

Talajpusztulás modellezése MEDRUSH modell alkalmazásával¹

TÓTH ADRIENN–SZALAI ZOLTÁN–JAKAB GERGELY–KERTÉSZ ÁDÁM
BÁDONYI KRISZTINA–MÉSZÁROS ERZSÉBET²

Abstract

Soil loss modelling using MEDRUSH model

The MEDALUS teams of the University of Leeds and King's College, London (MCMAHON, M.–HAWKES, C.–KIRKBY, M. 1999) elaborated the MEDRUSH model. The original version of the model was created for predicting stream network development and erosion conditions in Mediterranean hilly catchments. Later it was completed with soil hydrological and vegetation dynamics prediction capabilities and calibrated for Central European conditions. In this paper we present our results about the calibration and the application of this model to predict soil loss on hillslope scale.

The model was calibrated on two sample sites: on four WISCHMEIER-parcels of the soil erosion station of Csákvár, and on four WISCHMEIER-parcels in Visz, Tetves Stream catchment (southern shore of Lake Balaton). On the first site, the calibration was possible in the case of black fallow. On the second site the vegetation module of the model was tested. The experimental equations of the model were modified according to the measured data. After calibration the model was run on four representative strips on the Örvényesi-Séd catchment (northern shore of Lake Balaton). The model calculates the output weather data on the basis of the experimental equation of potential evapotranspiration (PET). The denominator of this equation had to be modified, together with "B" value, which can be applied in Transdanubia and on the Danube–Tisza Interfluve.

According to our experiments the MEDRUSH model is suitable to predict the type and scale of soil erosion and – to a certain extent – to model water management.

Bevezetés

A számítógépek teljesítményének köszönhetően az 1980-as évek óta számos természeti jelenség szélesebb körben is modellezhetővé vált. A talajpusztulás modellezésének rohamos fejlődését elsősorban a mezőgazdaság által támasztott igénynek köszönheti. Ezek a modellek a talajpusztuláson túl hozambecslésekre is alkalmasak mind a természetett kultúrák, mind a természetes társulások (biomassza produkció) esetében. Az 1990-es évektől már a különböző létesítmények hatástanulmányainak készítésénél, ill. területhasználati tervezéseknél is igényként merült fel a számítógépes modellezés. Ez az igény egyrészt lehetőséget teremtett hazai tervezésű modellek megalkotásához, ill. a külföldi eredetű modellek hazai alkalmazására.

¹ A tanulmány az OTKA támogatásával végzett kutatás alapján készült. Témaszám: T0 32274

² MTA Földrajztudományi Kutatóintézet 1112 Budapest, Budaörsi út 45.

Az MTA Földrajztudományi Kutatóintézetének Természetföldrajzi Osztálya 1995 óta vesz részt a MEDRUSH modell hazai kalibrálásában, tesztelésében és továbbfejlesztésében. A kalibrálás és a tesztelés után a modellt több hazai dombsági vízgyűjtőn is sikerrel alkalmaztuk (JAKAB G. et al. 2000; SZALAI, Z. et al. 2000). Jelen tanulmányban e modell alkalmazhatóságát szeretnénk bemutatni a talajpusztulás, valamint a talaj vízháztartását illető előrejelzések területén.

Módszer

A MEDRUSH modell jellemzői

A MEDRUSH modellt az Európai Unió MEDALUS tudományos projektje keretében fejlesztette ki a londoni Kings College és a University of Leeds kutatógárdája az 1990-es években. A modell eredetileg mediterrán területek vízgyűjtőinek vizsgálata céljából készült – azon belül is elsősorban dombsági területekre –, majd folyamatosan továbbfejlesztették, hogy közép-európai viszonyokra is alkalmazható legyen. A modell elsősorban vízhálózat fejlődése és az eróziós viszonyok változásának előrejelzését szolgálta vízgyűjtő méretekben. Jelenleg, ha korlátozott mértékben is, de kibővült talajhidrológiai és vegetációdinamikai előrejelzési képességekkel is, emellett vízgyűjtő, ill. katéna skálán is alkalmazható. Az előbbi esetben kizárólag UNIX alapon futtatható GRASS térinformatikai rendszerbe integráltan, amely a modell számára elkészíti a digitális térképes anyagot, ill. a modell lefutása után az eredményt is térképes formában jeleníti meg. A katéna szintű futtatás esetén a UNIX alapú és a Windows 9.x, ill. NT 4.0 alatt futtatható változat is használható.

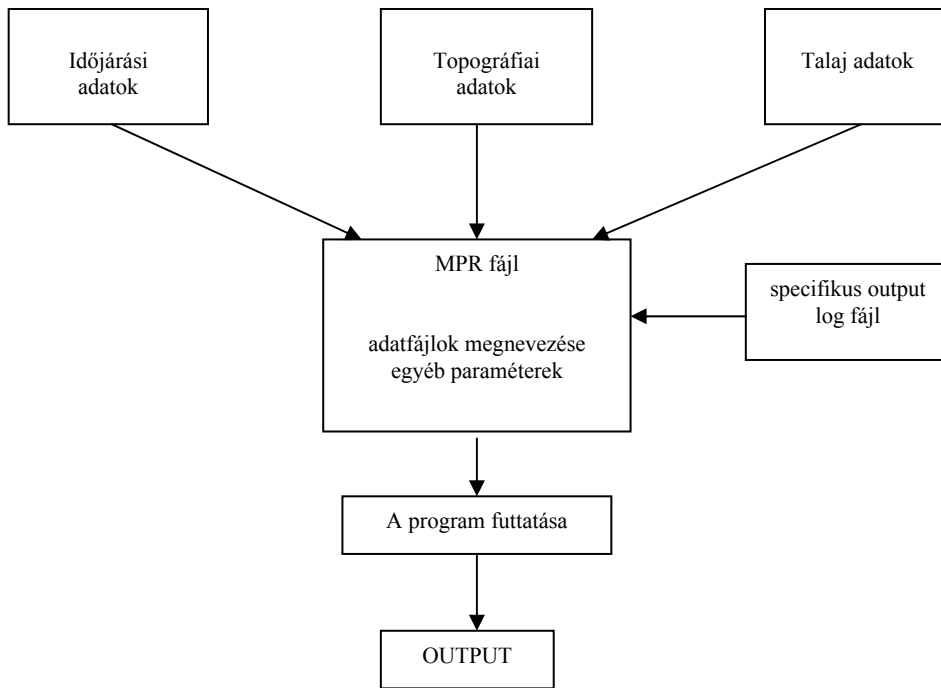
A MEDRUSH modell egy objektum-orientált komplex rendszer (*1. ábra*). Az objektumok közé a következő rendszerek tartoznak: óra, időjárás modul, talaj modul, topográfiai modul, növényzeti modul.

Az Óra: A modell órája Julián dátumot és órát tartalmaz. Ennek megfelelően a modell akár óránkénti bontású eredmények igényével is futtatható. Megfelelő kalibrálás után, korlátozott mértékben, egyszeri, nagy intenzitású jelenségek követésére is alkalmas. A futtatás hosszúságának nincs gyakorlati határa, így bármilyen időtávra futtatható, de képes arra is, hogy kiszámítsa azt a maximális időtávot, amin belül még megfelelő eredményekkel szolgál.

Időjárás adatok: A modell három féle bontásban képes időjárás adatokat kezelni. A valós időjárás adatok órás és napos bontásban táplálhatóak be, de lehetőség van havi átlagértékek megadására is. Ez utóbbi esetben hosszabb futtatás és kisebb felbontású output értékeket célszerű programozni. Az időjárás adatok közé hőmérsékleti, csapadék és közvetlen sugárzási adatok tartoznak.

Talaj paraméterek: A talaj adatok laboratóriumi adatokon alapulnak. Tartalmazzák az USDA alapú fizikai talajféleségeket, a talaj és a talajfelszín kövességét és a talajhidrológiai paramétereket. A talaj adatok szerkezetükben szorosan kapcsolatosak a topográfiai adatokhoz.

Topográfiai adatok: A modell alapvetően komplett vízgyűjtőkre készült. A UNIX-os változat „pre-processor”-ai végzi eredetileg a domborzat modell felszeletelését katénákra, majd lejtőszakaszokra. DDM és a UNIX-os rendszer hiányában a katénák



1. ábra. A MEDRUSH szerkezeti felépítése (MCMAHON, M.–HAWKES, C. 1999)

Flow chart of the MEDRUSH model (MCMAHON, M.–HAWKES, C. 1999)

és a lejtőszakaszok kijelölése hagyományos úton kell, hogy megtörténjen. A lejtőszakaszok kijelölésénél ekkor a növényzetet, a lejtőszöveget és a talajadottságokat azonos súllyal kell figyelembe venni.

Növényzeti egységek: A modell nem egyes fajokkal, hanem egy-egy életformával, ill. gazdálkodási típussal számol. Az egységek között megtalálhatóak a mediterrán és a klasszikus mérsékelt övi természetes vegetációkra jellemző életformák, és itt lehet megadni a mezőgazdasági kultúrák jellemző értékeit is. A jellemzők között a növényborításra és a biomasszára vonatkozó adatok külön-külön is megadhatóak.

Kimeneti változók:

- a) Időjárási adatok (időjárás generátor alapján);
- b) Katéna szinten: lefolyás, szediment hozam, felszínelhordás;
- c) Lejtőszakasz szinten: talajhidrológiai paraméterek (az erózió jellegét jellemző paraméterek, a lejtőalak változását jelző paraméterek);
- d) Növényzet: LAI, borítás változása, biomassza (teljes, ill. szervi bontásban), transzspirációs változók, napsugárzás hasznosulás, termelő holt szerves anyagok paraméterei.

A MEDRUSH modell, ellentétben a legtöbb ma elterjedt ilyen jellegű modellel, nem kifejezetten felhasználóbarát. A bemeneti változókat a kezelési útmutató alapján MS Excelben is el lehet készíteni. A modellt két kulcsfájl megírásával lehet kezelni. Ezek Notepad-ben szerkeszthetőek. Az „*.mpr” (main parameter) fájl segítségével az óra beállításait, a modulok számára a forrásfájlok helyét és a modellezés léptékét lehet beállítani. Szintén itt hozhatjuk létre a kimeneti állományt (output) is. Az „out.txt” állományban a kimeneti változókat állíthatjuk be tér- és időbeli bontásban. A modell forráskódjának ismeretében, a kalibrálás alatt a tapasztalati képletek állíthatóak.

A modellezés első munkafázisa az alkalmazandó modell kalibrálása. A MEDRUSH modellt *két teszterületen* kalibráltuk. Az MTA FKI Csákvári Talajeróziós állomásán négy balaton-felvidéki és egy helyi talajból szabványos WISCHMEIER-féle parcella lett kialakítva. A modellt első lépcsőben lejtő és lejtőszakasz szinten e parcellák paramétereit alapján futtattuk le. Ez a kalibrálás a fekete ugar esetében tette lehetővé a MEDRUSH beállítását.

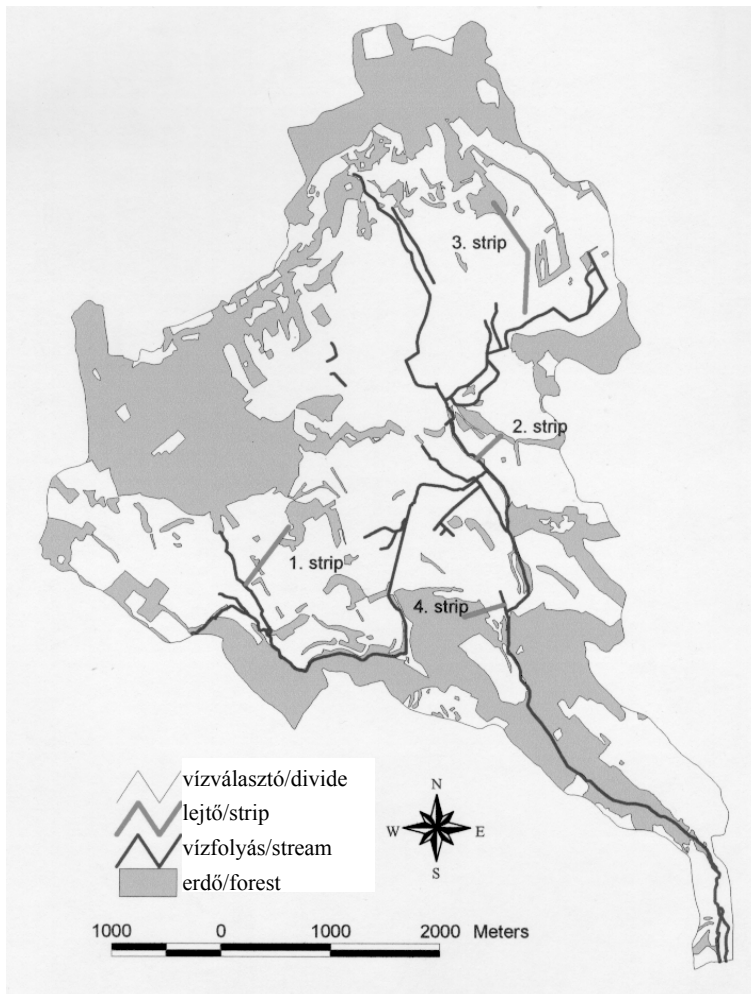
A második lépcsőben a növényzeti modult teszteltük Víz község (Tetvespatak vízgyűjtő, Balaton) határában kialakított WISCHMEIER-féle parcella alapján. Itt egy talajtípus esetében állt rendelkezésre a fekete ugar és több kultúra (őszi búza, kukorica, napraforgó, gyomvegetáció, gyep) és vetésforgó vonatkozásában a szükséges talajhidrológiai és talajpusztulási adat.

A tesztelés során felhasználtuk az ezen a parcellákon felállított Pannon R02 típusú esőztető berendezéssel folytatott esőztetési vizsgálatok eredményét is, melynek segítségével a különböző intenzitású csapadékesemények hatásait ellenőrizhettük. A telített beszivárgási együtthatót ezen túl a modellezett területek talajai esetében duplakeletes beáztatással is meghatároztuk. A tesztelések eredményeképp a modellben alkalmazott tapasztalati képleteket a mért eredmények függvényében módosítottuk.

A MEDRUSH modellt az összes lehetséges módon futtattuk. Ez a tesztelés után magába foglalta a lejtőszakasz→lejtő→vízgyűjtő szintű, valamint az 1 órától a 200 évig tartó időtartamú modellezést.

A mintaterület

A kalibrálást követően a modellt a Balaton egy É-i parti (Örvényesi Séd) vízgyűjtőjén kijelölt 4 reprezentatív lejtőn futtattuk le (2. ábra). A lejtők kijelölésénél szempont volt, hogy mely területekről rendelkezünk adatokkal a korábbi mérések alapján, ill. korábbi talajpusztulási modellezések eredményeivel. Az evapotranszspirációs egyenletet az eddig említett területeken túl baranyai, dél-somogyi, valamint nógrádi mintaterületeken végzett kutatások eredményei alapján határoztuk meg.



2. ábra. A modellezett lejtők helyzete
Position of the modelled slopes

Eredmények

Evapotranszpirációs egyenlet

A MEDRUSH modell a kimeneti időjárási adatokat a potenciális evapotranszpiráció (PET) tapasztalati egyenlete alapján számítja ki. A kiinduló egyenlet mediterrán éghajlati körülmények között optimális eredményeket biztosított. Hazai klímaadatok alkalmazása esetén azonban mind a PET, mind a hőmérsékleti adatok is

némileg magasabbak lettek az optimálisnál. Ez a talaj vízháztartásán keresztül a talajpusztulási és a növényzeti eredményeket is befolyásolta. A modell eredeti kiinduló egyenlete (KIRKBY, M. 1999):

$$PET = \frac{R}{(1 + B)}$$

ahol PET = potenciális evapotranszpiráció; R = beesó sugárzás értéke ($W\ m^{-2}$); és

$$B = 0.0004714 * T^2 - 0.0396 * T + 0.0778$$

Az eredeti egyenletet több ponton próbáltuk módosítani. A tesztfuttatások alapján a legoptimálisabbnak a nevező módosítása tűnt, „ B ” értékkel együtt. Ebben az esetben az összes méret és időskálán a mért értékekkel közel egyező kimeneti értékeket kaptunk. Bár a tapasztalati egyenletek általánosan nem használhatóak, az általunk számított „ B ” a Dunántúlon és a Duna-Tisza közén, valamint Nógrádban és a Gödöllői-dombsággal bezárólag jól használhatónak bizonyult. Az általunk módosított egyenlet:

$$PET = \frac{R}{(3,5 + B)}$$

$$B = 0.0004714 * T^2 - 0.0425 * T + 0.0771$$

Talajpusztulás modellezés lejtőkön

A MEDRUSH modell segítségével több vízgyűjtőn reprezentatív lejtők segítségével megkíséreltük megjósolni a hosszú távú talajpusztulás mértékét, valamint a talaj vízháztartásának alakulását a földhasználat függvényében.

Az egy esztendő alatt lepusztult anyagmennyiség szántóföldi művelés esetében a parcellákon mértékkel 98%-os egyezőséget mutatott. Ezek alapján kísérletet tettünk négy, a mintaterületre jellemző területhasználati típus esetében előrejelzést tenni az 50 esztendő alapján lepusztult anyagmennyiségre. A várakozásnak megfelelően szántóföldi művelés (minden esztendőben kalászos gabonaféle) esetében kaptuk a legmagasabb lehordódási értékeket.

50 év alatt, folyamatos szántóföldi művelés esetén 1,3–3,5 m talajvesztéséget prognosztizált a modell. Ez átszámítva éves szinten mintegy 390–1050 t/ha lehordódást jelent. Gyümölcsös esetében, minimális lágyszárú szintet feltételezve, 19–38 cm-nyi talajpusztulást jelzett a modell a lejtőszög függvényében, ami 57–117 t/ha értéket jelent éves szinten. A legalacsonyabb talajpusztulást a várakozásoknak megfelelően az erdő, ill. a rét esetében mutatott a modell (3. ábra).

A barázdás erózió megjelenését a MEDRUSH modell is kizárólag borítás nélküli „fekete tarló”, ill. szántóföld esetében jelezte. Fekete ugar esetében a lepel erózió és a vonalas erózió arányát a MEDRUSH szintén jó közelítéssel számította. A kísérleti parcellán mesterséges esőztetés során a lepusztult anyagmennyiség 86%-a vonalas erózió révén, míg 14%-a lepel erózió révén távozott a parcelláról. A modell ilyen körülmények esetén 88%/12%-os megoszlást számított a két erózió típus között (4. ábra). Pázsitfűfélék 100%-os borítottsága esetén szintén kimutatható volt a barázdaképződés megjelenése. Ekkor a MEDRUSH szerint a vonalas erózió a lehordott anyag 22%-áért, míg a lepel erózió a 78%-áért volt felelős (5. ábra).

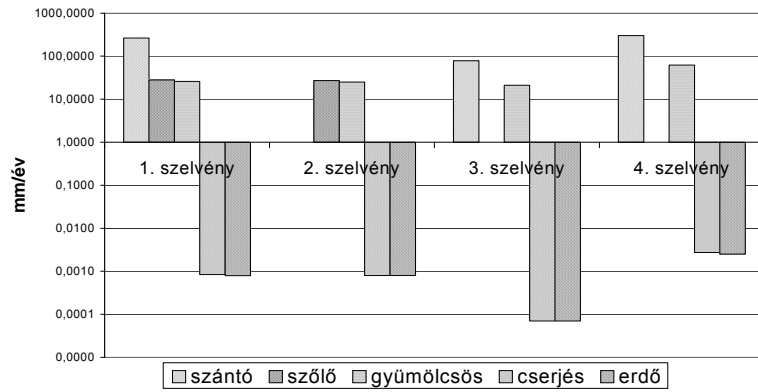
Jelentős különbségeket tapasztalhattunk a különböző területhasználati típusok között a lefolyás tekintetében is. A lefolyásviszonyok alakulását az éves átlagon túl havi bontásban is vizsgáltuk. Napi bontású adatsort alkalmazva kitűnik, hogy a modell különösen a nagy mennyiségű (nem intenzitású) csapadék esetén mutat jelentős különbséget a különböző területhasználati típusok között, a lefolyás tekintetében (6. ábra). Még informatívabb a modell, amennyiben a lehullott csapadék és a felszínen lefolyt vízmennyiség közötti összefüggést vizsgáljuk. A MEDRUSH kimeneti értékei szerint a lehulló csapadék elhanyagolható mennyisége távozik lefolyás útján a nyári hónapok idején, a területhasználattól függetlenül. Ennek ellentéte a téli negyedév az az időszak, amikor szántó és gyümölcsös esetében a lehulló csapadék 90–70%-a végeredményben lefolyik. Ez az arány még a rét és az erdő esetében is elérheti a 40–45%-ot (7. ábra).

Felszín alatti elfolyás kimeneti értékeivel, ill. ennek a felszíni lefolyáshoz és a lehullott csapadékhöz viszonyításával információt kaphatunk arra, hogy a MEDRUSH milyen módon képes kezelni a talaj-növény rendszert a vízforgalom tekintetében. Ez a kimeneti változó az összes területhasználati típus és az összes modellezett lejtő esetében egymással közel ugyanolyan arányban áll (8. ábra). A modell által számított felszínalatti elfolyási értékek arról tanúskodnak, hogy a mezőgazdasági kultúrák vízhasznosítása a természetes, ill. ahhoz közeli vegetációknál jóval gyengébb. A rét és az erdő alacsony számított elfolyási és lefolyási értékei arra engednek következtetni, hogy a modell jól kezeli az evapotranszpiráció és az intercepció jelenségét is.

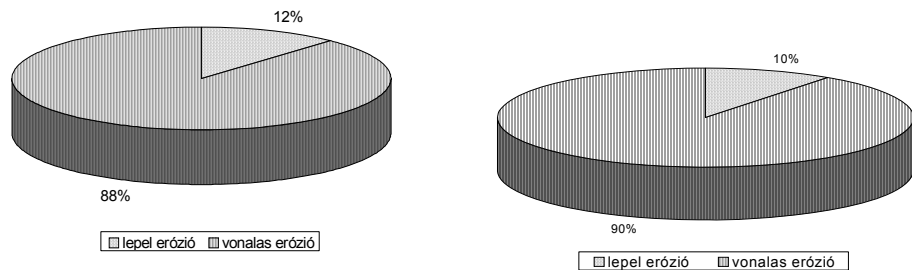
Következtetések

Eddigi tapasztalataink alapján a MEDRUSH modell bizonyos módosításokkal alkalmas a talajpusztulás típusának és mértékének előrejelzésére, valamint bizonyos mértékig a vízgazdálkodás modellezésére is. A legtöbb megoldást igénylő feladatot a klíma modulban találtuk. Ezek közül az evapotranszpirációt érintő problémákat sikerült megoldanunk, de a hó formájában jelentkező csapadék által jelentkező késleltetett lefolyást, ill. az ezzel kapcsolatos hóeróziós jelenséget még nem. Azt azonban mindenképp meg kell jegyeznünk, hogy a hóerózióval kapcsolatos kalibrációra hazánkban, az utóbbi években nem is nagyon volt lehetőség.

A lejtőszintű modellezés során nyert tapasztalatok alapján kijelenthetjük, hogy ez a modell – bizonyos korlátokkal – alkalmas a területi tervezés, ill. környezeti hatástanulmányok során igényelt prognózisok készítésére.

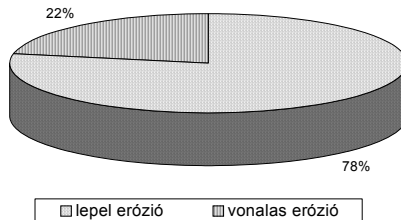


3. ábra. 50 esztendő során lepusztult talaj vastagsága
 Predicted thickness of the soil to be eroded for 50 years



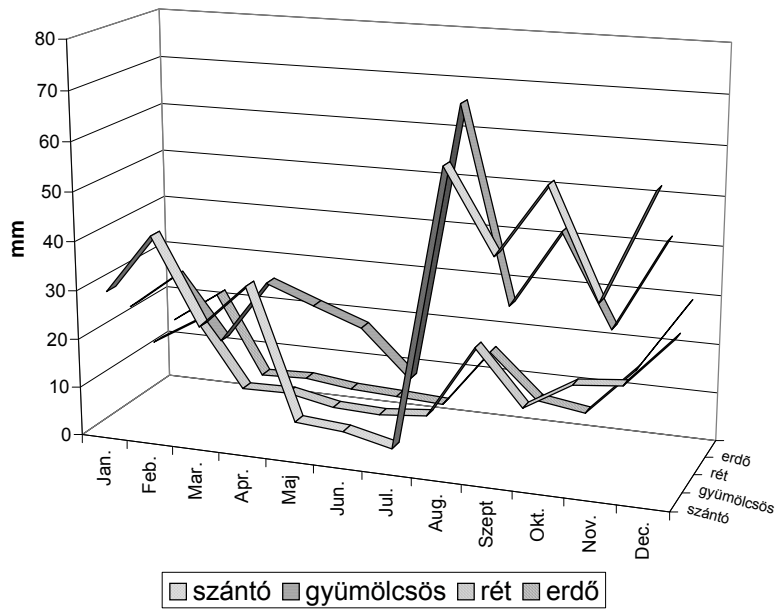
4. ábra. A vonalas és a lepel erózió által lepusztított anyagmennyiség egymáshoz viszonyított aránya a modell által számított (a) és a parcellán mért (b) eredmények alapján

Ratio of soil loss due to rill and areal erosion based on the values calculated by the model (a) and the measured ones (b)



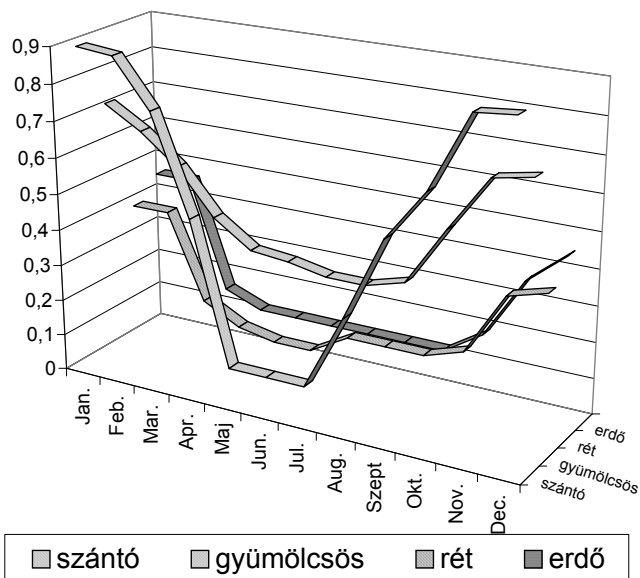
5. ábra. A vonalas és a lepel erózió által lepusztított anyagmennyiség egymáshoz viszonyított aránya 100%-os évelő lágyszárú borítottság esetén

Ratio of soil loss due to rill and areal erosion for the case of 100 per cent coverage with herbaceous vegetation



6. ábra. A felszíni lefolyás havi átlagai egy éves, napos bontású csapadék adatsor alkalmazása esetén

Monthly average runoff based on data set of daily precipitation events



7. ábra. A csapadék és a felszíni lefolyás aránya havi bontásban

Monthly ratio of atmospheric precipitation and runoff



8. ábra. Felszín alatti elfolyás éves átlaga 50 esztendő alapján
Annual average subsurface flow based on prediction for 50 years

Végezetül ki kell emelnünk, hogy a lejtő szintű modellezés csak az első lépcső e modell által nyújtott lehetőségek kiaknázása során. A MEDRUSH által támogatott vízgyűjtő szintű modellezés hazai adaptálása és a vegetációdinamikai modul kalibrálása után az alkalmazhatósága is sokkal szélesebb körű lesz.

IRODALOM

- JAKAB, G.–HUSZÁR, T.–KERTÉSZ, Á.–SCHWEITZER, F.–SZALAI, Z. 2000. Assesment of sediment yield by the USLE and MEDRUSH models. – Conference on Linkeage of Hillslope Erosion to Sediment Transport and Storage in River and Floodplain Systems. Abstract book. 15 p.
- KIRKBY, M. 1999. Application and further development of the MEDRUSH model. – Book of Medalus III Final report. pp. 528-559.
- MCAHON, M.–HAWKES, C. 1999. The MEDRUSH model. – Technical description. 51 p.
- SZALAI, Z.–HUSZÁR, T.–KERTÉSZ, Á. 2000. Application of the Medrush Model for a Hungarian Hilly Catchment. – International Symposium on Gully Erosion Under Global Change. Abstract book. 126 p.