

A szántóföldi beszivárgás-lefolyás modellezése

BARTA KÁROLY¹

Abstract

Modeling runoff and infiltration on arable lands

The erosional investigations are great role in the soil conservation. There are dozen of infiltration and erosion models that attempt to describe more and more exactly these processes. Our aim is to show a dynamic mathematical model which is able to model the effect of a rainfall event on a plot to the infiltration and to the runoff. We have chosen the most typical situation on arable land for theoretical base namely we can apply the model on soils with two different layers: the cultivated topsoil and beneath it the more compacted plough-pan. The model consists two submodel. Firstly the interception one determines the net rainfall which reaches the surface directly or through the vegetation. Secondly the runoff one can show the spatial and temporal distribution of the net rainfall between the infiltration and the runoff.

This runoff model can compute with equalizing the water amounts needed to fill the soil layers until field capacity and maximum soil moisture with definite integrations derived from the Hortonian equation. The model works to determine the following points of time: start of surface runoff, wetting front reaches the plough-pan, the plough-pan is dammed back water, the topsoil is saturated. All intervals between these moments can be ordered different functions of the infiltration and the runoff. The model was programmed in Maple 8.

Bevezetés

Szántóföldjeink vízgazdálkodásának megismerése és kontrollálása mind a rajta termesztett növények, mind a talaj minőségének megőrzése szempontjából elsőrendű feladat. A talajminőség egyik legfontosabb befolyásolója a beszivárgást és lefolyást meghatározó víznyelő, ill. vízáteresztő képesség, amely a lefolyáson keresztül az egyik legjelentősebb fizikai degradációs folyamatát, a talajerózióért is felelős. A beszivárgás, a lefolyás és az általa okozott talajvesztés meghatározására számos modell készült (WISCHMEIER, W.H.–SMITH, D.D. 1978; KIRKBY, M.J. et al. 1980; GRAYSON, R.B. et al. 1992; MORGAN, R.P.C. et al. 1993; AGNPS 1994; FLANAGAN, D.C. 1994; BEVEN, K. et al. 1995). Ezek az absztrakt matematikai megközelítésektől az empirikus összefüggésekig rendkívül változatosak, de mind a modellezhető terület, mind a modellezhető időtartam kiterjedése is széles

¹ Szegedi Tudományegyetem Természettudományi Kar Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék 6722 Szeged, Egyetem utca 2–6. E-mail: barta@earth.geo.u-szeged.hu

határok között mozog. Sajnos a nehezen mérhető talajparaméterek, valamint a talajjellemzők térbeli és időbeli rendkívüli változatossága miatt a leggyakrabban használt modellek is csak igen nagy hibaszázalékkal képesek dolgozni (QUINTON, J.N. 1997; VEIHE, A.–QUINTON, J.N. 2000). Hazánk területén is számos helyen folynak eróziós mérések, ill. modellek adaptálásai (VERÓNÉ WOJTASZEK M. 1996; HUSZÁR T. 1998; CSEPINSZKY B.–JAKAB G. 1999; CENTERI, Cs. 2002).

Jelen cikkben bemutatott dinamikus matematikai modellünk célja nagy méretarányban, parcella szinten meghatározni a természetes esők és az öntözéssel kijuttatott vízmennyiség felszínre jutó hányadát, ill. ezen vízmennyiség beszivárgás és lefolyás közötti megoszlását. Mivel végső célunk – e modell továbbfejlesztésével – egy talajeróziós modell megalkotása, ezért legfontosabb feladatunknak itt is a lefolyás időbeni alakulásának a minél pontosabb meghatározását tekintettük.

A modell elvi alapjai és kiindulási paraméterei

A modell egyelőre állandó intenzitású (I , mm/perc) csapadék- eseményekre működik. A megadott csapadékintenzitásból két egymástól élesen elkülönülő, ugyanakkor szorosan egymásra épülő részmodell számolja ki a felszíni lefolyás intenzitását. Ennek megfelelően a modell által használt paraméterek is két élesen elkülönülő csoportra oszthatók:

1. Növényzeti paraméterekre, amelyek meghatározzák, hogy az állandó intenzitású csapadékból mennyi éri el a felszínt.

2. Talajparaméterekre, amelyek a felszínre kerülő csapadék további útját határozzák meg. A beszivárgás kiszámítása a HORTON-képlet segítségével történik (HORTON, R.E. 1933). A tetszőleges számú talajrétegre alkalmazható, átfogó modell helyett egyelőre annak első lépéseként egy olyan modellt dolgoztunk ki, amely a legtipikusabb szántóföldi szituációban alkalmazható, vagyis amikor a felső, szántott réteg alatt egy jóval rosszabb vízgazdálkodási tulajdonságú eketalpréteg található. Feltételezve, hogy ezalatt szintén nagyobb vízáteresztő képességű rétegek vannak, a modellbe elegendő a két felső réteg vízgazdálkodási tulajdonságait beépíteni – feltételezve ezek homogenitását. Mivel a modell kidolgozását eróziós vizsgálatok alapján kezdtük meg, a talajvíz kapilláris hatását nem vettük figyelembe. A modell újdonságát sok beszivárgási modellel szemben az adja, hogy nem egyetlen függvénnyel írja le a teljes talaj víznyelését, ill. vízáteresztését, hanem azt rétegenként jellemzi. Másrésztől csak olyan bemeneti paramétereket használtunk fel a modellhez, amelyek ténylegesen mérhetők vagy számolhatók.

A felhasznált növényzeti paraméterek:

1. A felszín növényborítottsági aránya (COV , %)
2. A növényzet maximális csapadékraktározása (MIS , mm)

A talajra vonatkozó bemeneti adatokként mindkét talajrétegre az alábbi talajfizikai-vízgazdálkodási paraméterek ismerete szükséges:

1. Talajréteg vastagsága (D , cm)
2. Maximális víztartalom (P , v/v)
3. Szántóföldi vízkapacitás (KP , v/v)

4. Gravitációs pórustér ($GP = P-KP$, v/v)
5. Kezdeti átlagos talajnedvesség (M , v/v)
6. Vízáteresztő képesség (K_c , mm/perc)
7. A talajréteg víznyelési–vízáteresztési függvénye

Ez utóbbit a

$$K(t) = K_c + (K_0 - K_c) e^{-At} \quad (1)$$

alakú HORTON-képlet szerint adunk meg (DE ROO, A.P.J. et al. 1992; SCHRÖDER, R. 2000), ahol $K(t)$ = a talajréteg víznyelő, ill. vízáteresztő képessége a beázás kezdetétől mért idő (t , perc) függvényében (mm/perc), K_0 = a talajréteg kezdeti víznyelése (mm/perc), A = a talajrétegre jellemző paraméter. A továbbiakban a szántott rétegre vonatkozó paramétereket alsó indexben 1-es, az eketalprétegre vonatkozókat alsó indexben 2-es jelöli.

A $K(t)$ függvények meghatározása terepen, duplakertes átszivárgásmérővel történik az egyes rétegek felszínén. Természetesen ezt a hatórási mérést nem tudjuk minden csapadékesemény előtt elvégezni, ezért a mérés lehetőleg minél kisebb víztartalom esetén végzendő, hogy a függvény minél szélesebb víztartalmú skálán alkalmazható legyen. Egy ilyen függvény ismeretében a víznyelés intenzitását az aktuális kezdeti víztartalomtól tudjuk indítani. Jelen esetben feltételezzük, hogy a függvény nullpontja az aktuális kezdeti víztartalomra vonatkozik.

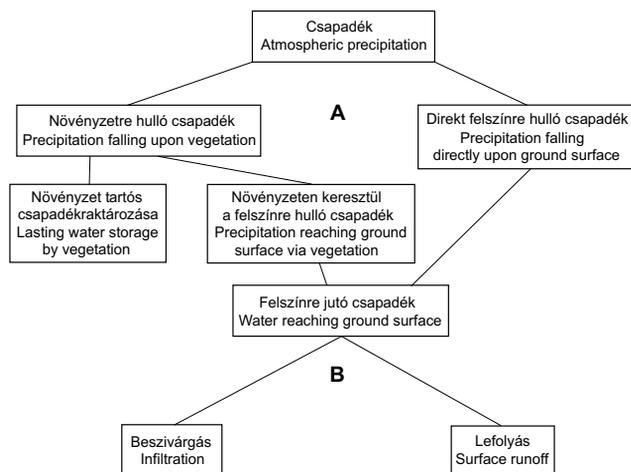
A növényzet csapadék-áteresztésére és -raktározására vonatkozó részmodell

A lehulló csapadék felszínre jutását számos összefüggés írja le (WISCHMEIER, W.H.–SMITH, D.D. 1978; KIRKBY, M.J. et al. 1980; MORGAN, R.P.C. et al. 1993; BERGSMAN, E. 1996) (1. ábra). Az ábrán bemutatott folyamat eredményeként az idő függvényében tudjuk meghatározni a felszínre elérő csapadék intenzitását az alábbi összefüggés segítségével (MORGAN, R.P.C. et al. 1998 után módosítva):

$$NR(t) = II * (1 - e^{-II * t / (MS * COV)}) \quad (2)$$

$NR(t)$ jelöli a felszínre jutó csapadék intenzitását mm/percben („nettó” csapadékinintenzitás). A növényzet maximális csapadékraktározására számos gyakorlati táblázat készült (WISCHMEIER, W.H.–SMITH, D.D. 1978; KIRKBY, M.J. et al. 1980; MORGAN, R.P.C. et al. 1993).

Sajnos a táblázatok jelentős része nem tér ki arra, hogy milyen felszínborításra vonatkoznak a közölt adatok. Ennek kapcsán fontos megjegyezni, hogy a (2) összefüggés csak akkor alkalmazható, ha a közölt adatok 100%-os növényborításra érvényesek. Ennek hiányában a (2) egyenletben e kitevőjének nevezőjéből a COV elhagyható.



1. ábra. A modell algoritmus. – A = növényzeti részmodell; B = beszivárgási részmodell

The algorithm of the model. – A = partial model for vegetation; B = partial model for infiltration

A növényzeti részmodell végeredményeként adódó $NR(t)$ adja a beszivárgási részmodell kiindulási alapját.

A beszivárgási-lefolyási részmodell

Mivel célunk dinamikus modell kidolgozása volt, ezért a beszivárgási-lefolyási folyamatokat minden esetben az idő függvényében határoztuk meg. A csapadékhullás a $t = 0$ időpontban kezdődik, és az alábbi „jelentős” időpontokat lehet elkülöníteni a beszivárgás, ill. a lefolyás változásaiban:

– T_1 : $K_1(t)$ az $NR(t)$ alá kerül, azaz a talaj víznyelése a „nettó” csapadékin-tenzitás alá csökken. Ekkor indul meg a felszíni lefolyás $L(t)$, mm/perc).

– T_2 : A víznyelés eredményeképpen a felső talajréteg feltelik szántóföldi víz-kapacitásig. A felszíni lefolyásra ennek nincs hatása, de megkezdődik az eketalpré-teg víznyelése.

– T_3 : Az eketalpréteg gyorsan csökkenő víznyelése alá kerül a felső réteg víz-vezetésének. Emiatt kezdetét veszi a szántott réteg gravitációs pórusterének a feltöl-tődése az eketalpréteg visszaduzzasztó hatásának köszönhetően.

– T_4 : A felső réteg eléri maximális vízkapacitását. Ettől kezdve a felszíni le-folyást az eketalpréteg víznyelése-vízáteresztése határozza meg.

A négy időpont sorrendisége természetesen nem feltétlenül így alakul, valós körülmények között gyakran $T_1 = 0$, azaz már a kezdeti víznyelés mellett is fellép fel-színi lefolyás, ami pedig még ennél is gyakoribb, hogy az eketalpréteg kezdeti víz-nyelése is kisebb a szántott réteg vízáteresztésénél, azaz T_3 jelentőségét veszti.

A fent definiált T időpontok meghatározásához két különböző módon felírjuk a két talajréteg különböző nedvességtartalmának eléréséhez szükséges összvízmennyiségeket:

1. A rétegek vastagsága, víztartalmuk, szántóföldi vízkapacitásuk és porozitásuk alapján.

2. A HORTON-képletből származtatott határozott integrálok segítségével.

Ez utóbbi esetben az integrálási tartományok felső vége – ismeretlen t -ként – definiálja a meghatározandó T -ket, így a kétfajta felírási mód egyenlővé tételével kapott egyenleteket t -re megoldva tudjuk kiszámolni a T -ket.

A térfogatos víztartalmak kiszámítása

A kezdeti talajnedvesség, a szántóföldi vízkapacitás és a maximális víztartalom eléréséhez szükséges rétegenkénti vízmennyiségeket mm-ben, azaz l/m^2 -ben adtuk meg.

A kezdeti nedvességtartalom mm-ben kifejezett értéke (MT) a modell jelenlegi verziójában nem kerül felhasználásra, jelentősége akkor kerül előtérbe, amikor a víznyelési függvényt a kezdeti nedvességtartalom alapján korrigáljuk majd:

$$MT = 10 * D * M \quad (3)$$

A kezdeti talajnedvességtől a szántóföldi vízkapacitás eléréséhez szükséges vízmennyiség (KT , mm) az alábbi képlet szerint számolható:

$$KT = 10 * D * (KP - M) \quad (4)$$

A szántófölditől a maximális vízkapacitás eléréséhez szükséges vízmennyiséget (GT , mm) teljesen hasonlóan az alábbi képlet szerint számolhatjuk ki:

$$GT = 10 * D * (P - KP) = 10 * D * GP \quad (5)$$

A „jelentős” időpontok meghatározása

A T_1 mutató az

$$NR(t) = K_1(t) \quad (6)$$

egyenlet megoldásaként adódik, mivel $t = 0$ és $t = T_1$ között felszíni lefolyás nincs, azaz $L(t) = 0$.

T_1 és T_2 között a lefolyás az

$$L(t) = NR(t) - K_1(t) \quad (7)$$

egyenlet szerint alakul. A T_2 meghatározását az alapján végezzük, hogy egyenlővé tesszük a szántóföldi vízkapacitás eléréséhez szükséges vízmennyiséget a $K_1(t)$ függvény $(0, t)$ intervallumon vett integráljával, és ezen egyenletet oldjuk meg t -re, mint ismeretlenre:

$$KT_1 = \int_0^t K_1(t) dt (= CK_1(t)) \quad (8)$$

T_2 -kor indul meg az eketalpréteg víznyelése. Feltételezve, hogy ez kezdetben gyorsabb, mint a felső réteg vízvezetése (T_3 időpontig), a

$$K_1(t) = K_2(t-T_2) \quad (9)$$

egyenlet megoldásaként adódó T_3 jelöli majd azt az időpontot, amikor a visszaduzzasztás elkezdődik a felső rétegbe. Amennyiben a (9) egyenletnek nincs megoldása, vagy $T_3 < T_2$ adódik, ebben az esetben T_3 -at egyenlőnek tekintjük T_2 -vel. A T_2 és T_3 közötti időszakban egyébként a lefolyás továbbra is a (7) egyenlet szerint zajlik.

T_3 -at követően is még a (7) szerint fog zajlani a lefolyás, egészen a T_4 időpontig, a szántott réteg maximális vízkapacitásának eléréséig. T_4 az alábbi egyenlet t -re való megoldásaként adódik:

$$\int_{T_3}^t K_1(t) dt - \left[\int_{T_2}^t K_2(t-T_2) dt - \int_{T_2}^{T_3} K_1(t-T_2) dt \right] = GT_1 \quad (10)$$

Az első tag adja meg, hogy T_3 -tól kezdve mennyi víz jutott összesen a talajba, az utolsó két tag pedig megadja, hogy ebből összesen mennyi szivárgott le az eketalprétegbe.

T_4 után a lefolyás megváltozik, és

$$L(t) = NR(t) - K_2(t-T_2) \quad (11)$$

szerint zajlik.

Összefoglalás és továbblépési lehetőségek

Cikkünkben egy olyan dinamikus matematikai modellt ismertettünk, amely jelenleg az alábbi ismérvekkel rendelkezik:

- szántóföldek beszivárgási és lefolyási viszonyainak jellemzésére alkalmas,
- nagy méretarányban, homogén parcellákra alkalmazható,
- egyeseményes, azaz mind a néhány perces intenzív esők, mind a többórás csendes esők hatását képes jellemezni,
- működési elve a szántott réteg térfogatos víztartalmainak időbeni feltöltődésének és az eketalpréteg visszaduzzasztásának leírásán alapszik.

A modell kiindulási alapja egy későbbi eróziós modellnek, továbbfejlesztésének alapvető lépései a következőkben foglalhatóak össze:

- változó csapadékintenzitású esőkre is kiterjeszteni az alkalmazást,
- a talajerodibilitás ismeretében meghatározni a lefolyó víz hordalékkoncentrációját,
- ennek segítségével kiszámolni a talajerózió mértékét.

A modell ilyen formában való megalkotását pedig a kalibrálásnak kell követni, a modellezett elméleti és a mért terepi eredmények összevetésével és elemzésével.

IRODALOM

- AGNPS v4.03 User 's Guide. – July 1994.
- BERGSMAN, E. (ed.) 1996. Terminology for soil erosion and conservation. – Wageningen.
- BEVEN, K.–LAMB, R.–QUINN, P.–ROMANOWICZ, R.–FREER, J. 1995. TOPMODEL. – In: SINGH, V.P. (ed.): Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications, pp. 627–668.
- CENTERI, Cs. 2002. Importance of Local Soil Erodibility Measurement in Soil Loss Prediction. – *Acta Agronomica Hungarica* 50. 1. pp. 43–51.
- CSEPINSZKY B.–JAKAB G. 1999. Függelék a Vízgazdálkodási és Meliorációs Tanszék történetéhez. – In: CSEPINSZKY B.: A Vízgazdálkodási és Meliorációs Tanszék története. Pannon Egyetem Keszthely. pp. 78–87.
- DE ROO, A.P.J.–RIEZEBOS, H.TH. 1992. Infiltration Experiments on Loess Soils and Their Implications for Modelling Surface Runoff and Soil Erosion. – *Catena* 19, pp. 221–239.
- FLANAGAN, D.C. (ed.) 1994. Water Erosion Prediction Project. Erosion Prediction Model v94.7 User Summary. – USDA-ARS NSERL, West Lafayette – USA.
- GRAYSON, R.B.–MOORE, I.D.–MCMAHON, T.A. 1992. Physically Based Hydrologic Modeling 1–2. – *Water Resources Research* 26–28, No. 10, pp. 2639–2666.
- HORTON, R.E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. – *Trans. Am. Geophys. Union* 14. pp. 446–460.
- HUSZÁR T. 1998. A talajerózió térképezése és modellezése magyarországi mintaterületeken térinformatikai módszerekkel. – PhD értekezés tézisei. MTA FKI Bp.
- KIRKBY, M.J.–MORGAN, R.P.C. (ed.) 1980. Soil Erosion. – J. Wiley & Sons, New York.
- MORGAN, R.P.C.–QUINTON, J.N.–RICKSON, R.J. 1993. EUROSEM: A User Guide. – Silsoe College.
- MORGAN, R.P.C.–QUINTON, J.N.–SMITH, R.E.–GOVERS, G.–POESEN, J.W.A.–AUERSWALD, K.–CHISCI, G.–TORRI, D.–STYCZEN, M.E. 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): A Dynamic Approach for Predicting Sediment Transport from Fields and Small Catchments. – *Earth Surface Processes and Landforms* 23. pp. 527–544.
- QUINTON, J.N. 1997. Reducing predictive uncertainty in model simulations: a comparison of two methods using the European Soil Erosion Model (EUROSEM). – *Catena* 30. pp. 101–117.
- SCHRÖDER, R. 2000. Modellierung von Verschlammung und Infiltration in landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten. *Bonner Geographische Abhandlungen* 101. – Asgard-Verlag, Sankt Augustin.
- VEIHE, A.–QUINTON, J. N. 2000. Sensitivity analysis of EUROSEM using Monte Carlo simulation I: hydrological, soil and vegetation parameters. – *Hydrological Processes* 14. pp. 915–926.
- VERÓNÉ WOJTASZEK M. 1996. Távérzékelés alkalmazása talajerózió becslésében pázmándi mintaterületen. – *Agrókémia és talajtan* 45. 1–2. pp. 31–41.
- WISCHMEIER, W.H.–SMITH, D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. *Agricultural Research Service Handbook No. 282.* – United States Department of Agriculture, Washington.