött öblök, kiszélesedett völgyek kísérik. A berkek lecsapolt síkláp talajai (histosols) javarészt a felhalmozódás térszínei. Korábban az elmosarasodott területeken jelentős mennyiségű tőzeg halmozódott fel.

A vizsgálni kívánt parcellákat barnaföldön, egy Ny-i kitétségű 9 %-os lejtőn jelöltük ki. A vizsgált parcellák feltalajából (0–25cm, AB szint) vett minták alapján a talaj pH-ja 7.9, humusz tartalma 1.19 %, CaCO₃ tartalma 4.7 %, mechanikai összetétele pedig az alábbiak szerint alakult (1. táblázat).

1. táblázat A vizsgált feltalaj mechanikai összetétele
Table 1. Particle size distribution of the investigated topsoil

	<0.002	0.002–0.005	0.005–0.01	0.01–0.02	0.02–0.05	0.05–0.1	0.1–0.2	0.2–0.5	0.5<
0–25cm	21.2	5.3	6.7	12.9	12.8	31.5	7.9	1.3	0.4

A Pannon R-02 eső-szimulátor a csoportos cseppképzés elvén működik, az öntözött terület nagysága kb. 24 m², a vizsgált parcella területe 12 m². A mesterséges eső előállítására a VEE-JET 80150 típusú szórófejeket alkalmaztuk, 41 kPa víznyomás mellett. Méréseink szerint e nyomásérték mellett a mesterséges és természetes zápor cseppspektruma közel azonos és a 3 m magasból talajfelszínre érkező cseppek elérik a szabadesés állapotát, azaz kinetikus energiájuk megegyezik az azonos cseppösszetételű természetes záporéval. Az esőztetés folyamán az egyenletesség és az esőterhelés mértékét mérésenként a hosszabb oldalak mentén, a talajon 50 cm-enként elhelyezett 113 cm² felületű mintavevő-edények segítségével követtük. Azt tapasztaltuk, hogy enyhén szeles időben sem csökkent a berendezés szórás egyenletessége a még elfogadható Christiansen-féle

80% szórás egyenletesség alá. Az esetleges párolgási veszteségek miatt ellenőriztük folyamatosan a csapadékterhelést a talaj felszínén. Két, lejtőirányban hat méter hosszú és két méter széles parcellát vizsgáltunk. A parcella határán az elfolyás, illetve a hozzáfolyás meggátlása érdekében kerítést helyeztünk el (CSEPINSZKY és JAKAB 1999). Az egyik terület frissen kapált, teljesen fedetlen (2 jelű mérések), míg a másik ülepedett, 86 %-ban lágyszárú növényzettel borított (1 jelű mérések) volt. Mindkét parcellát hat eltérő intenzitású (30–150 mm/h) esővel terheltük, miközben mértük a folyamatidőt, az elfolyó víz mennyiségét és szárazanyag tartalmát. A parcellákon végzett első esőztetés eredményeit nem vettük figyelembe, ezek az öntözések a kerítések lehelyezésekor keletkező talajsebzések elfedésére, valamint a talajnedvességgel való feltöltésére szolgáltak. Az értékelhető méréseket a beöntözés után 24h-val végeztük, immár közel szántóföldi vízkapacitásig feltöltött nedvességtartalmú talajon.

A víznyelő és vízáteresztő képesség meghatározása

Adott talaj pillanatnyi erodálhatóságának mértékében meghatározó jelentőségű érték a vízáteresztő képesség (VÁRALLYAY 1989). Ennek meghatározása mesterséges esőztetéssel is lehetséges. A módszer nagy előnye, hogy a hagyományos módszerekkel (keretes beáztatás, laboratóriumban vizsgált, bolygatatlan talajminta, stb.) szemben a helyszínen, természetes körülmények között, „in situ” mérhető, a vizsgált terület pedig 12 m², mely nagyságából adódóan sokkal jobban tükrözi a talaj inhomogenitását.

Adott nedvességtartalmú talaj a felületére érkező csapadékot – annak intenzitásától függően – részint elnyeli, részint a felszínen elvezeti. Amint az közismert, a talaj víznyelő képessége nagyban függ annak nedvességi állapotától. A száraz talajra érkező csapadék kezdetben nagy intenzitással szívárogo a talajba és – többek között – kötődik az ott található agyagásványokhoz. Ezek a vízfelvétel során megduzzadnak, ennek következtében leszűkítik a talaj gravitációs pórusteret. A gravitációs pórustér lecsökkenésének következményeként a talaj vízbefogadó képessége is folyamatosan csökken. A csökkenés mértéke egyre inkább lassul, míg végül a felszíni rétegben található összes talajkolloid és agyagásvány beduzzad, a pórustér nem szűkül tovább és a talajréteg nem képes további víz befogadására. Ebben az állapotban a felszínről csak annyi víz jut a talajba, amennyi a rétegből lefelé (esetleg oldalt) eltávozni képes. A talajréteg ilyen módon beálló konstans víznyelését nevezzük vízáteresztésnek. HORTON (1933) szerint a víznyelés intenzitása a talajban, időben exponenciálisan csökken egy bizonyos állandó értékig (vízáteresztés). Az egymás alatt elhelyezkedő rétegek eltérő tulajdonságaiból adódóan a terület vízáteresztését a felszínhez közeli legkisebb vízáteresztésű réteg limitálja (STEFANOVITS 1992).

A mérések során a parcellát egy adott intenzitású esővel folyamatosan öntözve addig nem tapasztalható felszíni elfolyás, míg a talaj vízáteresztő képessége nagyobb az eső intenzitásánál. Abban a pillanatban, amikor e két érték egyenlővé válik, a talaj felszínén megjelenik a lassan lefelé mozgó vízfilm (a talaj kifényesedik). Ettől kezdődően a vízfolyás intenzitása folyamatosan növekszik, fordított arányosságban a talaj víznyelő képességének csökkenésével.

Az esőztetés megindításának pillanatában a vezérlő számítógép elkezd mérni a folyamatidőt, így a kifényesedéshez, az elfolyás megindulásához és a pillanatnyi elfolyás-intenzitásokhoz időértékek rendelhetők. Mivel a vízáteresztés beállása az esőztetés meg-

kezdése után esetenként órák múlva következnek be, valamint a víznyelési periódus végén az elfolyásintenzitás értékek változása igen csekély, így olyan módszert kerestünk, mely viszonylag rövid idő alatt megbízható eredményt ad.

A talajfelszínről lefolyó víz ülepedő- és oldott-anyag tartalmának vizsgálata

A talajfelszínre érkező víz tápanyagelhordó hatása két alapvető módon valósul meg:

I. A talajra érkező és oda beszivárogni képtelen víz a gravitáció hatására megindul a lejtőn, magával sodorva – energiájától és mennyiségétől függően – kisebb nagyobb talajszemcséket. A területről ily módon eltávozó szilárd fázis az élővizek szennyeződésében kisebb szerepet játszik, hiszen a mozgási energia csökkenésével a szállított anyagok nagy része kiülepedik, a lejtő alján szedimentálódik.

II. A talajra érkező vízcsepp „lefelé” igyekszik. Ha lehetősége nyílik rá, a rövidebb úton a talajba szivárog, ha pedig ez az út ideiglenesen el van zárva más vízcseppek által, úgy a hosszabb úton a lejtőn megindulva mozdul el a felszínen. Bármelyik utat választja is, folytonosan ütközik, súrlódik a talajszemcsékhez, ezáltal oldva a szemcsék felületén található anyagok és ionok egy részét. A területről ily módon távozó anyagok jelentős része eljut egészen a talajvízig, illetve a felszíni vizekig, tavak esetében elősegítve az eutrofizáció folyamatát.

Ezek alapján fontosnak találtuk az elfolyó zagy fázisokra bontását és a fázisok külön-külön vizsgálatát. A parcelláról lefolyó zagyot vödörökben fogtuk fel, majd 48 órán keresztül ülepedni hagytuk. A teljes ülepedés után a folyadék fázist eltávolítva, a talajt szárítószekrényben súlyállandóságig szárítottuk.

Az elhordott ülepedő anyag

A folyamat bekövetkeztéhez alapvetően szükséges, hogy a víz rendelkezék akkora energiával, mely képes legyőzni a talajszemcsék, mikroaggregátumok egymást összetartó erejét. Ez az energia egyrészt kémiai, másrészt mozgási energia lehet, melyek kiegészítik egymás hatását. Ha a talaj már nem képes magába fogadni a felületére érkező vizet, az a lejtőn megindulva a nedvesség által már peptizált aggregátumokat könnyen megbontja, és magával ragadja. A lefelé hulló csepp – átmérőjétől függően – jelentős kinetikai energiával rendelkezik. Becsapódáskor ezen energia egy része az aggregátumok „szétrobbanását” okozza (csepperózió). A csepperózió jelensége akkor válik különösen számottevővé, ha a területen már kialakult a felszínt borító, lassan lefelé mozgó vízfilm. A szétrobbanó szemcsék törmelékei így ugyanis nem a talaj felszínére hullnak vissza, hanem a lefelé mozgó vízrétegre, mely ez esetben sokkal könnyebben ragadja azokat magával (KERÉNYI 1991).

Az elhordott ülepedő anyag szemcsemérete

A mesterséges esőztetés során vizsgáltuk a parcellát elhagyó zagy szárazanyag tartalmának szemcseösszetételét is. A mechanikai összetétel változását megpróbáltuk az egyes kezeléseken belül az idő függvényében vizsgálni, másrészt a kezeléseken belüli mintákat átlagolva kapcsolatot kerestünk az alkalmazott esőintenzitás és az elhordott anyag mechanikai összetétele között. Parcellánként négy esőintenzitást mintáztunk. A különböző intenzitású kezeléseken mintákat vettünk az elfolyó zagyból az elfolyás megindulásakor, a mérés közepén, végül az esőztetés befejezésekor. A mintákat Analysette

22 típusú lézeres szemcseösszetétel vizsgáló készülékkel elemeztük. A minták egzakt módon történő összehasonlításához olyan minden mintára jellemző értéket kerestünk, mely e feltételnek eleget tesz. Ezért választottuk a mediánt, mint mérőszámot az egyes minták jellemzésére (CSEPINSZKY et al. 1998).

Az oldott állapotban elhordott anyag jellemzése

A felszínen mozgó víz alapvetően kétféle módon távozhat. Lejtőirányba megindulva a talaj felületén, vagy a felszín alatt. Az utóbbi jelenség akkor következik be, ha a talajba jutott víz függőleges leszivárgása során egy olyan talajrétegbe ütközik, melynek vízátteresztése jelentősen kisebb a fölötte elhelyezkedő, felszíni réteg vízátteresztésénél. Szántóföldi természetbe vont területek esetében a helytelen talajművelés (éveken át ismétlődő, azonos mélységű szántás mélyművelés nélkül) hatására gyorsan kialakulhat az ún. eketalp réteg, mely gravitációs és kapilláris pórustérének nagymértékű csökkenése miatt vízgazdálkodásilag jelentős eltéréseket mutat, szinte vízzáróvá válik (szélsőséges esetekben). Mivel e réteg a talajművelés eredményeként jön létre, ezért az egész művelt területen ugyanabban a mélységben (25–30 cm), a talajfelszínnel párhuzamosan megtalálható. Felszínén a felgyülemlett víz csakúgy, mint a talajfelszín esetében megindul a lejtés irányba. A felszín alatti elfolyás jelenségét eső-szimulátoros méréseink során sok helyen megfigyeltük, de sem mértékét, sem beltartalmi értékeit nem vizsgáltuk.

Az esőztetések során természetes esővíz hiányában vezetékes csapvizet használtunk. Az eltérés e vizek beltartalmi értékei között a talaj víznyelése és vízátteresztése, valamint a szállított szervesanyag szempontjából elhanyagolható, azonban az oldott anyagok vizsgálatakor tekintettel kell lennünk az öntözővíz összetételére. Az esővíz nagyon kevés oldott anyagot tartalmaz, szemben a csapvízzel, melynek keménysége a viszi mérések esetében meghaladta a 16 NK-ot.

A „K” erodálhatósági tényező meghatározása

Az erodálhatóság minden talaj konkrét, számszerű jellemzője, mely megmutatja, hogy azonos lejtés, fedettség, művelés és csapadék viszonyok között az adott talajról mennyi hordalék távozik. Értéke nem köthető egyes talajtulajdonságokhoz, de több jellemzővel is szoros korrelációban áll. Meghatározása talajtani paraméterek alapján, számítással, vagy az általános talajvesztéségi egyenlet felhasználásával kísérleti mérések útján végezhető (KERTÉSZ 1999). Az egyenlet a következő:

$$A = R * K * L * S * C * P, \text{ ahol:}$$

A = egységnyi területre eső, egységnyi idő alatt fellépő talajvesztés ($t \cdot ha^{-1}$);

R = erozivitás ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot év^{-1}$), egységnyi idő alatt a területet terhelő záporok eróziópotenciálja;

K = a talaj erodálhatóságát kifejező tényező ($t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$);

L = a lejtőhosszúság tényezője;

S = a lejtőhajlás tényezője;

C = a növénytermesztés és gazdálkodásmód tényezője;

P = a talajvédelmi eljárások tényezője.

Mint ismeretes, a felsorolt tényezők számszerű adatait az USA-ban folytatott nagy tömegű kísérlet adatai alapján határozták meg és kapcsolták össze tapasztalati alapon. A vizsgálatok 22,1 m hosszú, 9% lejtésű, hegy-völgy irányban művelt, legalább 2 évig szántott, de növénymentesen tartott parcellákon folytak, ilyen körülmények között mérték az elhordott talaj mennyiségét. Vagyis az L, S, C, P tényezők a fent leírt állapotban tekinthetők standardnak, azaz értékük ilyenkor 1. Tehát e parcellákon az elhordott talaj mennyisége az erozivitás (R) és a talaj erodálhatóságának (K) szorzatára egyszerűsödik. Ilyen, standard körülményekkel bíró parcellák telepítésével, a körülmények fenntartásával valamint az elhordás és esőterhelés pontos nyomon követésével mérés útján meghatározható a K érték.

A kísérleti méréseket továbbfejlesztve újabb parcellák felállítására került sor. Ezek a parcellák az eredeti, standard parcelláktól csak egy meghatározott tényezőt tekintve különböznek. Az ily módon nyert új lefolyásértékek összehasonlítva az eredeti parcellák lefolyásértékeivel lehetőséget adtak a vizsgált tényező számszerű értékének meghatározására. Ennek alapján, kellő számú mérés birtokában meghatározható az összefüggés a tényező egyenletbeli értéke és a területi adottság között, vagyis minden egyes lejtőhajláshoz tartozik egy S érték, lejtőhosszhoz L érték stb. (WISCHMEIER és SMITH 1978).

Az L, S, C, P tényezők tehát dimenzió nélküli viszonyszámok, melyek azt mutatják meg, hogy a vizsgált terület lejtése vagy lejtőhossza mekkora hatással van a talaj-elhordásra a 9%-os vagy 22,1 m hosszú lejtőhöz képest. Vagyis az „A” talajelhordás t/ha/időszak mértékegysége kizárólagosan az $R * K$ szorzatból vezethető le.

Az eső-szimulátoros mérések során állandó területnagyságot (6 m hosszú*2 m széles) öntözünk a lejtés, az esőintenzitás (potenciál) ismeretében és az elhordás mérésével. Ha ezeket a vizsgálatokat – az egyszerűség kedvéért – lejtőirányban művelt fekete ugaron végezzük, úgy a C, P tényezők értéke 1, az L, S tényezők értéke táblázatból meghatározható, az R értékét tetszőlegesen változtathatjuk, az A értékét pedig mérjük. Vagyis az egyenletből a K kivételével minden érték ismert, így lehetőség nyílik annak meghatározására. (CENTERI 2002a).

Mivel az egyenletet eredetileg hosszabb időtáv összesített adataival dolgozik, ezért az egyedi mérések eredményei eltérhetnek a K érték meghatározásánál. A fekete ugar kritérium két évig növénymentesen tartott, de folyamatosan művelt (évente szántás és vetőágy készítés, gyomosodás és kéregképződés ellen alkalmankénti kultivátorozás) területet jelent. Nyilvánvaló, hogy a szántást követő napon más lesz a talaj vízbefogadó képessége, erodálhatósága, mint vetőágy készítéskor vagy hosszasan bolygatatlan állapotban, ülepedetten. Éves viszonylatban ezek az értékek átlagolódnak, de az egyedi, egy csapadékeseményre korlátozott, eső-szimulátoros mérések a talaj pillanatnyi állapotát tükrözik, így e módszerrel a K érték ingadozhat. Ugyanez elmondható a talaj egyéb paramétereiről is (pl. nedvességtartalom).

Eredmények

A víznyelő és vízáteresztő képesség meghatározása

Az elfolyásintenzitás értékeit időtengelyen ábrázolva – a HORTON (1933) által felállított modell segítségével – meghatározható az a függvény, mely a két változó összefüggését

írja le. Az éppen vizsgált terület speciális vízgazdálkodási adottságai az összefüggésben paraméterként jelennek meg, így maga az egyenlet komplex módon, globálisan alkalmazható. Ha tehát a mérés folyamán meghatározunk kellő számú, folyamatidőhöz rendelt, pillanatnyi elfolyásintenzitás értéket (vagyis állandó csapadékintenzitás mellett mérjük a területről egységnyi idő alatt lefolyó elhordás mennyiségét), úgy ezekre a „pontokra” már nagy biztonsággal illeszthető a fent említett összefüggés. Az illesztés során az egyenlet paramétereit a vizsgált terület sajátosságai szerint módosítva, iterációs lépések során jutunk el azok helyes, a területet valóban jellemző értékéig. Vagyis a mérés során nem kell az esőztetést addig folytatni, míg elérkezik a konstans vízáteresztés, hanem elegendő mért „pont” birtokában az befejezhető (CSEPINSZKY et al. 1999). Az összefüggés általános formája a következő:

$$Y = P_0 * (x - P_1) - (P_0 / P_2) * (1 - \exp(-P_2 * (x - P_1)))$$

Az egyenletben szereplő változók és a három paraméter az alábbiak szerint értelmezhető:

Y Kumulált elfolyás (l)

x Folyamatidő (min)

P_0 Maximális, konstans elfolyás intenzitás (l/min)

P_1 Az elfolyás megindulásának ideje (min)

P_2 Elfolyás változási mutató (1/min)

A P_0 paraméter ismeretében annak értékét kifejezhetjük mm/h mértékegységben. (Mivel az elfolyó víz mennyiségét 12 m²-ről mérjük, az óra-percváltás pedig 60, ezért l/min * 5 = mm/h) Így az ismert esőintenzitás értékéből kivonva a maximális elfolyásintenzitás értékét eredményül adódik a vizsgált parcella vízáteresztés értéke mm/h-ban. (2. táblázat).

2. táblázat Az eltérő intenzitású esők hatására bekövetkezett elfolyás és vízáteresztés értékek. (Az 1.x jelű mérések fedetlen, a 2.x jelűek gyepvel borított parcellán történtek.)

Table 2. Infiltration and runoff volumes in consequence of different precipitation intensity (1.x=fallow, 2.x=grass cover)

Mérés jele	Eső intenzitás (mm/h)	Max. elfolyás intenzitás (mm/h)	Elvi vízáteresztés (mm/h)
1.2.	116,1	52,55	63,6
1.3.	34,2	5,39	28,9
1.4.	128,5	42,22	86,3
1.5.	54,2	16,29	37,9
1.6.	87,4	32,51	54,9
2.2.	32,1	16,45	15,6
2.3.	39,9	25,17	14,8
2.4.	67,2	39,48	27,7
2.5.	107,3	76,05	31,2
2.6.	146,8	–	–

Szembevetendő, hogy a talaj vízáteresztése egyik parcella esetében sem egy állandó érték, hanem az esőterhelés intenzitásának növekedésével nő. E jelenség részben magyarázható a talajfelszínen megjelenő megnövekedett víztömeg növekvő nyomásával, de ilyen mértékű eltéréseket a nyomásváltozás önmagában nem indokol. A magyarázat a felszín lejtésében keresendő. A hagyományos módszerek a talaj víznyelését a csapadékintenzitástól függetlenül állandó vízborítás mellett mérik (VÉR 1982). Ha azonban a felszínen tartózkodó víznek nem csak egy irányba (a talajba) van távozási lehetősége, hanem a felszínen lejtőirányba is megindulhat (ahogy a folyamat a természetben is lejátszódik), akkor a vízáteresztés intenzitása már nem csak a feltalaj tulajdonságaitól, hanem a területen egyszerre tartózkodó víz mennyiségétől is függ.

Szintén figyelmet érdemel a növényvel borított parcellák látszólagosan osztályokkal magasabb vízáteresztési értéke. Mivel a víznyelést e módszer esetén közvetetten, a terhelés és az elfolyás különbségeként számítjuk, így értékében szerepel minden olyan vízmennyiség mely esőcseppek formájában elérte a felszínt, de nem folyt el. A felszín elérése azonban nem jelenti feltétlenül a talajra érkezést. A növényvel borított talajon a csapadék egy része megül a leveleken és különböző föld feletti részekben, majd onnan elpárolog (intercepció). Ez a vízmennyiség tehát nem szivárog a talajba a mérés ideje alatt és nem is folyik el, csakúgy mint a parcella mikrodomborzatából adódó helyi mélyedésekben megülő, tócsákban ideiglenesen tározódó csapadék.

A talajfelszínről lefolyó víz ülepedő- és oldott-anyag tartalmának vizsgálata

A fedetlen parcella esetében sikerült összefüggést kimutatni az eső intenzitása és az elfolyás szárazanyag tartalma között. A szántóföldi vízkapacitásig feltöltött nedvességű parcellán öt eltérő intenzitású esőztetést végeztünk, mérve az elfolyó víz szárazanyag tartalmát. Az éppen vizsgált intenzitású esőterhelés alatt folyamatosan mért elfolyások szárazanyag tartalmaiból matematikai átlagot számolva az alábbi eredményeket nyertük (3. táblázat):

3. táblázat Az eső intenzitása és az elfolyó zagy szárazanyag tartalmának összefüggése fekete ugaron
Table 3. Connection between rain intensity and the sediment volume of the runoff on fallow plot

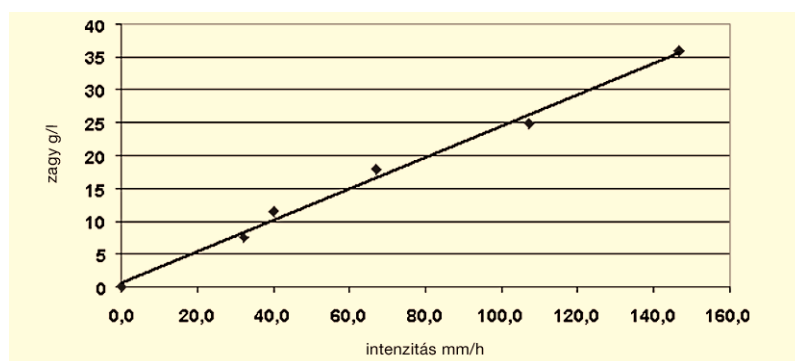
Mérés jele	Esőintenzitás mm/h	Elfolyás SZ. A. tartalma g/l
2.2	32,1	7,41
2.3	39,9	11,46
2.4	67,2	17,85
2.5	107,3	24,96
2.6	146,8	35,89

Az összefüggés e parcella esetében lineáris és az alábbi egyenlettel írható le (1. ábra):

$$Y=0.239 * X + 0.6018 \quad (R_2=0.9928)$$

Ahol, Y az elhordás szárazanyag-tartalma g/l

X az alkalmazott eső intenzitása mm/h



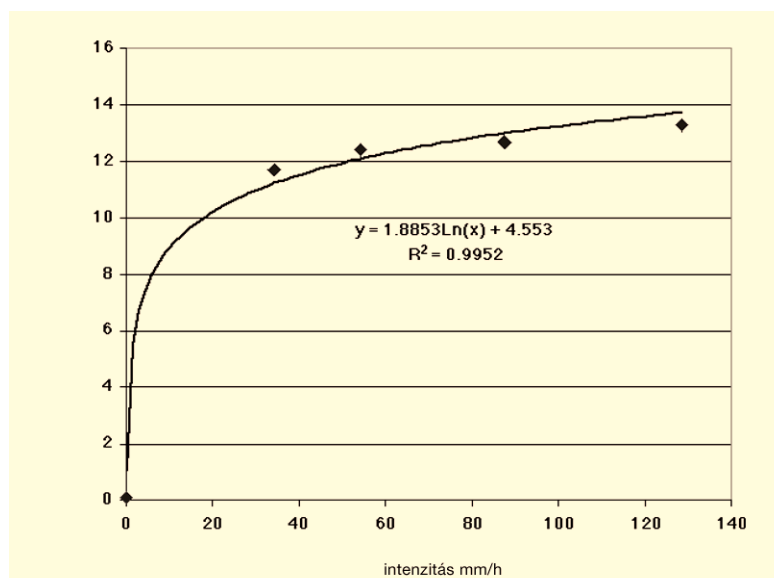
1. ábra Az eső intenzitása és az elfolyó zagy szárazanyag tartalmának összefüggése fekete ugaron

Figure 1. Connection between rain intensity and the sediment volume of the runoff on fallow plot

A csekély fedettségű területek esetében az elfolyó „zagy” szárazanyag tartalmát elsősorban az eső intenzitása és ezzel szoros összefüggésben a hulló cseppek átmérője, kinetikus energiája határozza meg.

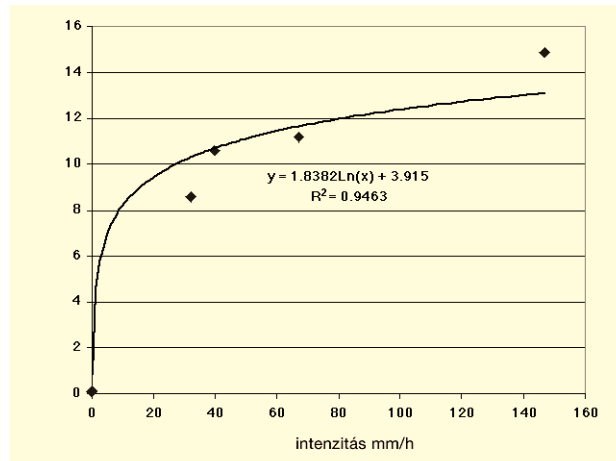
Az elhordott üledék anyag szemcsemérete

Egy adott intenzitású, konkrét mérést a három mintavételből számított mediánok egy-szerű számtani átlagával jellemeztünk (2. és 3. ábra).



2. ábra Az eső intenzitása és az elhordott szemcsék mérete közti összefüggés fedetlen talajon

Figure 2. Connection between rain intensity and particle size of the sediment on fallow plot



3. ábra Az eső intenzitása és az elhordott szemcsék mérete közti összefüggés gyeppel fedett talajon
 Figure 3. Connection between rain intensity and particle size of the sediment under grass cover

Fekete ugaron megállapítható, hogy a csapadékintenzitás növekedésével logaritmikusan növekszik az elragadott szemcsék átlagos mérete. Ez a logaritmikus növekedés tapasztalható zöld ugar esetében is, bár a növekedés üteme ez esetben kisebb. Az illesztett függvények segítségével arra következtethetünk, hogy az intenzitás növekedésével az elsodort szemcsék átlagos mérete meredeken nő kb. 20 mm/h intenzitásig. Az ennél nagyobb intenzitású esők már csak kisebb mértékben emelik az elragadott szemcsék átlagos méretét. Ebből a szempontból a talajt takaró növényzetnek nincs különösebb szerepe, mindkét esetben a 20 mm/h intenzitás tekinthető választóvonalnak. Mivel azonban 20 mm/h alatti intenzitású csapadékot nem szimuláltunk ezért a fent említett összefüggés gyakorlati bizonyítása jövőbeni feladat. Szembetűnő, hogy nagyságrendileg azonos csapadékintenzitású kezelések hatására a növényvel borított parcellán mért lefolyásokból átlagosan mintegy két mikronnal nagyobb medián értékeket regisztráltunk, mint ugyan ezen talaj fekete ugar állapotában.

A kezeléseken belüli szemcse összetétel változásokat az alábbiakban foglalhatjuk össze. Az elhordott talaj mechanikai összetétele – és ezen keresztül a medián értéke – esőztetésenként és kezeléseken belül is igen változatosan alakult. Egyértelmű tendenciák nem szűrhetők le, de bizonyos megfigyelések figyelmet érdemelnek. 100 mm/h feletti mérések összehasonlítását a 4. táblázat tartalmazza.

A fekete ugar esetében tapasztalt medián növekedés kifejezett, és magyarázható a felszínen megnövekvő vízborítás nagyobb mechanikai energiájával. Ugyanakkor a zöld ugar esőztetésekor mért medián csökkenés oka nem ismert, lehet mintavételi, illetve mérési hiba. A jelenség behatóbb tanulmányozása érdekében további vizsgálatokra lenne szükség.

Az oldott állapotban elhordott anyag

Kézenfekvőnek tűnik a gondolat, hogy az elfolyó víz meghatározott beltartalmi értékeiből kivonva az öntözővíz beltartalmi értékeit, eredményül az öntözés hatására a talajból

4. táblázat Az elhordott anyag szemcseméretének időbeli változása fekete és zöld ugaron
 Table 4. Temporal changes of sediment particle size on fallow plot and under grass cover

Fekete ugar		Zöld ugar	
Csapadékinintenzitás: 107.3 mm/h		Csapadékinintenzitás: 128.5 mm/h	
Mintavétel ideje (sec)	Medián (mikron)	Mintavétel ideje (sec)	Medián (mikron)
40	13.754	44	13.464
189	14.842	173	13.124
237	18.029	329	9.802

kioldódott tápanyagértékek adódnak. Ezen eljárást követve azt tapasztaltuk, hogy egyes ionok negatív értéket adtak, ami azt jelenti, hogy ezek az ionok a parcellán a talajhoz kötődve megtapadtak, „kiszűrődtek” az öntözővízből. Az összes mérés átlagaként ilyen ionoknak mutatkoztak a Mg^{2+} és az NH^{4+} , miközben az összes keménység a fent említett 16-ról 3NKalá csökkent. Az öntözővíz ilyen mértékű oldott anyag tartalma természetesen befolyásolja a talajhoz kötött ionok oldódását is. A szimulátorral végzett esőztetések mellett alkalmunk nyílt egy – időközben szintén a parcellára hullott – nagyintenzitású zápor lefolyásadatainak vizsgálatára is. Megállapítható, hogy a természetes csapadék ugyanazon a parcellán, ugyanolyan nedvességi állapotú talajra hullva egyes ionok esetében nagyságrendekkel nagyobb oldott anyagelhordást eredményezett, mint a hasonló intenzitású, időtartamú és cseppspektrumú, mesterséges esőztetésű csapvíz. Különösen kifejezett a tendencia a NO_3^- és a PO_4^{3-} ionok esetében. Tekintettel a tényre, hogy az állóvizek eutrofizációjának mértékét legtöbb esetben a foszfor határozza meg, megállapíthatjuk, hogy a felszíni illetve felszín alatti elfolyások oldott beltartalmának vizsgálata csak akkor adhat kielégítő eredményt, ha a csapadék természetes, „felhőből származó” mesterséges esőztetés esetén is.

A „K” erodálhatósági tényező meghatározása

Mivel méréseinket három jól elkülöníthető talajnedvesség tartományban (száraz, nedves, vizes) végeztük el, így három különböző K értéket határoztunk meg. Ismerve a területről rendelkezésre álló, sok éves meteorológiai adatokat meghatároztuk, hogy adott csapadékesemény milyen valószínűséggel hullik száraz, nyirkos, illetve nedves talajra. Az ily módon nyert súlyok segítségével átlagoltuk a három K értéket, az eredmény $K=0.019$ ($t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$). Az érték valószínűleg valamelyest alábecsüli a tényleges K értéket, mivel méréseinket frissen művelt talajon végeztük, de jól illeszkedik a hasonló módon mért értékek közé (CENTERI 2002a, CENTERI és PATAKI 2003).

Következtetések

Az eső-szimulátor alkalmazásával a talajok vízgazdálkodási jellemzői „in situ” vizsgálhatóak. Az ismertett matematikai modell segítségével viszonylag egyszerűen meghatározható a fedetlen talaj valós, pillanatnyi vízáteresztése a csapadék intenzitásának függvényében.

A mesterséges esőztetés segítségével meghatározott erodálhatósági érték nagyságrendileg összevág a Trieri Egyetem kutatói által barnaföldön (KERTÉSZ és RICHTER 1997), és az Földrajztudományi Kutató Intézet parcelláin mért K értékekkel.

Az elhordott talaj szemcseméretét vizsgálva megállapítottuk, hogy a csapadék intenzitásának növekedésével logaritmikusan növekszik az erodált szediment szemcsemérete. A vizsgált talajon a füves parcella esetében az elhordás mechanikai összetételében a nagyobb szemcseméret dominál, szemben a fedetlen parcella relatíve kisebb szemcseméretű szedimentjeivel. Azaz a növényborítás talajvédő hatása „szelektív”, a kisebb méretű szemcséket jobban védi, valószínűsíthető tehát, hogy a nagyobb méretű szemcsék elhordásában a csepperózióknak, illetve a hulló cseppek kinetikai energiájának van meghatározó szerepe. Mindkét parcella esetében megállapítható, hogy az elhordás által leginkább veszélyeztetett frakció a 0.01–0.05 mm közötti. E frakció a szedimentben sokkal nagyobb arányban szerepel, mint az eredeti feltalajban.

A helyhez-kötött, nagy megfigyelési területen dolgozó, de az időjárás bizonytalanságainak kitett mérési módszerek eredményei nagy pontosságúak. Szélesebb körre történő adaptálásuk a telepíthető, táblaszinten ár-nagyságú pontvizsgálatokra képes, összehasonlítható eredményeket produkáló eső-szimulátoros módszer közvetítésével elvégezhető. A fent ismertetett mérési eredmények alapján a Pannon R–02 eső-szimulátor – megítélésünk szerint – bizonyította alkalmazhatóságát. Természetesen a metodika és a méréstechnika pontosítása és továbbfejlesztése a későbbi vizsgálatok tökéletesítése céljából elengedhetetlen.

Irodalom

- CENTERI Cs. 2002a: Az általános talajvesztés becslési egyenlet (USLE) K tényezőjének vizsgálata. Doktori értekezés. Gödöllő, SziE, p. 162
- CENTERI Cs. 2002b: Importance of local soil erodibility measurements in soil loss prediction. *Acta Agronomica Hungarica* 50(1): 43-51.
- CENTERI Cs. 2002c: A talajerodálhatóság terepi mérése és hatása a talajvédő vetésforgó kiválasztására. *Növénytermelés*, 51: 211–222.
- CENTERI Cs., PATAKI R. 2003: Hazai talajerodálhatósági értékek meghatározásának fontossága a talajvesztés tolerancia értékek tükrében. *Tájökológiai Lapok* 1: 57–68.
- CENTERI Cs., PATAKI R., BÍRÓ Zs., CSÁSZÁR A. 2003: Az eróziós térképek kategóriáinak értékelése. *Agrokémia és Talajtan, Szemle*, 52: 443–454.
- CSEPINSZKY B., JAKAB G., DITRÓI-PUSKÁS Z. 1998: Talajerózió vizsgálata eső-szimulátorral. XII. Országos Környezetvédelmi Konferencia, Siófok
- CSEPINSZKY B., JAKAB G. 1999: Pannon R–02 eső-szimulátor a talajerózió vizsgálatára. XLI. Georgikon napok, Keszthely pp. 294–298.
- CSEPINSZKY B., JAKAB G., JÓZSA S. 1999: Szimulált csapadék, beszivárgás és Talajvesztés – XLI. Georgikon napok, Keszthely, pp. 424–429.
- DATE MEZŐGAZDASÁGI VÍZ- ÉS KÖRNYEZETGAZDÁLKODÁSI KAR 1998: Talajerózió megjelenési formái a Balaton vízgyűjtőn. Tanulmány. Szarvas
- VAN DIJCK, S. J. E., VAN ASCH T. W. J. 2002: Compaction of loamy soils due to tractor traffic in vineyards and orchards and its effect on infiltration in southern France. *Soil and Tillage Research* 63: 141–153.
- HORTON R. E. 1933: The role of infiltration in the hydrological cycle. *Transactions of the American Geophysical Union* 14: 446–460.
- KAZÓ B. 1966: A talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak meghatározása mesterséges esőztető Készülékkel. *Agrokémia és talajtan* 15: 329-352.
- KERÉNYI A. 1991: Talajerózió Térképezés, laboratóriumi és szabadföldi kísérletek. Akadémiai Kiadó, Budapest
- KERTÉSZ Á., RICHTER G. 1997: Plot measurements under natural rainfall. *ESSC Newsletter* (2+3): 15–17.
- KERTÉSZ Á. 1999: A csapadék hatására keletkező talajerózió-veszély meghatározása MSZ 20133

- MÉSZÁROS E., JAKAB G. 2001: Erodálhatósági értékek számítása talajtulajdonságok alapján. *Földrajzi Értesítő*, (1-4): 137–142.
- MORGAN, R. P. C., MCINTYRE, K., VICKERS, A. W., QUINTON, J. N., RICKSON, R. J. 1997: A rainfall simulation study of soil erosion on rangeland in Swaziland. *Soil Technology* 11: 291–299.
- MSZ/T 20133:2000
- POULENARD, J., PODWOJEWSKI P., JANEAU, J. L., COLLINET, J. 2001: Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Paramo: effect of tillage and burning. *Catena* 45: 185–207.
- ROBICHAUD, P. R. 2000: Fire effects on infiltration rates after prescribed fire in Northern Rocky Mountain forests, USA, *Journal of Hydrology* 231–232. pp. 220–229.
- STEFANOVITS P. 1992: Talajtan. Mezőgazda Kiadó, p. 152.
- SZILÁRD J. 1967: Külső-Somogy kialakulása és felszínalakítása. Budapest. p. 150.
- TERVEZŐ ÉS TANÁCSADÓ AGROBER RT. 1995: Balaton vízgyűjtő vízminőségvédelmi komplex meliorációs és erdősítési tanulmány. Összefoglaló kivonat. Földművelésügyi Minisztérium
- VÁRALLYAY GY. 1989: A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. *Agrokémia és Talajtan*, 38: 36.
- VÉR F. 1982: A talajszerkezet vizsgálatának és javításának fontossága növénytermelési szempontból *Keszthelyi Agrártudományi Egyetem, Keszthely*
- WISCHMEIER W. H., SMITH, D. D. 1978: Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. – U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook* 537

ERODIBILITY MEASUREMENTS IN THE TETVES CATCHMENT
USING RAINFALL SIMULATOR

G. JAKAB, Z. SZALAI

Department of Physical Geography, Geographical Research Institute,
Hungarian Academy of Sciences
H-1112 Budapest Budaörsi út 45
e-mail: jakabg@mtafki.hu

Keywords: Rainfall simulator, runoff, particle size distribution of sediment, K factor

Summary: The catchment of Tetves Stream belongs to the basin of Lake Balaton. The total area of the catchment is 100,2 km². The south border of the watershed is a valley divide, which is usual in these meridional valleys. The total length of the main bed of the stream, is 25.1 km, the flow direction is south-north. The stream reaches the Lake next to the eastern part of Balatonlelle. The elevation of the watershed is between 105 and 302 m above sea level. The upper part has high relief energy and several gullies, while the lower part is flat. Within the research four standardized plots were established to measure the erosion under natural rainfall events. The influence of fluctuation of the annual precipitation can be reduced with the increasing period of measurement. The soil protection role of different agrotechnics and plant cover can be measured as well because of the four plots and the relatively long period of investigation. The data of erodibility from this project are peculiar to the investigated soil, slope angle and shape, plant cover etc. To extend the validity of these data the authors tried to find a method, which can be used in any combination of the environmental factors, is fast and the results are comparable. Rainfall simulation is suitable for these requirements, and can be used almost anywhere, where the steepness of the slope is not higher than 30%, and the vegetation does not exceed the height of 3 m. With this method the investigated precipitation event can be repeated anywhere and anytime, that is why the results are comparable. This paper reports, whether the application of this method is suitable in this case. In the study the Pannon-R02 rainfall simulator was used.