SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
Természettudományi és Informatikai Kar
Földtudományi Doktori Iskola

Az EROSION 3D MODELL MAGYARORSZÁGI ADAPTÁLÁSA ÉS ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA KISVÍZGYŰJTŐK TÁJHASZNÁLATI TERVEZÉSÉBEN

Doktori (PhD) Értekezés

Kitka Gergely

Témavezető: Dr. Farsang Andrea
Egyetemi docens, PhD.

Szeged, 2009

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS .....HIBA! A KÖNYVJELZŐ NEM LÉTEZIK.

1.1 Bevezetés, célkitűzések**…….***4*

2. TALAJERÓZIÓS VIZSGÁLATOK A VÍZGYŰJTŐ GAZDÁLKODÁSI TERVEK SZOLGÁLATÁBAN……6

2.1. A vízgyűjtő definíciója, rendszere**……...……***6*

2.2. Vízgyűjtő Gazdálkodási tervek **.....Hiba! A könyvjelző nem létezik.***7*

2.3. A Vízgyűjtő Gazdálkodás lépései **.....** *8*

3. A TALAJERÓZIÓ MODELLEZÉS.....HIBA! A KÖNYVJELZŐ NEM LÉTEZIK.

3.1. A talajeróziós modellek általános jellemzése és csoportosítása**……***11*

3.2. A modellek csoportosítása **.....** *13*

3.3.A talajeróziós modellek nemzetközi és hazai fejlődése **.....** *15*

3.3.2. A talajerózió modellezés hazai fejlődése**……***23*

4. AZ EROSION 3D TALAJERÓZIÓ BECSLŐ MODELL…….26

4.1 Az Erosion 3D modell**.....** *26*

4.2. A modell felépítése, komponensei **.....*Hiba! A könyvjelző nem létezik.***

4.3. A modell bemeneti paraméterek **.....*Hiba! A könyvjelző nem létezik.***

4.3.1. Relief paraméterek**……..***29*

4.3.2. Talajparaméterek**…….***30*

4.3.3. Csapadékparaméterek**…….....***36*

4.4. Kimeneti paraméterek**……...…….***36*

4.5. Néhány példa az E2D/3D alkalmazására**……..…….***37*

5. A MINTATERÜLET……..…41

5.1.A mintaterület kiválasztása **.....** *41*

5.2.A mintaterület bemutatása (Cibulka-vízgyűjtő)*.....Hiba! A könyvjelző nem létezik.*

5.2.1. A Cibulka-vízgyűjtő területhasználata..... *44*

5.2.2. A kalibrációs minteterületek *46*

6. MINTAVÉTELI ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ..... Hiba! A könyvjelző nem létezik.
6.1. Adatgyűjtés.....***Hiba! A könyvjelző nem létezik.***
6.2. Digitális adatok *52*
6.3. Relief.....***Hiba! A könyvjelző nem létezik.***
6.4. Talajparaméterek**.....** *55*
6.5. Mintavételezési módszerek terepen**……...……***57*
6.6 Laborban végzett vizsgálatok**……..***59*
6.7. Csapadékadatok**……..……...***62*
6.8. Adatfeldolgozás**……..…***64*

7. EREDMÉNYEK……..65
7.1. Eredmények terepen..... *65*
7.2. Laborvizsgálati eredmények **.....** *66*
7.3. Az üledékcsapdás mérések eredményei.....***Hiba! A könyvjelző nem létezik.***
7.4. A mintavételi eredmények adatbázisba foglalása**……..***69*

8. A KALIBRÁCIÓ……70
8.1. Kalibráció lépései**……..……**70
8.2. Érzékenységi teszt**…….……..…***70*
8.3. Szimuláció a szántón (1.sz. részvízgyűjtő) .....***Hiba! A könyvjelző nem létezik.***
8.4. Szimuláció a szőlőn (2. sz. részvízgyűjtő).....***Hiba! A könyvjelző nem létezik.***
8.5. Érzékeny paraméterek kalibrálása..... *75*
8.6. Validáció**……***82*
8.7. Összegzés**……...***83*

9. OPTIMÁLIS TERÜLETHASZNÁLAT MODELLEZÉS…….84
9.1 Adatbázis**…….***84*
9.2. A modellezés lépései**…….……**.*85*
9.3. A scenáriók alkalmazása**……...……**.*87*
9.3.1. 1. scenárió: a történelmi területhasználat**…….……...***87*
9.3.2. 2. scenárió**……...……***97*
9.3.3. 3. scenárió**……...……..***100*
9.3.4. 4. scenárió**…….……***102*
9.3.5. 5. scenárió**…….……***105*
9.3.6. Részösszegzés (1-5. scenárió)**……...***105*

9.3.7. 6. scenárió - Víz és talajvédelmi prioritások**……***111*

9.4. Továbblépési lehetőségek**.....***115*

10. AZ ELÉRT KUTATÁSI EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA ..... HIBA! A KÖNYVJELZŐ NEM LÉTEZIK.**116**

11. SUMMARY.....HIBA! A KÖNYVJELZŐ NEM LÉTEZIK.**119**

12. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS 121

13. FELHASZNÁLT IRODALOM ..... HIBA! A KÖNYVJELZŐ NEM LÉTEZIK.

1. BEVEZETÉS

1.1 Bevezetés, célkitűzések

A talaj az emberi faj fennmaradásának egyik nélkülözhetetlen, feltételesen megújuló erőforrása, az élelem termelés alapja. A Föld népességének robbanásszerű növekedése egyre nehezedő nyomást gyakorol bolygónk eltartó képességére. Az ember földművelő tevékenységének intenzitása az utolsó 150 évben nagyon felgyorsult. A termelési folyamatok következtében fellépett talajpusztulás miatt kialakult talajveszteség már meghaladja a talaj természetes regenerálódási képességét. A napjainkban tapasztalható talajveszteség akár 16-szorosa, vagy egyes helyeken akár 300-szorosa is lehet a talaj megújulási képességének. A talajképződés folyamata emberi léptékkel mérve igen lassú, 200-1000 év alatt átlagosan 2.5 cm-rel vastagodik normál mezőgazdasági kihasználtság mellett.

A talajtakaró kialakulásának természetes dinamikájának, igen sérülékeny egyensúlyának a megbomlását a rendszeres mezőgazdasági művelés hozta magával (*[1]Thyll 1992, [2]Kerényi 1991*). Globális szinten évente 20 milliárd tonnára becsülik a termőföldekről lepusztuló talajmennyiséget, az ebből származó terménycsökkenést 20 millió tonnára, a teljes termelés 1%-ára (*[3]Dowdeswell, 1998*). A talajmennyiség csökkenése komoly minőségi romlást okoz a területeken, mivel a távozó talajtömegben lévő humusz és tápanyag is elhordódik. Ha ezt a romlási ütemet nem lesz képes az emberiség lelassítani és kezelni, akkor az a talaj végleges, visszafordíthatatlan pusztulásához, emiatt globális krízishez vezethet.

A talajpusztulással foglalkozó nemzetközi szakirodalom a természetes körülmények között lejátszódó felszín- illetve talajpusztulást geológiai eróziónak jelöli (*[4]Stefanovits, 1975*) szemben az emberi tevékenység következtében felgyorsult eróziós folyamattal, amelyet talajeróziónak (*[5]Schmidt, 1979*) nevez.

A magyar szakirodalomban a talajpusztulás fogalmán tágabb értelemben az olyan folyamatok összességét értjük, amelyek a termékenység csökkenéséhez vezetnek (*[6]Kerényi, 1991*) vagyis az emberiség számára hasznosítható talajréteget károsítja (*[7]Barta, 2004*). Szűkebb értelemben a talajpusztulás a víz és szél által okozott eróziót, a talajszemcsék elsősorban mechanikai hatásra történő elmozdítását és elszállítását jelenti.

A talajeróziós folyamatok következményeinek „orvosolása” a kisvízgyűjtőkön (10-15 km^2) kezdődik. Lokális problémaként kezelve megoldható hosszabb távon a globális helyzet

is. Mivel egymástól igen eltérő területekről van szó, mindenhol az adott körülményekhez alkalmazkodva kell a megoldást kidolgozni.

A talajpusztulás Magyarországon is komoly problémát jelent a mezőgazdaság számára. A talajerózió mérésére és modellezésére hazánkban is számos kísérletet és vizsgálatot folytattak több különböző modell segítségével.

Munkámnak fő célkitűzése, hogy kisvízgyűjtőkön talajeróziós modell segítségével egy olyan területhasználatot dolgozzak ki, amely optimálisabb, mint a jelenlegi.

A munkafolyamat két nagy részből tevődött össze. (I.) – (II.)

(I.) A modellezéshez ki kellett választani a megfelelő talajerózió becslő modellt. A modell kiválasztása után következett a hazai környezetbe történő adaptálás.

(II.) A modell adaptálása után a felhasználás következett, vagyis a modell segítségével egy kisvízgyűjtőn szimuláltam több különböző forgatókönyv szerint a területhasználatot, eljutva a legnagyobb eróziós csökkenést elérő területhasználatig.

A talajeróziós modellek irodalmát áttekintve a német Erosion 2D/3D modellt választottam.

A választás okai a következők voltak:

- a modellel lehet kisvízgyűjtő (10 – 100 km^2) méretarányban szimulálni az eróziót,
- nagy irodalommal rendelkezik, több éves mérési eredmények felhasználásával készült,
- viszonylag jól definiált és előteremthető bemeneti paramétereket igényel,
- egyeseményes modell, így alkalmas az eróziót leginkább okozó intenzív nyári záporok okozta talajveszteség jellemzésére.

A modell kalibrálásához szükséges eróziós méréseket a Velencei-hegység egy kisvízgyűjtőjén végeztem. A kalibrálást a kisvízgyűjtő területhasználati és talajtani felmérése, mintázása előzte meg, amely során a modellhez szükséges bementi paraméterek értékeit határoztam meg, vizsgálva, hogy mennyire térnek el a német területre kifejlesztett modellhez mellékelt „Paraméterkatalógustól”. A méréseket 2 részvízgyűjtőn végeztem 2004 és 2007 között 3 éven keresztül. A mintázásból és a mérések eredményeiből létrehoztam egy olyan a Paraméter-katalógust kiegészítő adatbázist, amely segítségével később a hasonló paraméterekkel rendelkező hazai területeken is használható lesz a modell.

A kalibrálás eredményeként egy új mellékletet dolgoztam ki a modellhez, amelyet figyelembe véve magyarországi viszonyok között lehet használni a modellt.

Szimuláltam az eróziót különböző területhasználati scenáriókra, meghatározott tényezők alapján. Figyelembe vettem, hogy az eredeti területhasználatot radikálisan nem lehet megváltoztatni, mert akkor elrugaszkodunk a valósághoz közeli megoldásoktól. Tehát a tulajdonosi viszonyok is fontos szerepet játszottak. További fontos tényezők voltak, a történeti területhasználat megvizsgálása után a talaj- és víz- valamint természetvédelmi funkciók, amelyeket beépítettem az úgynevezett szcenáriókba.
A dolgozatban a modell hazai adaptálását és felhasználását, valamint további felhasználási lehetőségeit mutatom be.

2. TALAJERÓZIÓS VIZSGÁLATOK A VÍZGYŰJTŐ GAZDÁLKODÁSI TERVEK SZOLGÁLATÁBAN

2.1. A vízgyűjtő definíciója, rendszere

A földfelszín szinte bármely pontja hozzárendelhető egy adott vízfolyás vízgyűjtő területéhez. A vízgyűjtők több szintre oszthatóak, amelyek szervesen egymásra épülnek. Minden vízgyűjtő több kisebb részre osztható, illetve több vízgyűjtő ad ki egy nagyobb vízgyűjtőt. Így a legkisebbtől eljuthatunk a legnagyobb egységig egy adott úton vagy láncon. Amikor egy terület védelmének vagy akár kezelésének tervezését visszük véghez, ki kell választani azt a szintet, amelyre a terv irányadó utasításai vonatkoznak. Ezeknek ad keretet a vízgyűjtő gazdálkodási terv.

A *vízgyűjtő* egy földrajzilag jól lehatárolható terület, amelyről a felszíni vizek egyetlen folyótorkolaton, folyódeltán keresztül a tengerbe vagy nagyobb tóba jutnak ([8]*Magyar Közlöny, 2004*). A *részvízgyűjtő* pedig olyan földrajzilag lehatárolt terület, ahol a felszíni vizek egy vízfolyás egy pontjához jutnak.
Ezek az egységek a vízfolyásokhoz rendelve méretük szerint 4 csoportba sorolhatóak.

1. Kis vízgyűjtők: 10 km^2– kb. 100 km^2 (patak, ér, kisebb vízfolyás)
2. Közepes vízgyűjtők: 100 km^2 - 1000 km^2 (kisebb folyó)
3. Nagy vízgyűjtők: 1000 km^2 - 10 000 km^2 (közepes folyó)
4. Nagyon nagy: 10 000km^2 < (nagy folyó)

Ez a besorolás az európai területekre jellemző, mert pl. USA-ban a kisvízgyűjtő kategóriába a nálunk közepes kategóriába sorolt területek tartoznak.

Ezek a területek az ember fenntartását szolgáló, intenzív termelés színterei, amely felhasználja a területeken található természeti és egyéb erőforrásokat. A természeti erőforrások ugyanakkor hozzátartoznak a vízgyűjtő komplex működési rendszeréhez is. Ebbe a rendszerbe beletartoznak a terület biotikus, abiotikus tényezői is, illetve az egymásra épült, valamint egymással szoros kölcsönhatásban lévő rendszerelemek. Ezek között van olyan, amelyik csak az adott vízgyűjtőre jellemző, de vannak olyanok, amelyek a méretarányokat átlépve összekapcsolnak több szintet is. Ilyen pl. éghajlat, domborzat, földtani viszonyok. A kisebb vízgyűjtőkön pedig a domborzat helyi sajátosságaiból adódó tulajdonságok az uralkodóak, mint pl. mikroklíma.

A domborzat, az éghajlat, a vízkörforgás hatására alakultak ki az egyes területekre jellemző talajtulajdonságok is. Ez az egyik legfontosabb alrendszerként funkcionál a vízgyűjtőkön, mert kapcsolatban van a felszíni vizekkel, szűri a felülről mélyebb rétegekre leszivárgó vizeket, meghatározza, hogy milyen a biológiai aktivitás a felszínen és felszín alatt.

Az emberi termelés egyik legfontosabb közege. Éppen ezért az antropogén hatások egyre inkább szerepet játszanak az egyensúlyi folyamatokban, illetve azok megbontásában.

Az emberi termelés megnyilvánulása az intenzív mezőgazdasági termelés, amely igen jelentős mértékben alakította át a vízgyűjtők eredeti, természeteshez közeli állapotát. Ezen az állapoton az eredeti kiinduló állapotot kell érteni.

A folyamatok nagyobb része azonban nem maradhat a jelenkori státuszában, állapotában, mert akkor visszafordíthatatlan károkat fog okozni a vízgyűjtők ökoszisztémájában. Ilyen folyamat a mezőgazdasági művelés során alkalmazott talajművelés különböző módjai, a termesztett növényekkel a biodiverzitás csökkenése, eltérés a terület eredeti jellegétől a növényzetben, állatfajokban, talajminőség romlása, tápanyag utánpótlás, eutrofizációs folyamatok felgyorsítása a nagyobb mennyiségű tápanyag kimosódással, amit a helytelen művelés következtében kialakult talajerózió okoz (*[9]Farsang et. al., 2006*).

2.2. Vízgyűjtő Gazdálkodási tervek

A vízgyűjtőkön jelen lévő káros folyamatok megfékezésére, kezelésére azonban, mint összetett problémára kell gondolni.

Komplex rendszerekről van szó, amelyek komplex kezelési terveket igényelnek. Ezt a feladatot foglalja magában a vízgyűjtő menedzsment, vízgyűjtő kezelési tervek, tervezetek készítésével.

Az egyes országokban ennek feladata más, más szervezeteké. Az Európai Unió keretein belül az országok a Víz Keretirányelv ([10]*2000/60/EK*) irányelveit követve dolgoznak ki kezelési tervezeteket. Magyarországon a törvényhozásban a 221/2004.(VII.) Kormány rendelet keretein belül rögzítették a vízgyűjtőkön végrehajtandó feladatokat, célokat és azok prioritásait.

„*A vízgyűjtő-gazdálkodási terv tartalmazza a vízgyűjtők jellemzőinek, a környezeti célkitűzéseinek és a jó állapotának elérése érdekében - a Nemzeti Környezetvédelmi programmal összhangban – azokat a tevékenységeket, beavatkozásokat, amelyek hatással lehetnek a vizek mennyiségi, minőségi, ökológiai állapotára, valamint ezen hatások elemzését, továbbá a vizek jó állapotának elérése érdekében tett és teendő intézkedéseket, intézkedési programokat, a vizek állapotának jellemzéséhez szükséges monitoring programmal együtt*." ([11]*221/2004.(VII.) Kr.*)

A vízgyűjtőket nagyságuk szerint kategorizálják, tervezési alegységekre bontják és ezekre az alegységekre vonatkozva határozzák meg a lépéseket. Ezek legfőbb célja a vízgyűjtőkön található vízfolyások, felszíni és felszín alatti víztestek védelme, illetve azok 2015-ig „jó állapotot" érjenek el.

2.3. A Vízgyűjtő Gazdálkodás lépései

A Víz Keret Irányelvben foglaltak szerint, a következő lépésekben határoztam meg egy vízgyűjtő gazdálkodási terv elkészítését:

- A kezelni kívánt terület kezdeti/aktuális állapotának felvételezése
    - Vízrendszer (felszín feletti víztestek /felszín alatti víztestek)
    - Területhasználat
    - Védett területek
  - Az emberi tevékenység felszíni és feszín alatti vizek állapotára gyakorolt jelentős terheléseinek és hatásainak összefoglalását (pontszerű és diffúz szennyezőforrások, vízkivételek és egyéb hatások)

- A területre adatbázis kiépítése a felvételezés alapján+ adatok

  - Az adatbázis alapján kijelölni az érzékeny területeket, különös tekintettel a vízminőség, erózió, szennyező források, talajvédelem, természetvédelem szempontjaira.
- Meghatározni az alapállapot felvétel után az elérendő célállapotot, illetve az eléréshez szükséges feladatokat. Bizonyos esetekben az eredeti célkitűzés nem teljesíthetőségének a részletezése.
- A feladatok megoldásait scenáriókba beépítve, modellezni a lehetséges kimeneti állapotokat.
  - Több szintű lehetőségek kialakítása. Pl.: természetvédelemnél – szigorú, fokozott intézkedést kíván.
  - Amennyiben a területhasználat változtatásának lehetősége fennáll, akkor a gazdasági tényezőket is be kell építeni a modellezésbe.
  - Az optimális területhasználatot tartalmazó szcenáriót, mint egyfajta ajánlást megadni.
- A tervezet végrehajtása során megfelelő monitoring rendszert kell felállítani, amellyel az intézkedések eredményei nyomon követhetőek. A várt hatásoktól való eltérés esetén modellezni tudjuk a problémát újra.
- A monitoring hálózat térképe és a monitoring hálózat eredményeinek bemutatása térképi formában, nyilvánosan is.

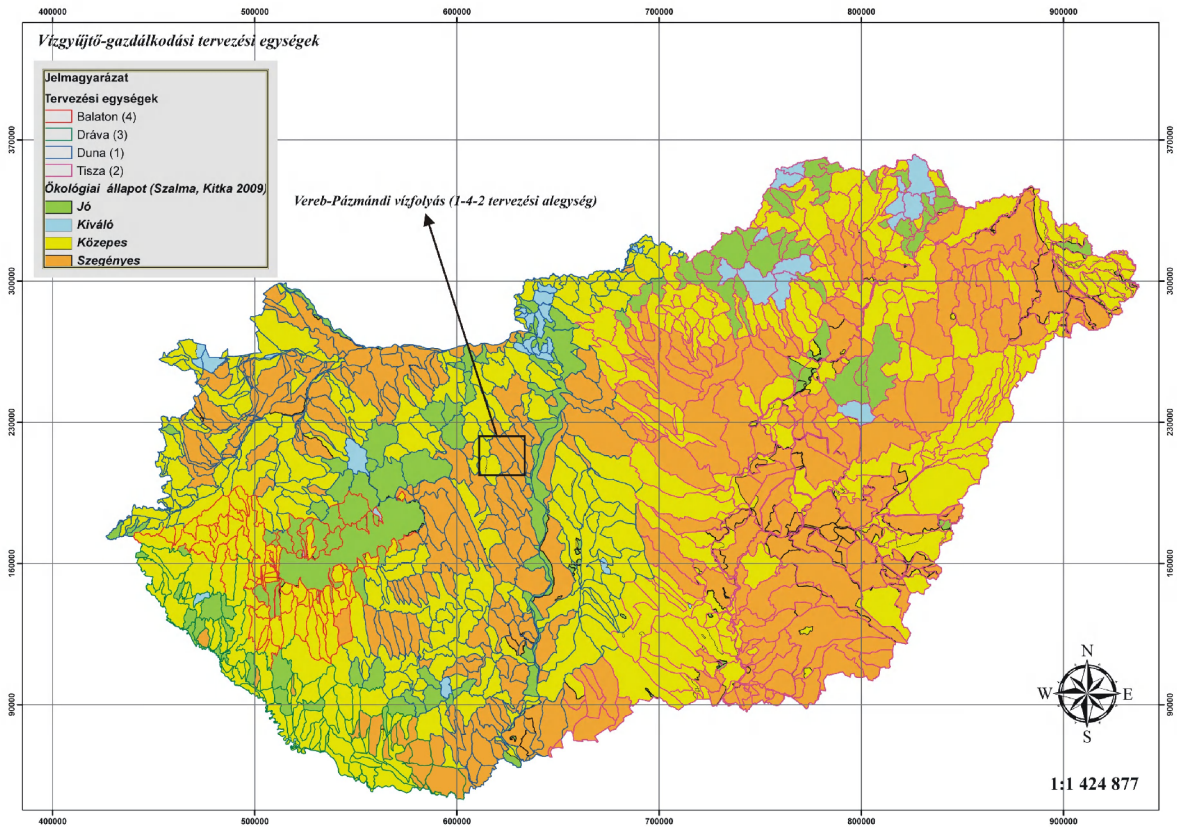
A két legfontosabb tényező, amiken a kezelési tervek alapulnak a vízminőség és az erózió. A területek jellegétől függően az erózió előtérbe kerülhet, mint a vízminőség egyik meghatározó folyamata. Mivel az erózió nagymértékben függ a területhasználat jellegétől, ami befolyásolja lefolyási viszonyokat, így a területhasználat változtatása a kulcs a vízgyűjtő állapotának kedvezőbb eléréséhez. A területhasználatot pedig a természeti tényezők határozzák meg.

Egy vízgyűjtő területhasználata lehet mezőgazdasági, ipari, rekreációs, természetvédelmi célú, illetve ezektől eltérő alternatív cél (pl. katonai) is lehetséges.

A 221/2004. (VII.) Kormány rendelet alapján az alapállapot felvételezése során különös figyelmet kell fordítani a diffúz és pontszerű szennyező forrásokra, illetve azok visszavezethetőségére. A szennyvizek és egyéb szennyezőanyagok bevezetésénél és a mezőgazdasági művelés során a talajba, majd a kimosódás következtében a felszíni vízhálózatba jutó anyagokról van szó. A forrásokat tartalmaznia kell az alapadatbázisnak, melynek felépítése során elsősorban a könnyen hozzáférhető információkat kell felhasználni.

Az alapadatbázis felépítésénél, mivel nagy területekről kell adatot beszerezni elengedhetetlen a GIS (Geography Information System) háttér. Minden adatbázis kiépítése már térbeli adatok kezelését igényli. Vízgyűjtő kezelési tervek alapadatbázisának minden adatának van térbeli vonatkozása. A modellezés GIS környezetben történik. A két elem szervesen összefonódik. Az eredmények közlésében, elemzésében, valamint a döntéshozás megalapozottságában is igen nagy szerepe van. A Föld felszínét kutató tudományágak közül több eredményét felhasználjuk, mint például a távérzékelés. A légifelvételek, nagy felbontású műholdfelvételek, amelyek különböző hullámhossz tartományokban is készülhetnek ([12]*Mucsi, 1997*), mind segítenek az aktuális állapot felmérésében, segítve ezzel a döntést, hogy milyen célt fogalmazzunk meg a vízgyűjtő állapotát illetően. (*1. ábra*)

Magyarországon a különböző vízgyűjtő méretarányok egyben a vízgyűjtő gazdálkodási tervek készítésének tervezési szintjei is. A dolgozatomban a Duna vízgyűjtő (1-1), 1-4-es alegységéhez tartozó 1-14-es számú Vereb-Pázmándi vízfolyás vízgyűjtőjén található Cibulka-patak vízgyűjtőjével foglakozom, mivel az alkalmazott talajeróziobecslő modell ebben a méretarányban (14-15 km^2) használatható.



1. ábra Magyarország vízgyűjtő tervezési egységei és azok jelenlegi ökológiai állapota ([13]Szalma, Kitka, 2009) (1.sz. melléklet)

A vízgyűjtők kezelésében, állapotuk tervezésében, több helyen is bekapcsolhatóak a talajeróziós vizsgálatok. Egy olyan talajerózióbecslő modell kalibrálását és alkalmazását egy magyarországi mintaterületre, amely egy mezőgazdasági használatú kisvízgyűjtő méretarányban jól alkalmazható, fontos előrelépésnek tartom a vízgyűjtő gazdálkodási tervek megvalósításában.

3. A TALAJERÓZIÓ MODELLEZÉS

3.1. Talajeróziós modellek általános jellemzése és csoportosítása

A természet működését, a felépítő rendszereket alkotó „tényezők" közötti kölcsönhatások, folyamatok biztosítják. A folyamatokat bemutató modellek igen sokfélék lehetnek. A modellek alkalmazását az alábbi okok tehetik indokolttá ([14]*Barta, 2004*):

- a vizsgált folyamat kiinduló állapota vagy annak bizonyos részei nem ismertek
- a végeredmény nem ismert
- a kiindulási állapot és a végeredmény közötti folyamat részletei nem ismertek
- vagy ezek valamilyen kombinációja.

A talajeróziós modellek egy része (kivétel az empirikus modellek) egyszerűsített leképezése a természetben lezajló folyamatoknak ([15]*Bork, Schröder, 1996*). A modellek az erózió folyamatát a kevésbé fontosnak ítélt összefüggésektől letisztítva, egyszerűsítve, matematikai egyenletekkel írják le. Az egyenleteknek több összetevője van:

- Független változók
- Függő változók
- Paraméterek
- Matematikai műveletek
- Számítási sorrend és logikai hálózat, amely a modell egyenleteit kapcsolja össze.

Minden modell rendelkezik bemeneti és kimeneti adatokkal. A modell futtatása során a bementi adatok - a független változók – átalakulnak kimeneti adatokká. A kimeneti adatok, mint pl.: a talajpusztulás mértéke, lehordott üledék szemcseösszetétele a függő változók. A változók a rendszer olyan jellemzőjeként értelmezhetők, amelyek mérhetőek és a különböző időpontokban történő méréskor eltérő értékkel rendelkeznek. A bemeneti paraméterek modellenként eltérőek lehetnek. Vannak azonban olyan paraméterek, amelyek minden eróziós modellnél előfordulnak. Négy csoportba lehet az alapadatokat sorolni.

1. Domborzattal és a felszínnel összefüggő paraméterek: lejtőhossz, vízgyűjtőterület, parcellaterület, lejtőszög, lefolyási irányok.
2. Talajparaméterek: fizikai talajféleség – szemcseösszetétel, felszíni érdesség, tömörödöttség, eróziós ellenállás, k - tényező (szivárgási tényező).
3. Növényzettel és a termeléssel kapcsolatos paraméterek: felszínborítottság, termesztett növényfajta, művelés típusa, vetésforgó, eróziós védekezési módszerek.
4. Meteorológiai paraméterek: csapadékeseményekhez kapcsolódó adatok - intenzitás, mennyiség, időtartam, hőmérséklet adatok.

Az alapadatok mellett a különböző modellek specifikusságától függően más paraméterek is bekérhetőek. A paraméterek típusa lehet kvantitatív vagy kvalitatív. Kvantitatív pl.: csapadékintenzitás vagy lejtőszög, kvalitatív pl. a vetésforgó típusa ([16]*Wischmeier, Smith, 1978*). A típus mellett fontos, az adott paraméter mérhetősége. A modellek alkalmazása eltérő területeken történik. Előfordulhat, hogy bizonyos bemeneti paramétereket nincs lehetőség mérni különböző okok miatt (technikai hiányosság, pénzhiány, esetleg a tulajdonság területi és időbeli heterogenitása miatt). Ilyen esetekben felhasználhatóak más, hasonló területeken mért, alkalmazott adatok. Természetesen ez bizonyos korlátokat szab a modell használhatóságának.

A modell használata során mindenképpen érzékenységi tesztet kell alkalmazni az egyes bemeneti paraméterekre, mert ezek között a paraméterek között lesz olyan, amelyik változására érzékenyen fog reagálni a modell eredménye, amely tulajdonképpen az az eróziós ráta. Fontos ezeknek a paramétereknek a kiszűrése és megfigyelése, hogy változásuk mennyiben befolyásolja az eredményt.

A nem mérhető paraméterek között is lehetnek olyanok, amelyek változásaira érzékenyen reagálnak a kimeneti adatok. Az ilyen esetekben használjuk fel más modellezések adatait, amelyeket az adott terület természeti körülményeihez rendelt mérések eredményeiből állítottak össze.

Természetesen mivel nincs két egyforma vizsgált terület, az alkalmazhatóságot ez nagyban befolyásolja. Ezért minden új területnél, muszáj kalibrálni a modellt az érzékeny tényezőkre, kidolgozni az arra a területre vonatkozó táblázatot, nomogramot.

A kalibrálás rendkívül fontos lépése a modellek felhasználásának, mert egy döntéstámogató vagy előkészítő rendszerben alkalmazott modell esetében a hibás eredmények helytelen döntések meghozatalához vezethetnek. Ideális esetben a kalibrálást elvégzik minden új

területre (vízgyűjtőre), a modellezés előtt. Egy modell széleskörű felhasználhatóságát, főleg döntés előkészítő szinten, azonban befolyásolja költséghatékonyság. Minden újrakalibrálás plusz költség ráfordítás. Ha viszont létrehozunk egy adatbázist az egész országra, ami tartalmazza egy több éves mérési sorozat eredményeit, akkor ezek a költségek leredukálhatóak. Egy ilyen adatbázis felépítésénél érdemes hozzányúlni a már létező adatbázisokhoz. A talajerózióbecslő modellek esetében ilyen lehet a T.I.M. (Talaj Információs Monitoring) adatbázis, nagyméretarányú talajtérképek, mert ezek már tartalmazzák az alapadatokat, illetve lehet belőlük származtatni több más adatot. Erre a tömegfelhasználásnál kerülhet sor. Még ebben az esetben sem lehet kikerülni az aktuálisan modellezendő terület felmérését, a terepi adatgyűjtést, ami pontosabb eredményeket szolgáltat. Ideális esetben a szimulált eredmény és a mért eredmény közötti eltérési ráta 1,0.

A kalibrálás során tudnunk kell, hogy mi az a hibahatár, amit elbír a felhasználó rendszer. Ez alapján lehet az eltérési ráta 0,75 és 1,5 között, rugalmasabb vagy lazább döntés előkészítő rendszerben akár 0,5 és 2,0 közé is eshet. A kalibrálás azért időigényes feladat, mert a hibahatár növekedhet is bizonyos paraméterek változásával. Pl.: ha növekszik a csapadékintenzitás és csapadékmennyiség (erős zivatar), akkor növekszik a hiba is – nő a különbség a mért és a szimulált eredmények között ([17]*Kirkby, Morgan, 1980*).

A modellek felhasználása előtt tehát érdemes a modell szükséges paramétereit áttanulmányozni, hogy mik azok, amiket feltétlen mérni kell minden új terület modellezése előtt és a kalibrálás során kidolgozni egy tűréshatárt. Meg kell nézni a szakirodalmat, hogy az eddigi felhasználások során milyen eltérési rátával működött a modell. Ezek alapján már lehetséges egy előzetes költségszámítás.

Kalibrálás nélkül azonban modell nem használható. Gondoljunk bele, hogy egy vízgyűjtők kezelését figyelő és tervező rendszerben, ha egy birtokon modellezik a területhasználatra az eróziót, megváltoztatnak egy paramétert (pl.: felszínborítottság) és a modell magasabb eróziós értéket ad meg , mint amilyen az a valóságban. Az eredmény alapján akár meg is vonhatják a termelőgazdától a támogatást.

3.2 A modellek csoportosítása

A modellek csoportosítása többféleképpen történhet. Alkalmazásuk előtt figyelembe kell vennünk annak időbeli, területi kereteit. Időbeli kereten értendő az időtartam, amire a becslés szól. Két csoportja van: csapadékeseményre (eseménymodell) vagy hosszabb távú időtartamra, napra, hónapra, évre becslő modellek (folyamatos modellek). Területi jelleg

szerint megkülönböztetünk parcellára (1ha – tól 10ha –ig), kisvízgyűjtőre (10 – 15 km^2 – ig) közepes- (kisebb folyóké) és nagy vízgyűjtőre (kb. 1000 km^2, nagyobb folyóké) használatos modelleket. A méretarány növekedésével növekedik az input és output adatok mennyisége és a pontossága is (kis területen könnyebbek a mérések és ellenőrzések). Tehát nagyobb területek esetében kevesebb input adat kell, de a generalizálás miatt az output adatok pontossága csökkeni fog. Viszont nagyobb területre tudunk becslést adni, ezzel átfogóbb képet kaphatunk.

A talajeróziós modellek a determinisztikus modellek csoportjába tartoznak. A modellekben lévő rendszerek elemeinek tulajdonságai között meglévő kölcsönhatások dinamikája és struktúrája, valamint ezek ok-okozati összefüggései kötöttek, egymásból következnek, csak egyértelmű összefüggésrendszerrel adhatóak meg.

Az eróziós folyamatokat térben és időben meghatározó független változók alapján megkülönböztetünk összevont és térbeli eloszlás modelleket. Az összevont modellek figyelembe veszik, hogy a változók milyen térbeni eloszlást mutatnak, valamint a bemenő adatokat a valóságban módosító fizikai folyamatok térbeli változékonyságát figyelmen kívül hagyják (pl. USLE, MUSLE, RUSLE, CREAM, EPIC, EUROSEM, ANSWERS). Ezek a modellek elsősorban évi átlagértékek becslésére alkalmasak.

A térbeli eloszlás modellek figyelembe veszik a változók térben való eloszlását azok térbeli tulajdonságait. Számítógépes algoritmusokkal számolják ezek hatását az eróziós szimuláció során. A legösszetettebb modellek térben és időben diszkrét értékekkel számolnak, megkülönböztetve pl.: a csapadékeseményeket az azok közötti időszaktól. A modellek számolják a tér egyes pontjaira az eróziós értékeket, amiket interpolációval számolni tudnak a lejtő teljes hosszára vagy akár egy egész vízgyűjtő területére. Ezen modellek nagy előnye, hogy megállapítható hol a legnagyobb illetve a legkisebb az erózió egy területen vagy lejtőn belül, akár különböző vegetációs periódusok alatt is (AGNPS, WEPP, SWAT, EROSION).

Az összevont és térbeli eloszlás modelleket tovább csoportosíthatjuk, mint elméleti, fizikai vagy tapasztalati modellek.

A tapasztalati modellek megfigyelések során kialakult és megállapított tényeken, összefüggéseken alapulnak. Empirikus úton határozták meg a modellt felépítő változók közötti kapcsolatokat és összefüggéseket. Nagy hátrányuk lehet, hogy mivel tisztán megfigyelések alapján építették csak azon a területen használhatók, ahol már a paramétereket és a modellt kalibrálták (USLE, RUSLE, MUSLE).

A talajerózió folyamatának mechanizmusát legjobban talán a fizikai alapon kifejlesztett modellek közelítik meg (EPIC, ANSWERS, WEPP, SWAT, LISEM, EUROSEM, EROSION 2D/3D). A fizikai modellek szintetizálják azokat a független változókat amelyek, térbeli és időbeli változékonyságukkal, egymás közötti kapcsolatrendszerükkel befolyásolják a kimeneti eredményeket. Fontos, hogy az egymástól független összetevőket a köztük levő fizikai kapcsolatok alapján írja le, ami szükségszerűen maga után vonja a térbeliséget, így minden pont térbeli koordinátákkal ellátva kerül be a modell matematikai egyenleteibe.

Az elméleti modellek az előző két típus között helyezkednek el. A bemeneti adatokat befolyásoló változókat nem mint fizikai folyamatokat írja le, hanem mint törvényszerűségeket. Ezek a modellek a víz és a hordalék lefolyását kiszámító egyenleteket térben összevonva kezelik.

Összegezve a modellek használata előtt tisztázni kell a célokat, mert ez alapján tudjuk kiválasztani a megfelelő modellt. A választást befolyásolja a modellezendő terület jellege, milyen méréseket lehet rajta végezni, vagyis milyen paramétereket tudunk terepen mérni, milyen kimeneti adatokra van szükségünk. A modellezés ezen fázisánál nagy körültekintéssel kell eljárni, mert ez a modellezés végeredményét nagyban meghatározza. Abban az esetben, ha az eredmény valamilyen döntéselkészítő folyamatban meghatározó, érdemes az adatok felhasználhatóságának valamilyen tűréshatárt megadni.

A legújabb fejlesztésű modelleknél alapvető elvárás a GIS - hez (FIR) való kapcsolódás. Napjainkban már a régebbi fejlesztésű modellek újabb verzióit is GIS rendszerekkel együtt fejlesztik ki. A GIS rendszerek a felszínek Digitális Domborzatmodellekkel (továbbiakban DDM) vagy Terepmodellekkel (DTM) történő leképezésével a folyamatok térbeliségét jól jellemzik. A modellek GIS–ben történő megjelenítése (számszerű adatok térképi megjelenítése, azok egymással történő fedésével) segíti az elemzés folyamatát is.

3.3. A talajeróziós modellek nemzetközi és hazai fejlődése

3.3.1 A vízgyűjtő szintű eróziós modellezés nemzetközi fejlődése

A talajeróziós folyamatok tudományos szintű kutatása az USA - ban vette kezdetét az 1900-as évek elején. Hatalmas területeket sújtott az erózió, ezért tűzték ki célul egy olyan

rendszer kidolgozását, amely a talajerózió becslésével a termelők segítségére lehet a védekezésben. Az első lépéseket 1915-ben a Missouri Egyetemen felállított eróziós parcellák ([18]*Centeri, 2002b*) jelentették, amiket később több évtizedes szisztematikus mérések, megfigyelések eredményeképpen követett az **USLE** (Universal Soil Loss Equation), ([19]*Wischmeier, W. H. et. al. 1978*; [20]*Barta, 2004*). Az egyetemes Talajveszteségi Egyenlet elsődleges céljaként a gazdálkodók szakmai támogatását jelölték meg, a megfelelő talajművelési mód megválasztásában. Az USLE egy tapasztalati, statikus modell, amely az eróziót parcella szinten képes számolni éves viszonylatban. A kimenetet t/ha adja meg. Legfőbb hiányossága, hogy átlagértéket kapunk. Tehát csak éves viszonylatban lehet használni, ami a tervezést igen megnehezíti. Ugyanakkor térben nem használható, mert nem képes a lejtőn belül modellezni a szediment/üledék mozgását. Továbbfejlesztett verziója a **MUSLE** (Modified USLE), ([21]*Williams, Berndt, 1977*). A MUSLE már kisvízgyűjtő méretarányban képes modellezni és csapadékesemény alapú modell. A USLE – től eltérően már lefolyási faktorral számol, aminek eredményeképpen megnőtt az előrejelzés pontossága. Az előző két modellt csak szántóföldi viszonyokra lehet alkalmazni. További fejlesztés során kiterjesztették a felhasználhatóságot legelőkre és erdőkre. Ez a modell a **RUSLE** (Resived USLE), ([22]*Renard et. al. 1991*). Ezt a modellt viszonylag széles körben használták az USA Talajvédelmi Szolgálat szakemberei talajvédelmi tervek kidolgozásánál.

Másik módosított verzió a **MUSLE87** ([23]*Hensel, Bork, 1988*), amely vízgyűjtő szintű becslésre alkalmas. Előnye, hogy raszter cellára számol már talajveszteséget. Közép-európai területen [24]*Schwertmann et. al. (1987)* használta. Még két átalakított verzió került használatba a dUSLE (differeniated USLE), ([25]*Flacke et. al. 1990*), amelyet kifejezetten közép-európai körülményekre módosítottak. Érdekessége, hogy nem raszteres DTM-et, hanem TIN (Triangulated Irregular Network – háromszög poligonokból felépített felület) DTM-et használ. A **RUSLE2**-t (Resived USLE, Version2), ([26]*www.fargo.nserl.purdue.edu/rusle2*) 2003-ban vezették be az USA-ban a RUSLE kiváltására. Ez a modell már napi értékekkel és eseményekkel képes számolni, ugyanakkor becsülni tudja hosszútávon a felületi réteg- és barázdás eróziót. Nyugodtan mondhatjuk, hogy a talajeróziós modellek kezdetét az USLE megalkotása jelentette.

A talajerózió modellezés egyik legfőbb központjaként működő USDA laboratóriumok (ARS – Agricultural Research Service, NRCS – Natural Resoursches Conservation Service) az 1980-as években több USLE alapokon működő modellt fejlesztettek ki, amelyek között már vannak vízgyűjtő szinten használható modellek is.

1980-ban jött ki a **CREAMS** (Chemical Runoff and Erosion from Agricultural Management System), (*[27]Knisel, 1980*). A modellt a lefolyási, eróziós és kémiai viszonyok meghatározására használják kifejezetten agrárterületekre. A CREAMS elméleti modell, amely fizikai egyenleteken alapszik (*[28]Schmidt, 2000*), 3 részmodell építi fel: hidrológiai, eróziós, kémiai. A részmodellek alapján lehet előre jelezni a lejtőn a lefolyást, eróziót, a tápanyagok és peszticidek (vízben oldott és adszorbeált) mozgását különböző művelési típusokra. Az eróziós részmodell alapja a MUSLE, amely becsli a lefolyás által szállított hordalékot (szedimentet).
A modell nagy hátránya, hogy csapadékesemény közben lezajló folyamatokról nem kapunk információt. Az eredmények átlagadatok. Ugyanakkor a hordalék mozgását is csak a lejtő irányát követve modellezi. A modellt minden felhasználás előtt kalibrálni kell és a kimeneti adatokat, tábla szinten kapjuk meg. Tervezési folyamatokban nem igazán használható fel.
Az **EPIC** Erosion Productivity Impact Calculator, (*[29]Williams et. al. 1983*) különböző részmodelleket használ a hidrológiai, klimatikus, tápanyag, növényi növekedés, talaj hőmérsékleti és gazdasági viszonyok szimulálására. A hidrológiai részmodell hasonlít a CREAMS modelljére. A modell nagyon sok bementi paraméterrel dolgozik, számolja a víz horizontális és vertikális mozgását, a felszíni lefolyást, hóolvadást és az evapotranspirációt. Az erózió becslésére mezőgazdasági tábla szinten használható. A talajpusztulás becslésére hat alternatívát is tartalmaz. Az USLE alapegyenletén kívül, annak továbbfejlesztett verzióit (MUSLE és továbbfejlesztett verziói, az USLE Onster és Foster által fejlesztett verziója- (*[30]Onster, Foster, 1975; [31]Schmidt, 2000*) használja a modell. A modell létrehozásának célja a termelők segítése volt, hogy fontos statisztikai információkhoz jussanak a saját földjükről, és a modellt felhasználva a talajvédelmet is figyelembe véve, a legjobb terméseredményeket produkáló területhasznosítást tudják kidolgozni. Érdekesség, hogy a vízerózió mellett a széleróziós szimulációra is használható. Az EPIC-et egy olyan komplex rendszernek akarták kifejleszteni, amely kifejezetten tervezésre alkalmas, de csak egyéni szinten (farmerek saját maguknak). Továbbfejlesztett változata (**APEX**-Agricultural Policy/ Enviromental Extender), (*[32]Williams et.al., 1997*) már vízgyűjtő szinten szimulál és rendelkezik korunk követelményének megfelően GIS interface-el is (GRASS Rendszer).
A **WEPP** (Water Erosion Prediction Project), (*[33]Lane, Nearing, 1989*) és GeoWEPP; Geo-spatial interface WEPP, (*[34]Renschler et. al. 2002*) olyan fizikai alapú modellek, amelyek képesek szimulálni az eróziós folyamatok térbeli és időbeli változékonyságát. Az előző modellekhez hasonlóan több részmodellből áll, amely számolja klimatikus változást, az evapottranspirációt, növényi fejlődést, üledékszállítást és akkumulációt. A modell számolja a

napi összesített felszíni lefolyást, biomassza produkciót. Az eróziós részmodell kalkulálja a vonalas eróziót (rill) és a lepeleróziót (interrill).

A modell alkalmazható a lejtőn és a kisvízgyűjtőn (GeoWEPP) lejátszódó eróziós folyamatok modellezésére is. A legfőbb felhasználási területe a modellnek a területhasználat változás hatásai, illetve a talajvédő gazdálkodási módok kutatása. A bemeneti adatok nagy mennyisége miatt a modell használata nehézkes lehet és a használt adatok nem érvényesek európai területekre. A modellnek létezik egy továbbfejlesztett verziója, amely alkalmas a klíma hosszú távú (több éves) modellezésével a jövőben lejátszódó talajeróziós folyamatok szimulációjára (WEPP-CO_2).

Az **ANSWER** (Areal Non-Point Source Watershed Enviromental Response Simulation), ([35]*Beasley, Huggins, 1982*) modellt a felszíni lefolyás és erózió szimulálására fejlesztették ki vízgyűjtőre. Egyeseményes modell, amely 3 eróziós folyamatot képes számolni. A csepperóziót (splash) a csapadékesemény alatt, a talajrészecskék pusztulását a felszíni lefolyás közben, illetve a talajrészecskék transzportját a felszíni lefolyással. A maximum grid nagyság 1700 cella. Nagy vízgyűjtők (kb. 20 000 ha) modellezésénél a felbontás igen alacsony lesz. A vízgyűjtőre használható modellek megjelenésével a GIS bevonása alapfeltétellé válik a domborzatmodellek készítése és az onnan származtatott adatok (lejtő, kitettség, magasság) miatt is.

1985-ben megalkotott **AGNPS** (Agricultural Non-Point Source Pollution Model), ([36]*Young et. al., 1994*) már csak vízgyűjtőkre fejlesztették ki. Ezzel a modellel átléptünk a lejtőprofilról és a táblaszintű modellezésről a vízgyűjtő szintre. Elsősorban a felszíni lefolyás modellezésére használják illetve, modellezhető vele, hogy a lefolyás milyen hatással van a talajerózióra mezőgazdasági és városi területeken. A nem pontszerű forrásokból származó szennyező anyagok kibocsátásának szimulációjára is alkalmas. Az eróziós modul alapja a RUSLE, amely az eróziót és akkummulációt kalkulálja. A felszíni lefolyást folyamatosan, illetve csapadékeseményre is szimulálja. A kémiai modullal számolhatjuk a nitrogén, foszfor, kémiai oxigén koncentrációját a felszíni lefolyásban és üledékben. A kimeneti adatok konvertálhatóak az Arc/Info rendszerbe megkönnyítve a feldolgozást. A maximális vízgyűjtő méret, amire használható a program 20 000 ha, de a DDM felbontása maximum 1900 pixelt tesz lehetővé, amit ha a maximális területet vesszük figyelembe igen rossz eredmény (1 pixel= kb 320mx320m). Ha 10x10 pixelmérettel akarunk számolni a maximálisan modellezhető terület 19 ha-ra csökken. Ezt a modellt inkább olyan vízgyűjtőkön használják, ahol a szennyező anyagok megfigyelésére, vizsgálatára nem építettek ki monitoring rendszert.

A vízgyűjtőre használható modellek új generációját képviseli az USDA 90-es években elkezdett fejlesztése a **SWAT** (Soil and Water Assessment Tool), ([37]*Arnold, 1995*). A modell fizikai törvényszerűségeket leíró egyenleteken alapszik. Alkalmazható folyóvölgyre, medencére és egész vízgyűjtőre, folyamatos szimulációra alkalmas. Nagy előnye, hogy viszonylag könnyen elérhető bemeneti adatokat kíván. Költséghatékony modell, mert nagy vízgyűjtőkre is alkalmazható, különösebb idő és pénz ráfordítás nélkül. Nem pontszerű szennyező forrásokból származó anyagok terhelésére is jól használható. A modell csak akkor működik megbízhatóan, ha éves meteorológiai adatsorok illetve sokéves csapadékátlagok megvannak a modellezni kívánt területről ([38]*http://www.brc.tamus.edu/swat/*)**.**

A **KINEROS** (Kinematic Runoff and Erosion model, [39]*Woolhiser et. al. 1990*) fizikai alapú, kisvízgyűjtőre kifejlesztett modell. Használják mezőgazdasági és település-kisvízgyűjtőre (10-20 km^2). A bementi adatként a vízgyűjtő topográfiáját, völgyhálózatot, növényborítottságot (területhasználat függő) és hidraulikus adatokat kér. Kimeneti adatként összesített felszíni lefolyást és eróziót (üledéket) ad meg. A modell GIS kapcsolódású, érdekessége, hogy a felszínt nem raszteres állományként kezeli, hanem poligonokból generált felszínt használ, ugyanúgy, mint a WEPP.

Az eddig felsorolt modellek specifikusan az USA területeire fejlesztették ki. Felhasználhatóságukat az USA-n kívül ez erősen befolyásolta, ezért felmerült az igény az európai és más országokban is alkalmazható modellek kifejlesztésére. A modellek világméretű elterjedése az empirikus modellekkel kezdődött. Ennek szép példája a **SLEMSA** (Soil Loss Estimator for Southern Africa), ([40]*Elwell, 1981*), amely zimbabwei területeken történt méréseken alapszik és csak ezen a területen alkalmazható.

Az empirikus modellek alapját a nagyszámú mérési adaton alapuló modellezés jelenti, amely elterjedésük egyik gátja volt. Helyettük egyre inkább teret nyertek a dinamikus fizikai modellek. Európában az USLE mellett, a fizikai modellek ugrásszerű elterjedése figyelhető meg.

Az 1980-as évektől Európában is megindult a talajerózióbecslő modellek kifejlesztése illetve néhány USDA modell európai adaptálása. Az élenjáró országok Anglia és Németország, akikhez később egyre több ország kapcsolódott, elsősorban, mint felhasználó (mediterrán területek, Csehország, Lengyelország).

Most csak a legfontosabb európai modelleket részletezem:

LISEM (Limburg Soil Erosion Model), (*[41]De Root et. al. 1995*) szintén fizikai alapú hidrológiai és eróziós modell. Kifejlesztése a Hollandiában lévő utrechti egyetemen történt, talajeróziós folyamatok és talajvédelmi feladatok modellezésére és tervezésére. Egyeseményes szimulációra képes, sajátossága, hogy a csapadékesemény intenzitásának intervallumát változtathatjuk. A legtöbb modell 10 perces intenzitással számol. Területi érvényessége igen széles, mert művelési táblától 1000 km^2 területű vízgyűjtőre is futtatható, de eddig csak 10 ha és 300 ha (internetes anyag) területre futtatták. A modell fejlesztési alapelve, hogy minden az adatokban, modellben felhasznált tényezőben bekövetkező változást a felhasználónak kell megadni. Olyan bemeneti adatokat is magában foglal, mint pl.: traktorok keréknyoma, pixelnél keskenyebb füves földút. A LISEM magába foglalja GIS-t, képes kezelni a modellen belül a raszteres állományokat. A modellt a PC Raster dinamikus program nyelven írták, ami nagy flexibiltást biztosít. Pl. más modellhez való kapcsolódás-KINEROS.

A **EUROSEM** (Europen Soil Erosion Model), (*[42]Morgan et. al.,1992*): 1986-ban az Európai Közösség brüsszeli tanácskozásán egy EC Workshopon a talajeróziós modellek európai felhasználhatóságával foglalkoztak, ahol felmerült az igény, Chisci és Morgan javaslatára, egy európai eróziós modell kidolgozására, amelynél figyelembe kell venni az USA-ban kifejlesztett modellek tapasztalatait úgy, hogy az európai talajeróziós kutatások eredményeit integrálják benne. A modellt 1987-ben kezdték el kifejleszteni és végül több modell összegyúrásával alakították ki. A tervezők felhasználták a KINEROS modellt és a **MIKE SHE** (*[43]Morgan, et. al. 1998a*) modellt. A végeredmény egy kifejezetten az európai környezetre kifejlesztett, fizikai alapú, folyamat orientált modell lett, amely egyeseményes és számolja a víz által okozott eróziót tábla és kisvízgyűjtő méretarányban. A modell kalkulálja az akkummulálódó üledéket a lejtőn, kivéve ha a felszíni lefolyás szállító kapacitása eléri a maximumot. Számolja a vonalas eróziót és a lepeleróziót is, megadva, hogy az árkok közötti területekről mennyi üledék hordódik le az eróziós barázdákba. Ennek alapját az eróziós dinamikus tömeg egyensúly egyenlet (*[44]Bennet, 1974; [45]Kirkby, 1980; [46]Woolhiser, 1990*) adja. Három módon lehet modellezni az eróziót:

Az eróziót egy úgynevezett erotópra (*[47]Richter et. al. 1995; [48]Huszár, 1999*) (plane element – *[49]Deinlein, Böehm, 2000*) futtatjuk, ami egy olyan parcella, amely a talaj és felszínfedettség és a lejtő tekintetében homogén.

Modellezi az eróziót összetett erotópokra (multiple plane) is, ami sorba kapcsolt parcellákként értelmezhető, ami a tulajdonságok tekintetében egy heterogén lejtőt mutat.
Alkalmazható kisvízgyűjtőre, amely topológikus rendszerbe kapcsolja az összetett erotópokat és mederegységeket, így megadva a vízgyűjtőt, reprezentálva a völgyhálózatot és a felszínt.
Az európai viszonyokra történő fejlesztés egyik eredménye lett, hogy a modell nagyszámú bementi paramétert igényel (60 db). Az adatokat két bemeneti file-ban adjuk meg. Egyik tartalmazza a csapadékesemény tulajdonságait, a másik a talaj, felszínfedettség illetve a topográfiai adatokat. A modell DOS környezetben fut. Az *1. táblázatban* összefoglaltam a jelenlegi legelterjedtebb erózióbecslő modelleket.

Modell	**Forrás**	**Területi**	**Időbeli**	**GIS Interface**	**Típus**
USLE	Wischmeier,Smith 1987.	Parcella	Folyamatos	Nincs (Arc/Info felhaszálás)	Empirikus
MUSLE75	Williams,1975	Parcella	Folyamatos	Nincs	Empirikus
RUSLE	Renard et. al. 1991	Parcella	Folyamatos	Nincs	Empirikus
MUSLE87	Bork,Hensel 1988	Vízgyűjtő	Folyamatos	Nincs	Empirikus
dUSLE	Flacke et. al. 1990	Vízgyűjtő	Folyamatos	Nincs	Empirikus
AGNPS	Young et. al. 1987	Vízgyűjtő	Csapadék esemény	GRASS Rendszer	Empirikus
CREAMS	Knisel, 1980	Vízgyűjtő	Több Esemény	Nincs	Elméleti
EPIC	Williams, 1997	Parcella/ Tábla	Több Esemény	GRASS Rendszer	Empirikus
WEPP	Lane,Nearing , 1989	Lejtőprofil	Csapadék esemény	Arc/Info	Fizikai
ANSWER	Beasly, Huggins, 1982	Vízgyűjtő	Csapadék esemény	GRASS Rendszer	Fizikai
OPUS	Diekkrüger et. al. 1991	Parcella	Csapadék esemény	Van	Fizikai
PEPP	Schramm, 1994	Lejtőprofil	Csapadék esemény	Nincs	Fizikai
KINEROS	Woolhiser et. al. 1990	Vízgyűjtő	Csapadék esemény	GRASS Rendszer	Fizikai
EUROSEM	Morgan et. al. 1998	Vízgyűjtő/ tábla	Csapadék esemény	Arc/Info	Fizikai
LISEM	De Root et. al. 1994	Vízgyűjtő	Csapadék esemény	Van	Fizikai
LUMASS	Herzig A, 2006	Vízgyűjtő	Folyamatos	Arc GIS 9.1	Empirikus
SWAT	Arnold, 1998	Vízgyűjtő	Folyamatos	Arc/Info, Arc View, GRASS	Fizikai
GUESS	Rose et. al. 1983	Parcella/ tábla	Csap. Esemény/év		Matematikai

MEDRUSH	Kirkby 1992	Vízgyűjtő	1 óra-100 év	GRASS Rendszer	Empirikus
EROSION 3D	Von Werner, 1995	Kisvízgyűjtő	Csapadék Esemény	Arc/Info, Arc View	Fizikai
EROSION 2D	Schmidt, 1991	Lejtőprofil	Csapadék Esemény	Arc/Info, Arc View	Fizikai

1. táblázat: A leggyakrabban használt talajerózió becslő modellek (Saját szerkesztés)

Manapság is több új fejlesztésű modell alapját adja az USLE pl. a Németországban kidolgozott **LUMASS** (*[50]Herzig, 2008*), amellyel kisvízgyűjtő méretarányban lehet modellezni az erózió mértékét. A modell Arc GIS környezetben fut, szép példáját mutatva a talajerózióbecslő modellek térinformatikai környezetbe történő adaptációjának. A modell az Arc GIS 9.1 szoftverrel használható, annak egy beépített moduljaként működik.

A Németországban kifejlesztett **Erosion 2D/3D** egy fizikai alapú dinamikus modell, amely egyeseményes szimulációra alkalmas, lejtőprofilra és kisvízgyűjtő méretarányban. Ezzel a modellel a következő fejezetben részletesen foglalkozom.

Az előző bekezdésben tárgyalt modellek közül Európában jelenleg egyre inkább a kisvízgyűjtő méretarányban alkalmazható modelleket használják, mert a döntés előkészítő, tervező rendszerek ebben a méretarányban (20 km^2-ig) dolgoznak. A LISEM, KINEROS, EUROSEM, EROSION 3D modelleket futtatták egy hollandiai (CATSOP - 2 km^2) (*[51]Schmidt et. al., 1999*) kisvízgyűjtőre, ugyanarra a 10 csapadékeseményre, vizsgálva, hogy milyen eredményeket adnak ki a modellek. A vizsgálat során a területre alkalmazták az utolsó 10 extrém csapadékeseményt és a területre jellemző szántós területhasználat mellett futtatták modellt. Összehasonlították, hogy a csapadékesemények során mért lehordott talajtömeg mennyiben tért el a szimulált értéktől. A barázdás erózióra kapott szimulált értékek igen nagy eltérést mutattak, míg a felületi erózióra a valósághoz közelebbi értéket kaptak.

A modellek továbbfejlesztése érdekében, több nagy projekt fut párhuzamosan Európában. A LISEM továbbfejlesztése Belgiumban az MWISED (*[52]EU ENV4-CT97-0687*) projekt keretében, aminek a kutatási területe Közép-Belgium, ahol a modellt kell átalakítani az árkos erózió két formájára (téli, nyári), ami ezen illetve spanyolországi területeken nagy problémát okoz.

A MEDALUS projekt (*[53]Thornes, Brandt, 1996*), amelyben a **MEDRUSH** modell a Földközi-tenger mediterrán területeinek viszonyaira kifejlesztett alkalmazása áll a köpontban. 9 ország (köztük Magyarország 1995-től) és 30 kutatócsoport részvételével indították el ezt a projektet. Az EROSION 3D felhasználása igen széleskörű Németországban, Sachsen

tartományban a területhasználat tervezés és terület rekultivációs programokba építik be a modellt állami segítséggel ([54]*WSM300, 2005*).

A fizikai modellek elterjedése mögött az eróziós folyamatok mélyebb értelmezése és a térbeli változékonyság modellezése állt. A fizikai alapú modellek elsősorban kisvízgyűjtő szinten használhatóak, míg regionális szinten az empirikus modellek kerülnek előtérbe, amelynek oka, hogy a kimeneti adatokat átlagként adja meg. Így felállítható egyfajta párhuzam a modellfajták és a vízgyűjtők méretarány változása között. A 2. *táblázat* az Európában jelenleg használatban lévő modelleket mutatja.

Méretarány	Terület	Modell	Referencia
Regionális	Anglia	**WEPP/MIRSED**	Brazier et al., 2001
	Németország	**USLE**	Jager et al., 1994
	Franciaország	**SEMMED**	De Jong et al., 1999
	Csehország	**RUSLE**	Dostal et al., 2001
	Belgium	**USLE2D**	Van Rompaey et al., 2000
	Olaszország	**RUSLE**	van der Knijff et al.,1999,2002;
			Grimm et al.,2003
Kisvízgyűjtő (20 km^2)	Anglia	**EUROSEM**	Morgan et. al. 1998
	Belgium	**LISEM**	De Root et. al. 1994
	Németország	**EROSION 3D/ LUMASS**	Deumlich D, Völker L
	Csehország	**EROSION 3D**	Novakova H. 2006

2. táblázat: Európában leginkább használatban lévő modellek

(Forrás: [55]*Van Rompaey et al., 2003.*)

3.3.2. A talajeróziós modellezés hazai fejlődése

Magyarországon az eróziós modellezés kezdetének a Kazó-féle esőszimulátoros méréseket tekinthetjük ([56,57]*Kazó, 1966, 1967*), amelyek célja az volt, hogy a különböző talajtípusok esetén, hogyan befolyásolja a felszíni lefolyáson keresztül az eróziót, a lejtőszög, felszínfedettség. Az USLE egyenletét 1962 óta alkalmazzák hazánkban a talajvédelem tervezésében és kivitelezésében ([58]*Erődi et. al., 1965*). Legelőször a VIZITERV munkatársai használták munkájuk során ([59]*Kiss et. al., 1972;* [60]*Máté, 1974*). A gyakorlati alkalmazás mellett több tudományos kutatás alapját is adta, használat során fokozatosan a talajeróziós térképezés részévé vált a magyar talajviszonyokra. Az USLE-val kapcsolatos több évtizede visszatérő probléma a talajok erodálhatóságát jellemző K tényezőnek az adaptálása. (Elsőként [61] Stefanosvits *1966/b* a Mezőgazdasági Mérnöktovábbképző Intézet talajvédelmi tanfolyamán tett javaslatot ilyen irányú kutatásokra.) A K tényező magyarországi viszonyokra

való meghatározására többen végeztek vizsgálatokat, *([62]Kertész et. al. 1997; [63]Centeri 2002b)*.

[64]Dezsény, Lendvai (1986) a Zala vízgyűjtőjén végeztek eróziós kutatásokat, amelynél szintén a Wischmeier-Smith-féle általános talajveszteség becslési egyenletet használták fel, annak tényezőit vizsgálva.

A Balaton É-i részvízgyűjtőjén, az Örvényesi-Séd (25km^2) kisvízgyűjtőn végeztek igen átfogó kutatásokat a talajeróziós folyamatok által okozott talaj- és tápanyagveszteség mérések alapján történő becslésére, illetve számítógépes modellezésével (*3. táblázat*). A vizsgálathoz 3 modellt választottak ki (USLE, EPIC, CREAMS), de a metodikát végül az USLE-hoz dolgozták ki, mert ehhez gyűlt össze a legtöbb adat. A K tényező meghatározására 4 helyi talajtípuson (parcellán) végeztek esőszimulátoros méréseket, amelyek eredményeit felhasználva jelentős GIS támogatottsággal (háttérrel) igyekeztek becsülni a lehordott talajtömeget. Ezen kutatások kontrolljaként használták fel a korábbi vizsgálatok eredményeit, amelyeket szintén erre a vízgyűjtőre végeztek el (*[65]Dezsény, 1982; [66,67]Jolánkai, 1982, 1984*).

Az USLE-t alkalmazták Mezősi és munkatársai mátrai mintaterületen, (*[68]Mezősi et. al., 1993*), ahol GIS környezetbe adaptálva modelleztek. A bementi faktorokat ARC/Info, Idrisi programokban dolgozták fel és számolták az erózió mértékét.
Szintén a Mátrában, a Kata-réti patak vízgyűjtőre használták az USLE-t GIS-ben (Arc/Info, Erdas Imagine környezetben) az eróziós viszonyok modellezésére (*[69]Farsang, 1997*), valamint a Velencei-hegységben (*[70]Vörös, 1996*) a Szegedi Tudományegyetem munkatársai.

Több más modell adaptálását is megkezdték a hazai viszonyokra. 1988-ban kezdődött az EPIC tesztelése (*[71]Richter et. al., 1990; [72]Mezősi et. al., 1991; [73]Kertész et. al., 1996*) mátrai mintaterületen. A MEDRUSH modell hazai felhasználásában elsősorban az MTA Földrajztudományi Kutatóintézetének szakemberei vettek részt (*[74]Tóth et. al., 2001*), akik a Balaton vízgyűjtőjén végeztek eróziós méréseket. A MEDALUS projekt részvevőként hazai viszonyokra kalibrálták a modellt és modelleztek parcella és kisvízgyűjtő szinten. A Balaton vízgyűjtőjén további erózió modelles kutatásokat (*[75]Kertész et. al., 1995; [76]Kertész et. al., 1997; [77]Huszár, 1998, [78]Kertész et. al., 2000*) végeztek. Két legnagyobb állóvizünk vízgyűjtőjén alkalmazott kutatások létjogosultságát indokolja, hogy ezek a területek eróziós folyamatai közvetve vagy közvetlenül, jelentős szerepet játszanak a tavak anyagforgalmában (*[79]Barta, 2004*).

Több eróziós kutatatás foglalkozott a Velencei-tó vízgyűjtőjének más részeivel. Pázmándi kistérségben egy 200 ha-os mintaterületen Arc/Info rendszerrel alkalmazták az

USLE-t. A modellezés során a felszínfedettségi adatokat LANDSAT TM, illetve SPOT pankromatikus felvételekből nyerték ki. (*[80]Verőné, 1996*)**.** EUROSEM modell adaptálását a Velencei-hegységben Sukoró melletti területen végezték el *([81]Barta, 2004, [82]Csató et. al., 2000)***.** A Velencei-hegységben további kutatásokat is végeztek *([83]Rácz et. al., 2002, [84]Farsang et. al.,2004, [85]Kitka et. al., 2006*), illetve a Balaton-vízgyűjtőjén található Tetves-patak területén (*[86]Dezsény, 1982; [87]Tóth et.al., 1997*) is.

A Balaton vízgyűjtőjére vonatkozóan nyilvános, internetes oldalon használható talajerózió becslő modell kidolgozásával is foglalkoztak (ArcIms közegben), a modellhez alkalmazható adatbázis felállításával együtt (*[88] Sisák et.al., 2007*).

A Káli medence történelmi területhasználat változásainak hatását vizsgálták a terület eróziós viszonyaira. A kutatás során a WATEM/SEDEM (*[89]Van Oost et. al., 2002)* modellt kalibrálták és használták. (*[90]Jordán, 2004*).

A 3. *táblázat* összefoglalja a hazai modell felhasználásokat.

Modell	**Forrás**	**Magyarországi mintaterület neve, méretarány**	**Alkalmazó**
USLE	Wischmeier,Smith 1987.	Örvényesi-Séd vgy. (25 km^2); Tetves-p.	Kertész et. al.
USLE	Wischmeier,Smith 1987.	Pázmánd kistérség, Mg. Tábla	Wojtaszek M. 1996
AGNPS	Young et. al. 1987		Mezősi G.
MEDRUSH	Kirkby 1992	Örvényesi-Séd vgyízgyűjtő (25 km^2)	Tóth et. al. 2001
EUROSEM	Morgan et. al. 1998	Velencei – hgy. Tábla	Barta K., 2001
EPIC	Williams, 1997	Mátra, Bodony, Kataréti-p.	Mezősi et. al. 1991
WEPP	Lane,Nearing , 1989	Balaton – vgy. Pamuk; Parcella szintű	Centeri et. al.
SWAT	Arnold, 1998	Somogybabodi kisvízgyűjtő; Tetves-p.	László P. (TAKI)
CREAMS	Knisel, 1980	Örvényesi-Séd vgy.	Kertész et. al.
Erosion 2D	Schmidt, 1991	Cibulka-vgy.(14km^2) Velencei – hgy.	Farsang et. al. 2000
Erosion 3D	Von Werner, 1995	Cibulka-vgy.(14km^2) Velencei – hgy	Kitka G. , Farsang A 2005.
WATEM	Van Oost, K., Verstraeten, G., Van Rompaey, A., Govers, G. & Poesen, J. (2002).	Balaton-felvidék; Káli - medence	Jordan Gy et al. 2004

3. táblázat: Hazai modellfelhasználások (saját szerkesztés)

A hazai modellezés folyamatát időrendben áttekintve, jól látható a folyamat, ami nemzetközi téren is végigment. Az USLE felhasználások mellett egyre inkább teret nyernek a fizikai modellek és a parcella szintről haladunk a vízgyűjtő szint fele. Jelenleg azonban Magyarországon túlsúlyban vannak a parcella szinten történő modellezések (*3. táblázat*). A kisvízgyűjtő szinten történő modellezés azonban elkerülhetetlenné válik a jövőben.

4. AZ EROSION 3D TALAJERÓZIÓBECSLŐ MODELL

4.1. Az Erosion 3D modell

Az Erosion 2D és Erosion 3D modellt 1991-ben fejlesztették ki SCHMIDT és társai a Berlini Szabadegyetem Földrajz Tanszékén. A fizikai alapú modell első implementálása az Erosion 2D volt, amely lejtőprofilra becsülte az egy természetes csapadékesemény hatására bekövetkező talajeróziót. Ezen alapult az Erosion 3D ([91]*Smith, 1996*), amelyet folyamatosan továbbfejlesztenek ([92]*GeoGnostics, www.bodenerosion.com*). Mind az Erosion 2D és az Erosion 3D azon az elven alapul, hogy a talajerózió a talajfelszínre ható exogén erők és talajra jellemző ellenálló képesség viszonyából levezethető. Az Erosion 3D modellt jelenleg is igen sok talajvédelmi illetve vízvédelmi projektben alkalmazzák a Geognostics cég munkatársai Berlinben.

A modellt először Németországban, Szászországban kalibrálták és validálták az ottani viszonyokra, felhasználva a területre meglévő több évtizedes csapadékadatokat, kiegészítve további mérésekkel 1992 és 1996 között. Az alkalmazást elsősorban mezőgazdasági területekre történt. A kutatáshoz csatlakozott a Szász Állami Mezőgazdasági Intézethez, illetve a Szász Állami Környezet és Geológiai Hivatalhoz, a Freibergi Műszaki Egyetemhez és a Kalsruhe-i Műszaki Egyetemhez. 1996-ban mindkét modellt integrálták Szászország (tartomány) hivatalos mezőgazdasági talajvédelmi és mezőgazdasági programjába.

A modellt a következő problémákra ajánlják a fejlesztők, illetve a következő esetekre lett kifejlesztve:

- A nem pontszerű szennyeződések azonosításra és modellezésére,
- A mezőgazdasági területeken lévő talajveszteség becslésére,
- A tavakba és folyókba jutó üledék becslésére,
- Nagy zivatarok által okozott felszíni lefolyás becslésére (direct runoff),
- Becsli a mezőgazdasági területhasználat változás hatását a felszíni lefolyásra és a talajveszteségre,
- A talajvédelmi beavatkozások, mint pl. füves sávok telepítése, árkok kiépítése, puffer zónák telepítése vagy üledékgyűjtő medencék kialakítása a mozgó üledék felfogására.

A problémakörökben történő felhasználás esetén a következő tárgykörökben lehet értékes információkat nyerni a modellezés során:

- növelhető a mezőgazdasági tervezés hatása, kapcsolatot létesítve a termelőkkel kidolgozható a legmegfelelőbb talajvédő gazdálkodás,

- vizsgálható, hogy milyen hatással vannak a területhasználati, a vízvédelmi intézkedések a talaj és a vízháztartás egyensúlyra a vízgyűjtőn belül,
- alapvető információkat adhat a rehabilitációs tervezetekhez az ökológiailag érzékeny területeken, mint pl.: lápok, tavak, torkolatvidékek,
- becsli a lerakodó talajtakaró mennyiségét (lehordódott), ezáltal értelmezhetőek az eróziónak kitett fekvések
- becsli a mezőgazdasági területeken a belépő és kilépő talajmennyiség egyensúlyát vagy, hogy a felszíni víztestek mennyi üledéket tartanak vissza.

A modell létrehozásánál fontos tényező volt, hogy csak a legfontosabb talajeróziót befolyásoló paramétereket kelljen megadni, ezzel elősegítve a felhasználhatóságot és kezelhetőséget, valamint a megváltozó területhasználatot jellemző paraméterek minél gyorsabb változtatását a modellben.

Az E3D lefolyás és lehordás szimulációjához raszteres állományok szükségesek, amelyek felbontása változó. A legnagyobb felbontás 1m x 1m-es cellanagyságot is megenged. A modell területi érvényessége nagyobb vízgyűjtőkre is futtatható, de az eddigi tapasztalatok inkább azt mutatják, hogy a kisebb vízgyűjtőkre alkalmazható inkább sikerrel, mert ebben a méretarányban produkál a valósághoz közelebbi adatokat ([93]*Rácz, 2003*). A modell területi érvényessége a szántóföldi parcellától a kisvízgyűjtő (20 km^2) méretarányig terjed.

4.2. A modell felépítése, komponensei

A következő fejezetek irodalmi anyagai a modell több időpontban megjelent *User Manual*-je alapján készült ([94]*Erosion 3D, Ver. 3.1.1., 2006,* [95] *Von Werner*, *2003*) ezért csak az ezektől eltérő irodalmi hivatkozásokat fogom feltűntetni.

A modellt két fő komponens alkotja. Az egyik a GIS komponens, a másik a tulajdonképpeni eróziós modul.

A GIS (Preprocesszor) részmodell, a Digitális Domborzat Modellből állítja elő a felszíni lefolyást számoló algoritmus számára a szükséges információkat. A következő részeket tartalmazza:

- Algoritmus, amely interpolálja a felületet a DDM-ből.
- Algoritmus, amely kalkulálja a felületbe, az eltávolított mesterséges gödröket is.
- Minden egyes cellára számolja, hogy milyen irányból érkezik és mekkora a felszíni lefolyás és hova, mennyi távozik. Ezt a számítást minden szomszédos cellára elvégzi egyenként.

- Minden cellára számolja a cellához tartozó vízgyűjtőt (honnan érkezik ráfolyás).

- A DDM alapján számolja völgyhálózatot, aminek megfelelő küszöbértéket kell adni, hogy megfeleljen a valóságnak. A modell részletesebb völgyhálózatot kalkulál, mint ami a valóságban megfigyelhető.

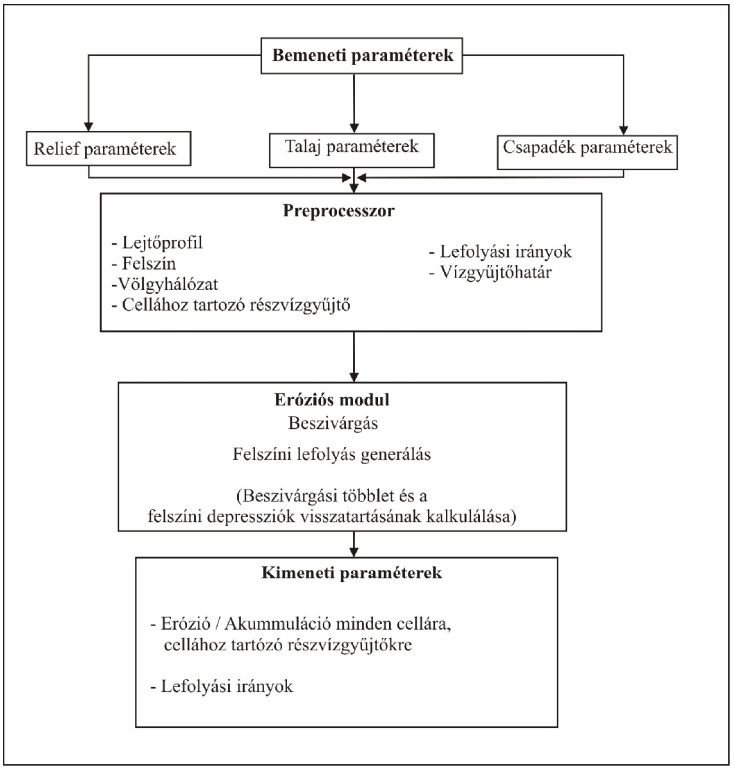
- Azonosítja azokat a cellákat, amelyek nem tartoznak a vízgyűjtőhöz, vagyis lefolyástalan cellák.

Az eróziós komponens kalkulálja a felszíni lefolyást, valamint az eróziót, a következő eljárásokat tartalmazza:

- Csapadék beszivárgás (Green-Ampt beszivárgási összefüggés-beállítás).
- A felszíni lefolyás generálása (csapadékfelesleg és a felszíni megtartás alapján)
- A talajrészecskék elkülönítése a csepperózió és a felszíni lefolyás alapján.
- A talajrészecskék lehordódása a csapadékesemény alatt a hozzákötött szennyeződésekkel mindig az aktuális szállítási kapacitás alapján.
- A talajrészecskék feldúsulását a felszíni lefolyás során a növekvő szállítási távolság alapján.
- A különböző árkok, medencék, üledék visszatartó hatását.
- Olvadási eróziót.
- Modellezni lehet a hosszú távú felszíni módosítások hatásait a talajerózióra.
- A művelési módok változtatásának hatásait a talajerózióra.

A modell az eróziót két részfolyamatból számolja: a talajrészecske elmozdítása a felszínről és a részecskék elszállítódása a felszínről a lefolyó víz hatására.

A bemeneti adatok egy úgynevezett előfeldolgozáson esnek át, amely során a modell összeállít 3 különböző típusú adatfile-t. A relief adatokat tartalmazó, a talajadatokat tartalmazó és a csapadékadatokat tartalmazó filé-okat állítja össze. A modell ezeket felhasználva számolja a beszivárgást, a felszíni lefolyást, a barázdás eróziót (rill erosion) és a barázdák (interill erosion) közötti területekre is a nettó eróziót (*2. ábra*), illetve az üledék szállítását és akkummulációját a felszíni lefolyás szállítókapacitásának változásának függvényében, 9 szemcseátmérő osztályra lebontva.



2. ábra: Az Erosion 3D felépítése (saját szerkesztés)

4.3. A modell bemeneti paraméterek

4.3.1.Relief paraméterek

Relief paraméterek megadása grid formátumban történik. A relief paramétereket tartalmazó file-ban benne van a DDM, tulajdonképpen arra épül. A modell előfeldolgozó egysége (Preprocesszor) a DDM alapján készít egy kimeneti adatfile-t, amit a fő modul (Eróziós Modul) fog felhasználni.

A relief adatok kalkulálása előtt be kell állítani a kívánt felhasználási körülményeket.

Minden cellára megadja a magasságot (relatív), kitettséget, lejtőszöget (dőlés), az adott cellához tartozó vízgyűjtőt. Mivel minden cellára számolja az oda tartozó hozzáfolyási területet, ki kell választani a lefolyási típust is.

- Felszíni lefolyást akkor, ha csak az adott cellára történő lefolyást akarjuk modellezni.
- Barázda menti lefolyásnál az elemek tartalmaznak egy, a barázdára vonatkozó adatot, amely alapján a modell ezekbe az elemekbe irányítja a felszíni lefolyást.

Lefolyási irányok eloszlását szintén minden elemre számolja. Alapesetben a celláknak 8 szomszédot rendel. A szomszédos cellákat csoportosítja attól függően, hogy onnan érkezik-e vagy oda távozik-e a lefolyás. Két módszert használ erre a folyamatra. Az úgynevezett

egyszomszédos (*one neighbour-D8 method*) módszert, amelynek alapja, hogy a lefolyás az adott celláról mindig az alacsonyabb magassági érték felé mozog tovább. A Divergent (*FD8 Method*) módszer során figyelembe veszi a 8 szomszédos cella magasságadatinak eloszlását, és ez alapján kalkulálja a további lefolyási irányt vagy irányokat. Ez a módszer a valósághoz közelebbi eróziós rátákat produkál, ezért a továbbiakban én is ezt a beállítást használtam.

A barázdahálózat (channel) számolásánál a modell általában túlbecsül a kezdeti értékek alapján. Több barázdát modellez, mint ami a valóságban megfigyelhető. Ezen a CSA érték beállításával változtathatunk. Ez egy határérték, amely azt számolja, hogy egy barázda létrehozásához mekkora terület szükséges. Minél kisebb a CSA érték annál sűrűbb hálózatot kapunk. A valós állapot modellezéséhez, változtatni kell a CSA küszöbértéket.

A teljesség igényével a kimeneti relief adatfile a következő paramétereket tartalmazza:

Aspect: kitettség (mértékegység: fok; terjedelem: 0-360)

Catchment: cellához tartozó részvízgyűjtő; azon cellák, ahonnan lefolyás érkezik aktuális cellára az FD8 algoritmus alapján (m^2);

Channel: barázdahálózat, a megfelelő CSA beállítása után (lehetséges érték: 0: nem; 1: igen)

DEM (fill, flat) relatív magasság (m);

FCI: lefolyási irányok az aktuális celláról a többi cella felé (1-8);

Flowacc: azon cellák száma, ahonnan lehordás érkezik az aktuális cellára D8 algoritmus alapján

Flowdist: az alapján számolja, hogy a lefolyás a szomszéd cellák hány %-ra megy tovább (+ érték) vagy hány %-ról érkezik a cellára (- érték)

Flowpath: Lefolyási irány, útvonal (grid értékek 0 – 4;)

Flowvect: Lefolyási irányok, de 9 cellával számol

Slope: Lejtőszög (mértékegység: fok; terjedelem: 0-90)

Surface: a cella mekkora területet reprezentál (m^2)

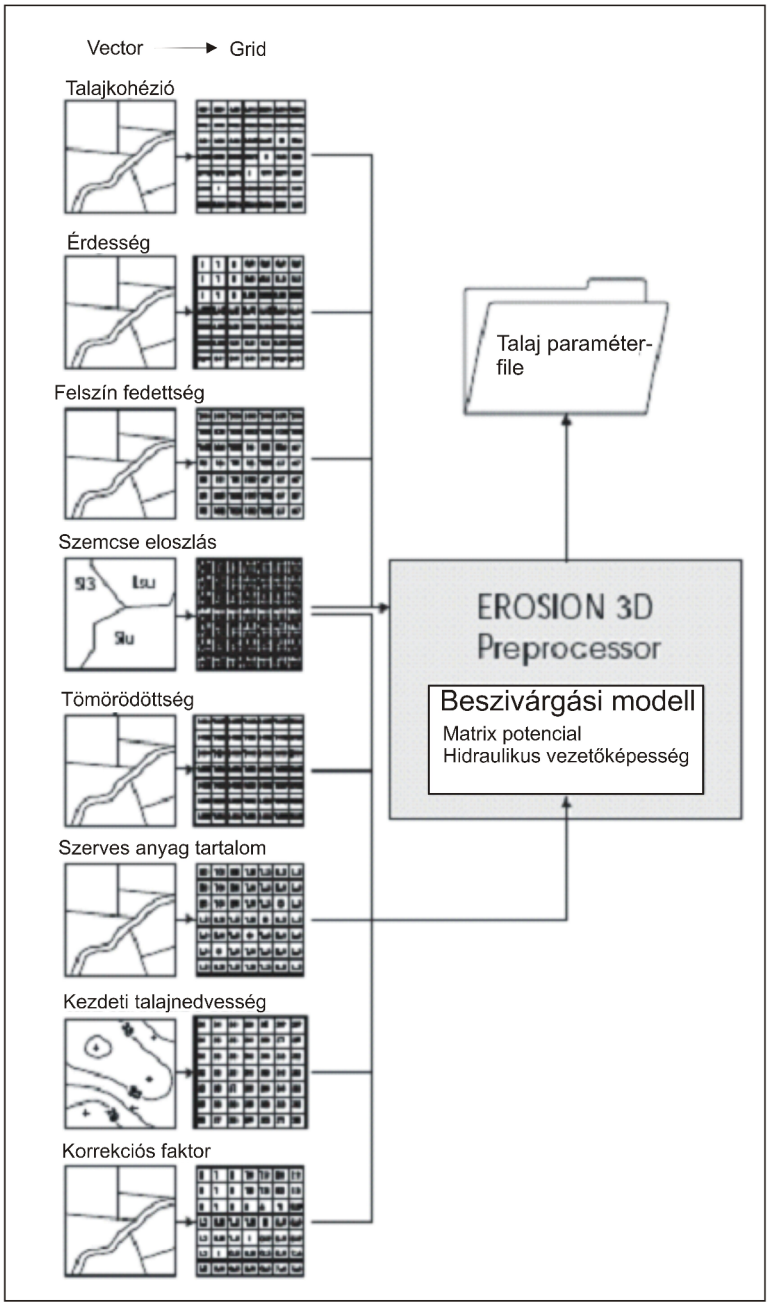
Uparea: adott cellához tartozó hozzáfolyási terület. Tulajdonképpen a cellához tartozó „vízgyűjtő”. (m^2)

Relief: x, y(vertikális, horizontális), z (magassági) koordináták minden cellára (m)

Ezeknek a paramétereknek az értékeit a modell maga határozza meg a DDM-ből, de fontosnak tartottam bemutatni, mert ismeretük szükséges a modell működésének a megértéséhez.

4.3.2.Talajparaméterek

A talajparaméterek megadása a talajtípusok és a területhasználat függvényében történik. Ezek a paraméterek is grid formátumban kerülnek bevitelre. Összesen 8 db talajparamétert (*4. táblázat*) használ a modell, amelyeket egy-egy grid reprezentál. A talajadatokat a Preprocesszor dolgozza fel és hoz létre egy talajfile-t (*3. ábra*), amit az Eróziós Modul felhasznál.



3. ábra: A Prepocesszor által létrehozott talajfile

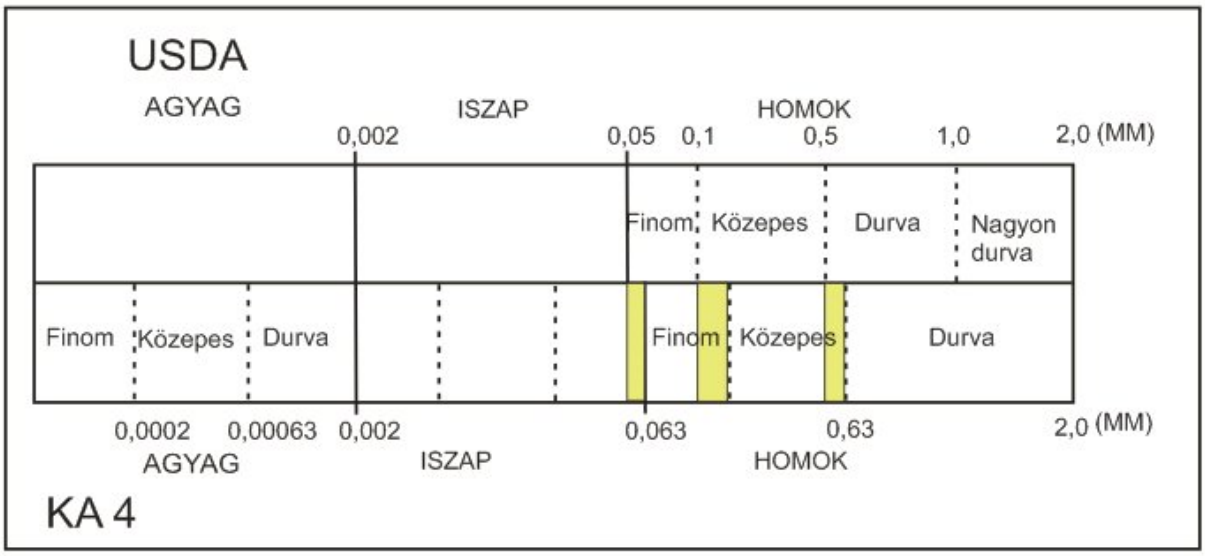
Paraméter	Mértékegység
Felszíni érdesség (Manning féle n)	$s/m^{1/3}$
Talajkohézió (erosion resistance)	N/m^{3}
Szervesanyag tartalom	Súly %
Felszín fedettség	%
Térfogattömeg	Kg/m^{3}
Kezdeti talajnedvesség	Térfogat %
Fizikai talajféleség (9 szemcseátmérő osztály)	Tömeg %
Korrekciós faktor a beszivárgási vezetőképességre	-

4. táblázat: Az E3D bemeneti paraméterei és mértékegységei

A 8 talajparaméterből a Beszivárgási modul (beleépítve az Eróziós modulba) számolja a beszivárgást és létrehoz egy területhasználati gridet a betáplált paraméter értékek alapján. A területhasználat közvetve kerül bevitelre, mert az adatok a területhasználattól illetve a művelési típustól, módtól függenek. A talajfile tartalmazni fogja a paramétereknek az értékeit, a számolt mátrix potenciált, hidraulikus vezetőképességet, a szivárgási tényezőket. A paraméterek értékei a modellezendő területen a talajréteg felső 10 cm-re vonatkoznak.

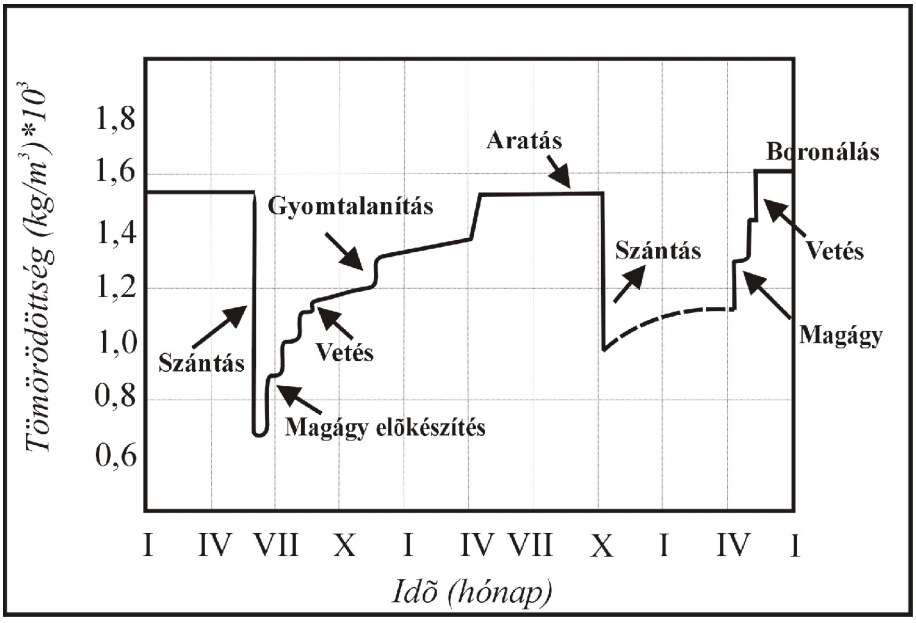
Manning féle érdesség (n) azt a fékező hatást írja le, amelyeket a különböző mikrorelief tényezők (pl.: aggregátumok, növényi maradványok) okoznak. Nagyobb érdesség esetén csökken a felszínen lefolyó víz sebessége, ezáltal a transzport kapacitása. Ez a hidraulikai érték időben nagy változékonyságot mutat. Befolyásolja a talajmegmunkálás finomsága, a növényborítottság, a fedő növényzet fejlettsége. Finom talajmegmunkálás esetén az érdesség alacsony, mert az aggregátumok szétesnek, finomodik a felszín, növelve a lefolyó víz sebességét. Minél idősebb és fejlettebb a növényzet, annál nagyobb az érdesség értéke. A növényzet levélrétege csökkenti a csepperóziót, így az aggregátumok nem aprózódnak szét. A növények szára, pedig fékezi a lefolyást. Az érdességet növelhetjük mulcsozással illetve alávetéssel is, csökkentve a talajeróziót.

A **fizikai talajféleség** meghatározása a német nevezéktan alapján besorolható („KA4” AG BODEN 1994, Magyarországon az Atterberg vagy az USDA skálát használják a gyakorlatban). 9 szemcseátmérő osztályt különböztet meg, amelybe a talajokat az egyes szemcseátmérők tömegszázalékos eloszlása alapján sorolhatjuk be (4. *ábra*). A modell a szemcse eloszlás alapján határozza meg a talaj fizikai típusát, illetve mi is ez alapján tudjuk a többi paraméter értéket meghatározni a paraméterkatalógusból.



4. ábra: A modell által használt KA4 és az USDA skála összehasonlítása

A térfogattömeg/súlytérfogat (g/cm^3) a feltalajra vonatkozik, ami igen erősen befolyásolhatja az erózió mértékét. Nagyobb **térfogattömeg** (g/cm^3) esetén a beszivárgás csökken a kicsi pórustérfogat miatt. Időszakosan változó paraméter (*5. ábra*), amelynek változékonysága elsősorban a művelési periódusokhoz köthető, amikor a nagy tömegű mezőgazdasági gépek mozognak a talajon, összenyomva a felső talajréteget (tömörödik) vagy éppen a tárcsázás, szántás után csökken a térfogattömeg. Parcellán belül változik az értéke a munkagépek nyomvonalában.



5. ábra: A térfogattömeg változása időben a nagyüzemi talajművelés során

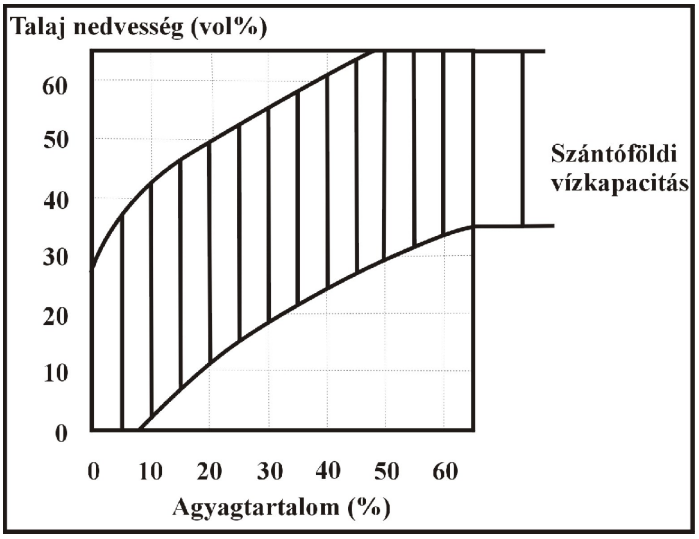
Forrás: Parametekatalog (Scheffer & Schachtschabel, 1992, módosította Schmidt, 1996, 52.o)

A **szervesanyag tartalom** (%) alatt az összes növényi eredetű és állati eredetű anyagot értjük a modell esetében. A növekvő szervesanyag tartalom, vagy szerves széntartalom, csökkenti a felszíni lefolyás és az erózió mértékét. Ennek oka, hogy a szervesanyag, mint kötőanyag segíti a talajszemcsék aggregátumokká való összeállását és a nagyobb tartalom esetén stabilizálja a talaj aggregátumokat és a talajmátrix struktúráját. Nagy szervesanyag tartalom esetén az infiltráció mértéke is növekszik, növelve a talajnedvesség raktározó képességet is. Az aggregátumok stabilitása mellett, a bennük lévő állandó pórusteret is hosszabb ideig tudja megtartani, amit elősegít a talajban levő nagy biológiai aktivitás (pl.: gilisztajáratok, azok átforgató hatása).

A **kezdeti talajnedvesség** mértéke egy nehezen meghatározható paraméter, mivel egy csapadékeseményes modellről van szó. Mérést közvetlen a csapadékesemény előtt kellene elvégezni, ami több nehézségbe is ütközik. Ha lehet, méréssel kell meghatározni, ha ez nem lehetséges akkor terepi becsléssel érdemes megadni az értéket. A becslést könnyíti, ha ismerjük a talaj szántóföldi vízkapacitását és a hervadásponthoz tartozó nedvességtartalmát. Meghatározásához bolygatatlan talajmintát kell felhasználni. A kezdeti talajnedvesség határozza meg a korrekciós faktor értékét, ami a beszivárgást szabályozza.

A modellhez tartozó paraméterkatalógusban megadott értékek több időpontban vett bolygatatlan talajmintából adták meg miután 105 ^{o}C –on kiszárították (térfogat %).

Az értékeket a fizikai talajféleségek szerint sorolták be. Minél nagyobb az adott talajtípus agyagtartalma annál nagyobb mennyiségű vizet lesz képes elraktározni. A szántóföldi vízkapacitás is növekszik az agyagtartalom emelkedésével (*6. ábra*). Ennek az eredménye, hogy az extrém értékek (nagyon száraz, nagyon nedves) magasabbak a nagy agyagtartalmú talajoknál. A nagy kezdeti talajnedvesség értékek általában talaj- és művelési típushoz tartozó szántóföldi vízkapacitásként is megadhatóak (a kettő közel van egymáshoz).

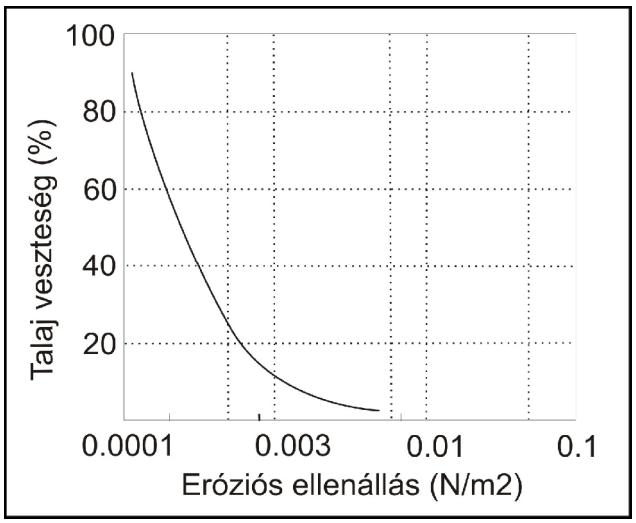


6. ábra: A talajnedvesség változás az agyagtartalom függvényében

Forrás: Parametercatalog (Hartge, 1978, 67.o)

A **talajkohézió** nagyobb értékeknél csökkenő eróziós rátát eredményez. A felszíni lefolyás által elszállított hordalékmennyiségért felelős. Térben igen változékony paraméter, több más talajparaméter hatással van rá. Ez a paraméter határozza meg, hogy mekkora az a legkisebb felszíni áramlás, aminél már megkezdődik a szemcsék elszállítódása. A fizikai talajtípusonként is változik az értéke, attól függően milyen a szemcseösszetétel.

A talajkohézió nagysága és az eróziós ráta közötti összefüggés nem egyenesen arányos. Izolált vizsgálatok során ugyanezt a görbét kapták egymástól eltérő művelési típusoknál és talajtípusoknál is, annak ellenére, hogy ugyanaz a görbe más kimeneti értékeket (eróziós ráta) takar (*7. ábra*).



7. ábra: A talajveszteség változása a talajkohézió függvényében

Forrás: Parametercatalog (Schmidt, 1996, 40. o)

Felszíni fedettség (%) a talajfelszínt borító növényzettől függ. Meghatározása mindig egy egységnyi területre történik (pl.: 10x10m-es terület) és %-ban kapjuk meg. Terepi mérés mellett távérzékeléses eljárással is meghatározható, illetve légifotók feldolgozásával (osztályozás). Hatással van a csepperózió mértékére és a beszivárgásra is. A tenyészidő alatt a termesztett növények fajtájától függően változik az értéke. A beszivárgás módosításával befolyásolja a felszíni lefolyás kialakulását is.

A korrekciós faktor a beszivárgás értékét módosítja a talajnedvesség függvényében. A nagyon kiszáradt talajnál illetve nedves talajállapotnál más a beszivárgás sebessége. A fizikai talajtípustól függően határozták meg a paraméterkatalógusban. A kezdeti talajnedvesség paraméter értékétől függ a korrekciós faktor meghatározása. Minden új felhasználási területnél kalibrálni kell. Fontos, érzékeny a modell a paraméterre.

4.3.3. Csapadék paraméterek

A csapadékparaméterek tartalmazzák a csapadékesemény időtartamát, illetve a csapadék 10 perces intenzitás felbontását. Megadása ombográfiai mérések eredményei alapján lehetséges.

4.4. Kimeneti paraméterek

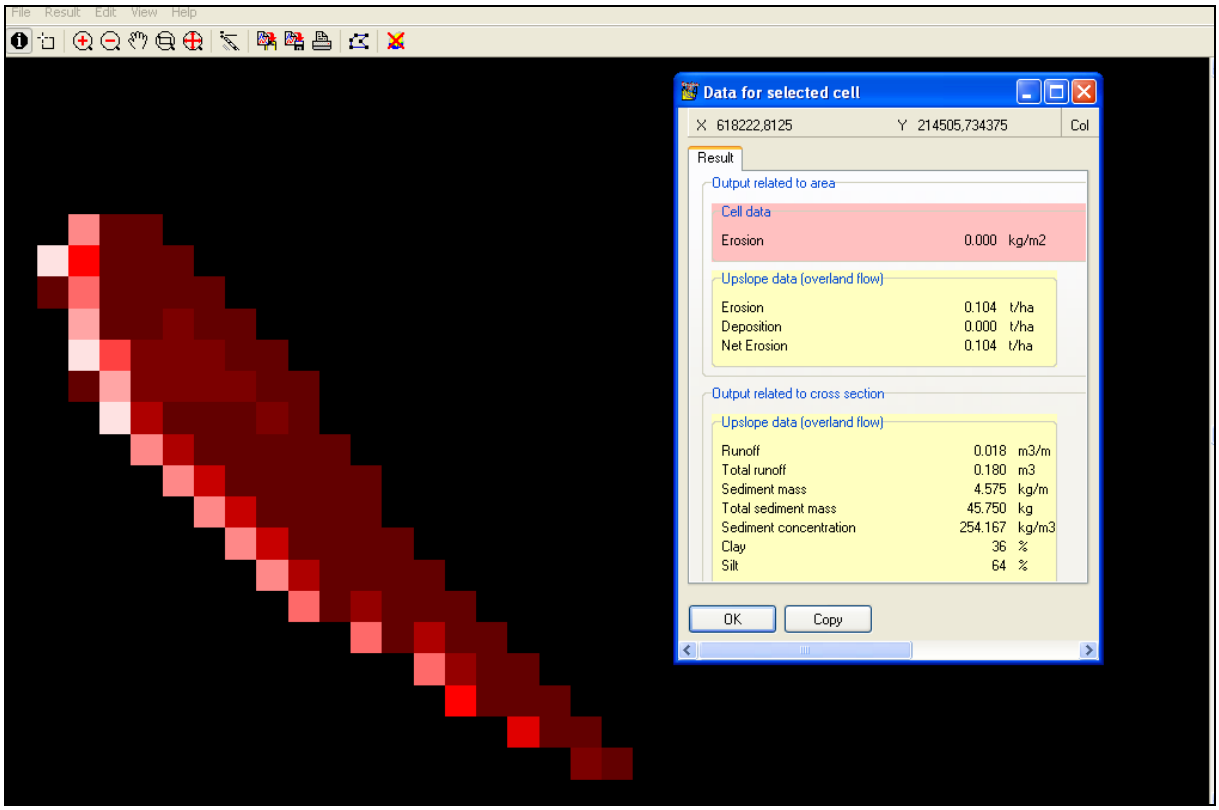
A kimeneti paramétereket 3 csoportba oszthatjuk. A modell adatokat számol cella és részvízgyűjtő (cellához tartozó részvízgyűjtő) szinten, illetve a barázdákra mind a felszíni lefolyásra, erózióra, akkumulációra, a hordalék szemcseeloszlására (*5. táblázat*).

A kimeneti adatok megjeleníthetőek egyéb geoinformatikai környezetben (Arc View, Arc Map, Arc/ Info, Surfer) is.

Cella (Felszíni lefolyás)	**Mértékegység**
Erózió és akkumuláció mértéke az adott cellára	kg/m2
Csapadékfelesleg (csapadék, beszivárgás különbsége)	mm/min
Részvízgyűjtő (Felszíni lefolyás)	
Átlag abszolút erózió a cellához tartozó részvízgyűjtőn	t/ha
Átlag hordalék lerakodás a cellához tartozó részvízgyűjtőn	t/ha
Átlag nettó erózió a cellához tartozó részvízgyűjtőn	t/ha
Részvízgyűjtő (barázda menti lefolyás)	
Nettó erózió	t/ha

5. táblázat: Az E3D kimeneti paraméterei és mértékegységei

A modell képes megadni a lehordott üledék szemcseeloszlását, ezáltal nyomon tudjuk követni, a talaj mely részei hordódnak le. Ezeket az értékeket részvízgyűjtőre illetve, egész vízgyűjtőre tudja számolni. A felszíni lefolyás volumenét megadja cella, illetve a barázda mentén m^3/m –ben. A lehordódott üledék tömegét kg/m^2 – ben adja meg, minden cellára a cellához tartozó részvízgyűjtőről (*8. ábra*).



8. ábra: Az Erosion 3D kimeneti ablaka, cella szintű adatközlés

4.5. Néhány példa az E2D/3D alkalmazására

A E2D/3D alkalmazására elsősorban németországi példák találhatóak, ami a modell német viszonyokra történő kifejlesztésével magyarázható. Az utóbbi években kezdték a modellt más országokban is alkalmazni.

A felhasználások között találkozunk olyanokkal, ahol csak a modell futtatását végezték el kalibrálás nélkül. Ezen tanulmányok között is van méretarányban különbség. Tulajdonképpen a modellt a más területeken mért paraméterekkel használták, vagy nem minden paramétert mértek az aktuálisan vizsgált területen. Ezen tanulmányok eredményeit erősen tájékoztató jellegűnek fogadom el, mert nem a helyi viszonyokat tükröző mérések szimulációján alapszanak. A pontos modellfelhasználás bármilyen terület esetében a kalibrálással kezdődik.

A területre jellemző területhasználat mellett a talajparaméterek mérése is szükséges, a domborzatmodellel együtt.

A modellt általában az erózió becslésére használják vagy több évre kidolgozott úgynevezett scenáriók létrehozására. Az erózió becslését követően egyre több esetben kapcsolják hozzá a feltalajban mozgó tápanyagok modellezését is.

Az E2D/3D felhasználásai méretarányban jól behatárolhatóak. Pár 10 ha-os területtől a kb 10-15 km^2 –es vízgyűjtőig alkalmazható.

Az Odra vízgyűjtőn végzett (136 528 km^2) ([96]*Deumlich et. al. 1999*) kutatások során az E3D – t az USLE – val együtt alkalmazták az erózió becslésére és az üledékkel mozgó N és P vizsgálatára. Az egész vízgyűjtőre az USLE – val modelleztek, de kisvízgyűjtő szinten a 3D – t használták. A paraméterek meghatározását elsősorban az USLE- ra végezték és ezekből vezették le az E3D – hez szükséges adatokat. Az adatok előállításánál problémát okozott, hogy 3 különböző adatbázist kellett felhasználniuk (német, cseh, lengyel). Több scenáriót állítottak fel vizsgálva az eróziót és a N és P mozgást a nagy vízgyűjtőre és kiválasztott kisvízgyűjtőre is. A vízgyűjtőről kijutó tápanyag mennyiségét akarták meghatározni. Végül arra a következtetésre jutottak, hogy az USLE-t bizonyos méretarány alatt (1 : 50 000) nem lehet sikeresen alkalmazni, de a N lehordódási útját jól lehet modellezni ezekkel az eszközökkel. A modellezésnél az adatok azonos méretarányra hozása és eredete valamint ebből fakadó pontatlanságuk jelent problémát. Megszüntetésükre monitoring rendszer kiépítését javasolják végig a vízgyűjtőn a folyó mentén. Ekkora vízgyűjtőnél történő becslésnél is tudnunk kell, hogy mennyire áll közel az eredmény a valósághoz, ami ebben az esetben szerintem nem követhető.

Seidel kisvízgyűjtőn használták a modellt ([97]*Seidel, 2006*), kipróbálva, hogy a talaj tulajdonságai és a területhasználat milyen hatással van a felszíni lefolyás mértékére. Két kisvízgyűjtőre (Klatschbach, Oberreichenbacher Bach- 9,17 km^2) felállítottak különböző scenáriókat. A hagyományos és a nagyüzemi művelést modellezték két eltérő csapadékidőszakra (május, augusztus) száraz illetve nedves talajviszonyokra. Az adatokat német talajtani térképekből nyerték, a DDM-t pedig a felszín lézeres szkennelésével állították elő. A lefolyást ugarra, tűlevelű erdőre, lomberdőre és legelőre futatták. A kummulált lefolyás értékeket vizsgálva következtetettek arra, hogy melyik területhasználatnál a legjobb a vízvisszatartó hatás. A legrosszabb az ugaré, a lomberdő akár 71 %-al is megnövelheti a beszivárgási kapacitást a legelőhöz képest.

A területhasználat változtatás hatását az erózióra többen vizsgálták az E2D/3D modellel, egymástól eltérő viszonyokkal rendelkező területeken is. Baden-Würtenberg tartományban ([98]*Unterseher E. et al., 2006*) löszterületen alkalmazták az erózióbecslésére, mert komoly károkat okoz a talajerózió a mezőgazdaságnak.

A projekt célja, a veszélyes területeken modellezni az eróziót csökkentő tényezőket (pl. művelési mód, termelt növény, területhasználat változtatás). A modellezésbe beépítettek vízvédelmi tényezőket, mint pl.: füves sávok telepítése a völgytalpaknál. Az adatokat talajtérképekből vették, a többi adatot pedig légifotókkal megtámogatva állították elő. A talajhasználati koncepciók kidolgozásánál, a továbbra is szántóként használt területeken, alkalmazni kell a légifotókról és más tapasztalati úton szerzett adatokat is. A füves sávok eróziócsökkentő hatását modellezték a szászországi Mockritzer Bach vízgyűjtőn (372,91 ha) ([99]*Rüters*, *2006*). A tanulmány érdekessége, hogy egy területhasználatilag komplex vízgyűjtőn (hagyományos és nagyüzemi művelési módszert alkalmazva), hogy lehet füves sávok telepítésével befolyásolni az eróziót. A terület 10, 15, 20 %-át alakították át füves résszé, de a sávok szélességét két különböző szinten futatták 2, 20 és 50 év kiválasztott extrém csapadékeseményeire. Az egyik scenárióban széles sávokat, a másikban vékonyabb sávokat hagytak (10 méter széles és 30 méter széles sávokat változtattak), de az összterület minden esetben azonos volt. A legjobb csökkentő hatást a keskenyebb sávokkal ellátott hagyományos művelés mutatta.

[100]*Schröder (2007)* két kisvízgyűjtőn (Klatschbach és Oberreichenbacher Bach vízgyűjtő) vizsgálta a felszíni lefolyást, illetve az EROSION 3D segítségével több scenárión keresztül modellezte a területkere a talajeróziót. Az alapscenárióban a jelenlegi, majd a korábbi területhasználatot, illetve a két másik scenárióban pedig természetvédelmi, ökológiai szempontok figyelembevételével alakították a területhasználati struktúrát, vizsgálva a becsült talajerózióra való hatását.

Magyarországon a Velencei-hegységben alkalmazták az E2D/3D-t, parcella és kisvízgyűjtőre ([101]*Kitka et. al., 2005,* [102]*Farsang et. al. 2005,* [103]*Kitka et. al., 2006*).

Csehországban átfogó projekt keretében tesztelték és validálták a modellt ([104]*www.web-jschmidt.de/WorkshopRepublic.pdf*). A felszíni lefolyás tesztelését az Orlicka – kisvízgyűjtőn (9,4 km^2 ,ÉK-Csehország) végezték 2001 –ben egy extrém csapadékeseményre, majd további méréseket végeztek 3 részvízgyűjtőre (Orlicka). A validálás során a talaj paraméterek egy részét mérték, egy részét a paraméterkatalógusból vették. A kalibrálásnál üledékcsapdás méréseket végeztek, illetve mérték a vízfolyás által szállított üledéket. A területhasználatot

Landsat felvételek segítségével dolgozták ki. A DDM-t 1:25 000 térképszelvények digitalizálásából készítették. A 36 km^2 –es Bilovice vízgyűjtőre szimulálták 1 év csapadékeseményei alapján az aktuális területhasználatra az eróziót. A mért és szimulált értékek közötti eltérés 20 % körüli volt. Végeredményben kielégítőnek találták a modell használhatóságát. Ami hiányolható, hogy nincs megadva semmilyen hozzácsatolás a modellhez, amivel maradéktalanul használhatóvá válik a cseh területekre a modell (bizonyos paraméterek tekintetében a modell érzékeny és ezekre kell kalibrálni a modellt).

Az E3D modellt, mint azt az irodalmak is igazolják, elsősorban német területeken használják, de igen nagy dominanciával. Ennek súlyát jelzi, hogy a Szász Mezőgazdasági Intézet ([105]*Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft*) keretein belül más intézményekkel együttműködve tesztelték a modellt. A cél a modell használatát átültetni a gyakorlati felhasználásba a mezőgazdasági tervezésben (pl. precíziós mezőgazdasági tevékenység, tápanyagmozgás modellezés-utánpótlás). Az intézmény a 2002-es talajvédelmi koncepcióját is a modell segítségével alapozta meg, amelynek során 12 extrém csapadékeseményre szimulálták a különböző művelési módokat, vizsgálva, melyik jár a legkisebb talajveszteséggel. A 2006-os évben is növekedett a modellfelhasználások száma egyre inkább terjedve a német területeken kívül is. Lengyelországban az AGROGIS keretén belül tesztelnek számos talajerózióbecslő modellt, köztük az E3D-t is ([106]*Jadczyszyn, et. al. 2003*) A program keretében elkészítik Lengyelország erózió által leginkább veszélyeztetett területeinek térképét, miközben vizsgálják az összes erre ható tényezőt, amelyeket a modellek segítségével változtathatnak.

Fontos, hogy az E3D –ben is lehetőség van a nagyüzemi (konventional), illetve a hagyományos (konservation) művelési módok szimulálására, így bemutatható a kettő közötti különbség. A modell segítségével a kisvízgyűjtő nagyságú területek idősoros vizsgálata is lehetséges, pl. több évre modellezhető a megváltozott területhasználattal a talajerózió.

5. A MINTATERÜLET

5.1. Mintaterület kiválasztása

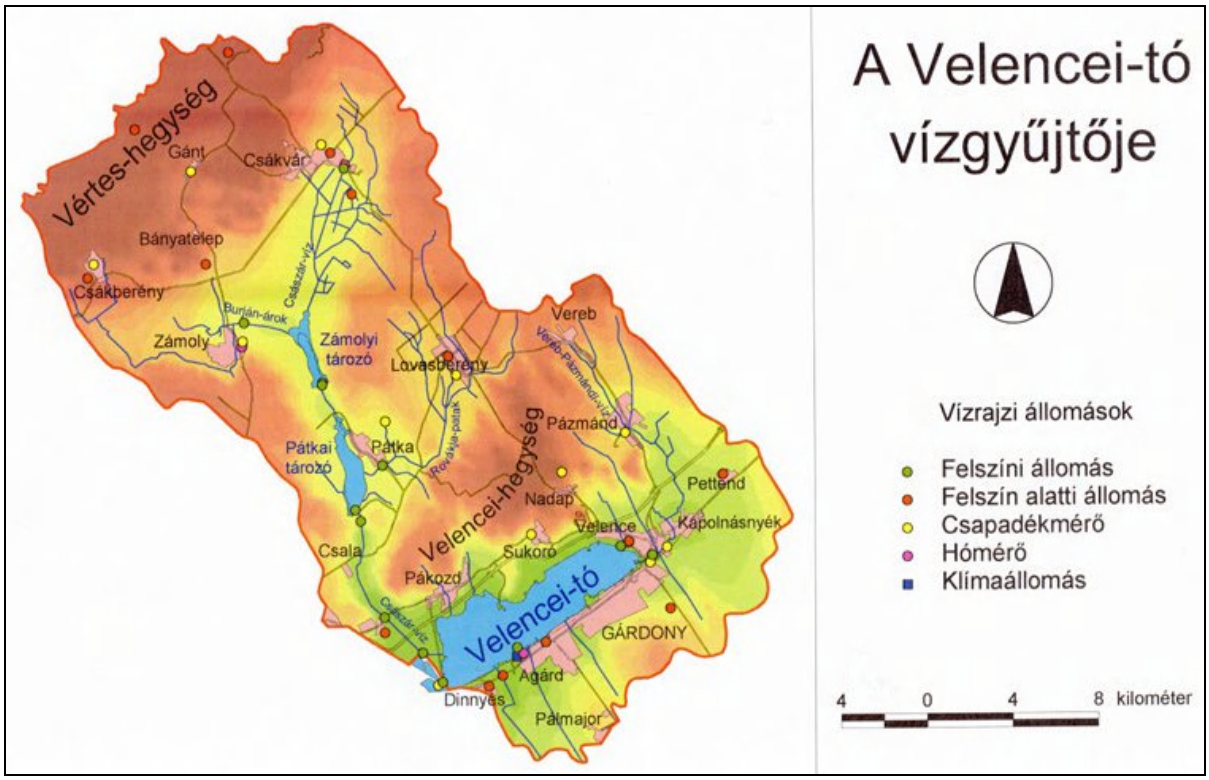
„ A tavak sorsa a vízgyűjtőn dől el” tézis a Velencei – tóra fokozatosan érvényesül. A tó 602,4 km^2 nagyságú vízgyűjtő felülete 23–szorosa a tó vízfelületének (*9. ábra*). A Velencei – tó vízgyűjtőjének egészéről becslések szerint (*[107]Karászi, 1984*) mintegy 713000 t/év talajmennyiség pusztul le, s mintegy 83 000 t/év hordalék kerül a Velencei-tóba. Ez a mennyiség évente mintegy 2 mm-nyivel járul hozzá a Velencei-tó feliszapolódásához, majd áttételesen az eutrofizációjához (*[108]Mucsi, 1995*). A tó vízgyűjtőjének egész területén intenzív mezőgazdasági művelés folyik, ahol a talajvédelmi, természetvédelmi és vízvédelmi szemlélet nem érvényesül maradéktalanul. Ennek következtében az erózióval kimosott tápanyag szinte akadálytalanul eljut tóba. Ezt a folyamatot felismerve választottuk ki mintaterületül a Vereb – Pázmándi vízfolyás egy részvízgyűjtőjét, a mintegy 14 km^2 nagyságú Cibulka – patak vízgyűjtőt, amely Pázmánd településtől nyugatra fekszik. A Cibulka - patak időszakos vízfolyás, medre szinte teljes hosszában alapvetően mesterséges kialakítású, egyenes lefutású, szabályos keresztmetszetű. A területen zajló intenzív mezőgazdaság miatt évente jelentős mennyiségű talaj kerül a tóba.

A mintaterület kiválasztásánál több tényezőt vettünk figyelembe:

- A területen, a Magyarországon legjellemzőbb területhasználati típusok megtalálhatóak. A vízgyűjtő igen intenzív mezőgazdasági művelés alatt áll. Nagy kiterjedésű szőlőültetvények és szántók vannak, amelyek az erózióval leginkább veszélyeztetett területek közé tartoznak.
- A területen 2001 óta folynak a talaj tápanyagforgalmával kapcsolatos kutatások, így a terület talajtani kutatottsága jelentős.
- Korábban már végeztek itt eróziós modell kalibrálást (**EUROSEM)** (*[109]Barta, 2004*), amelynek során felgyülemlett tapasztalatok nagyban segítették az E3D modell adaptálását, illetve a mérési módszer kifejlesztését.
- A dolgozat eredményei hozzákapcsolhatóak a Velencei-tó feltöltődésének problémájával foglalkozó tanulmányokhoz.

A modell kalibrálása érdekében 2005 és 2007 között folyamatosan végeztünk üledékcsapdás méréseket 2 kiválasztott részvízgyűjtőn.

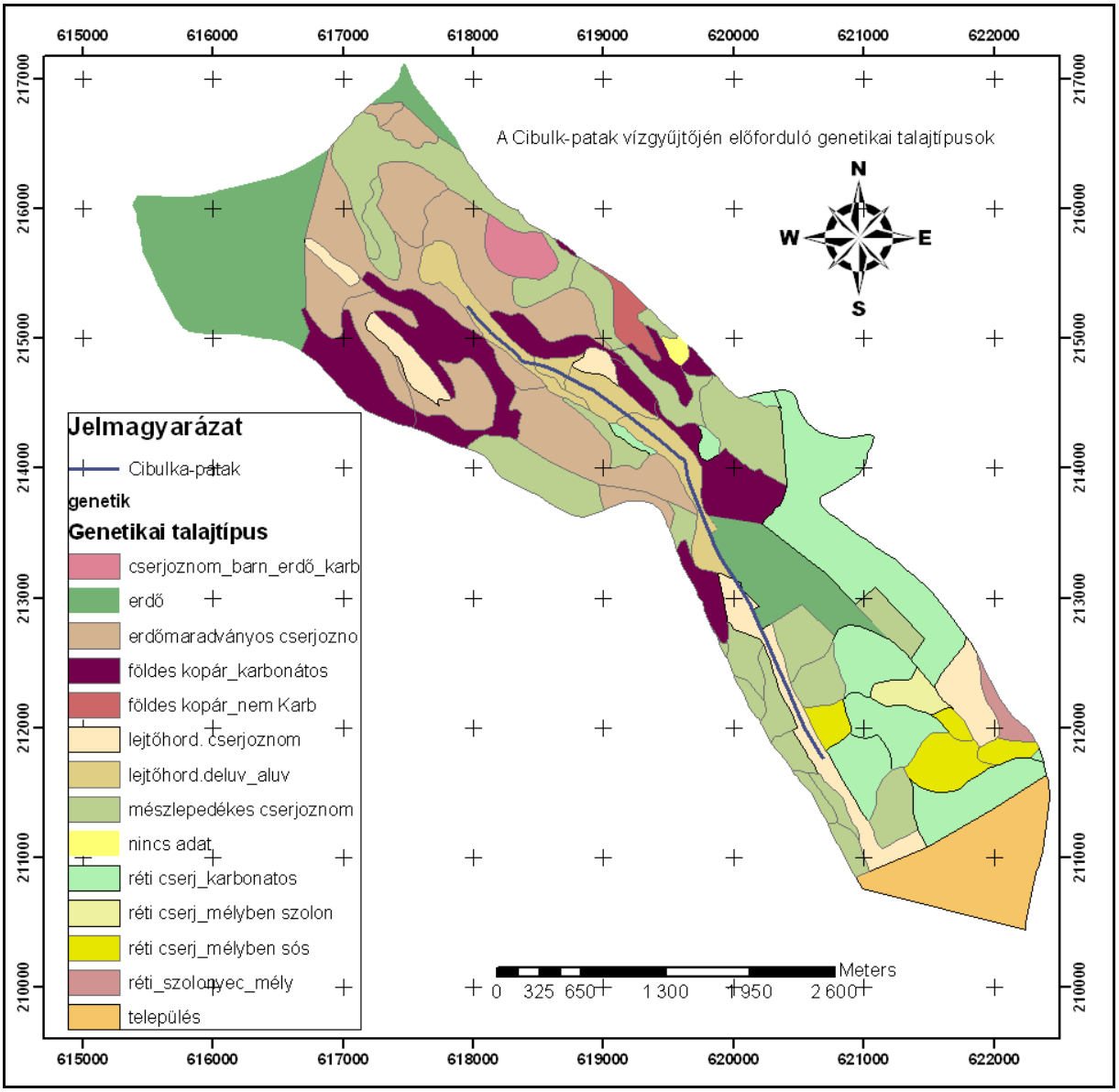
A továbbiakban *kisvízgyűjtő* alatt a Cibulka – vízgyűjtő méretű területeket (15-20 km^2), *részvízgyűjtő* alatt a 10 km^2-nél kisebb területeket (egészen az 1 ha nagyságig) értem. A vizsgálataimat ebben a két méretarányban végeztem.



9. ábra: A Velencei – tó vízgyűjtője ([110]forrás:www.kdtv.hu)

5.2. A mintaterület bemutatása (Cibulka-vízgyűjtő)

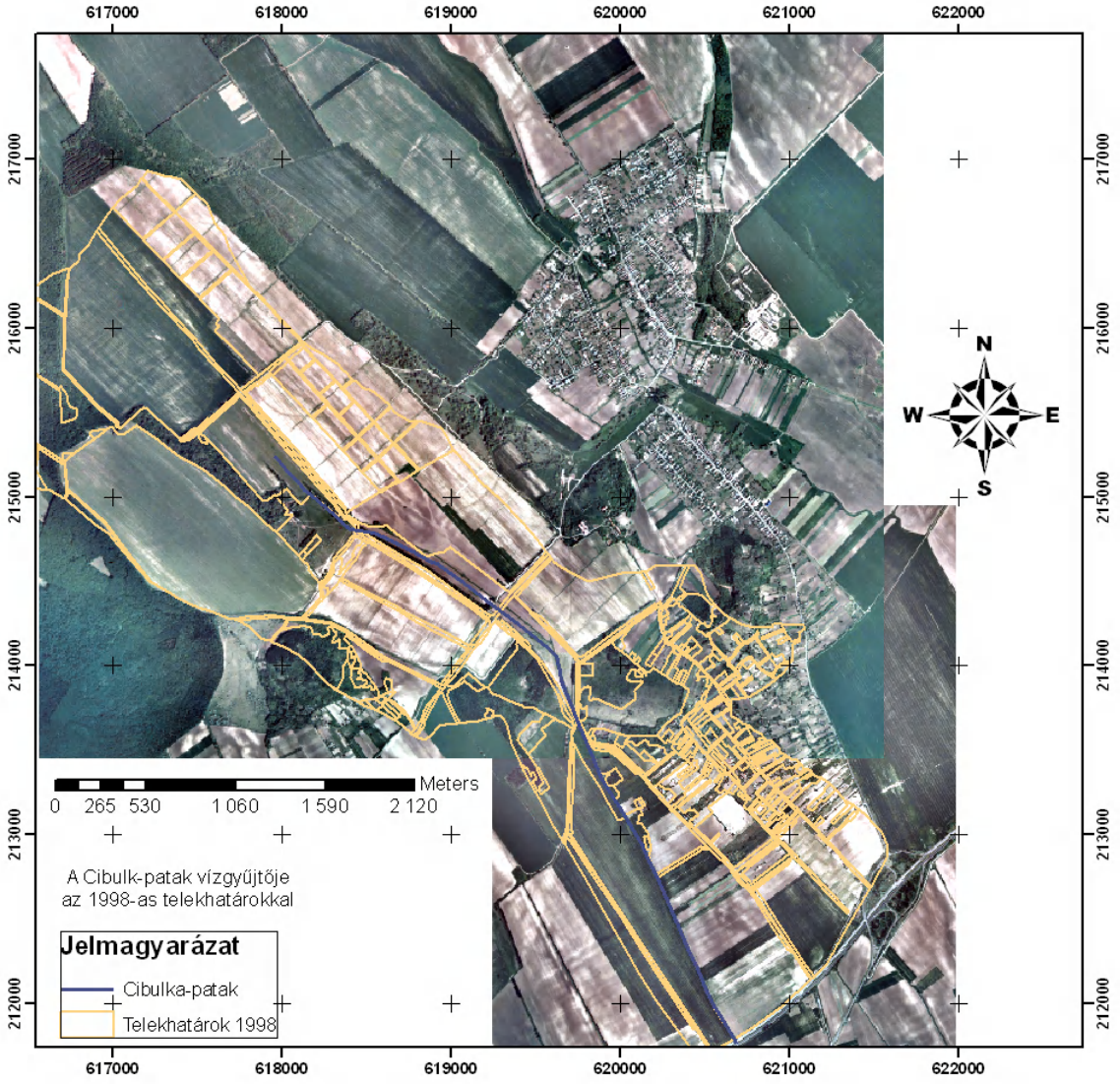
A vízgyűjtőt kőzettanilag, talajtanilag, mind területhasználatilag nagy változatosság jellemzi. A lösszel borított térszíneken elsősorban közepesen erodált cserjoznom barna erdőtalajokat, erdőmaradványos talajokat és mészlepedékes cserjoznomokat találunk. Kisebb foltokban jelenik meg a réti cserjoznom, valamint az erózió bizonyítékaként a lejtőhordalék talaj (*11. ábra*). A fizikai talajtípusok homokos vályogtól az agyagos vályog típusig terjednek. A gránit és andezit térszíneken barnaföld a jellemző talajtípus. Míg a gránit és andezit térszíneken a természetes tölgyesek mellett akácosokat, gyenge minőségű legelőket találunk, addig a cserjoznom jellegű talajoknál szántóföldi műveléssel (búza, kukorica, napraforgó, repce), szőlőültetvényekkel és gyümölcsösökkel találkozunk, valamint gyengébb minőségű legelőkkel, amelyen birkát legeltetnek.



11. ábra: A Cibulka-vízgyűjtőn található genetikai talajtípusok

Forrás: Fejér megyei ÁNTSZ

A feltalaj kémhatása semleges, a pH 7.21-8.5 közötti. A terület éghajlata mérsékelten hűvös-száraz. Az évi középhőmérséklet 9.5-9.8 ^{o}C, csapadékmennyiség 550-600 mm, melynek 50-55 %-a a nyári félévekben hull ([111]*Marosi, 1990*) gyakran igen heves zivatarok formájában.



12. ábra: Az 1998 –as területhasználathoz tartozó parcellahatárok

Forrás: saját szerkesztés

5.2.1. A Cibulka-vízgyűjtő területhasználata

A vízgyűjtő intenzív mezőgazdasági használat alatt áll. A területen jelenleg az EDECK Kft. (Etyek) és az Agromark 2000 Rt. osztozik a legnagyobb hányadban *(12. ábra)*. A maradék parcellák és területek magánkézben vannak. A parcellaméretek igen változóak. Az Agromark 2000 Rt.-hez tartozó parcellák kb. 100 ha–os területeket foglalnak magukba. A szőlőültetvények szintén. A magánkézben lévő területekre a néhány ha-os parcellák jellemzőek. A területen található erdők egy része magánkézben, más része pedig állami kézben van. Az utóbbi évek tendenciája alapján egyre több a magánkézbe került, visszaigényelt vagy kivásárolt parcella. Ennek következtében a terület mezőgazdasági művelésének palettája szélesebb lett. Az Rt. keretein belül nagyüzemi művelés folyik, mind a

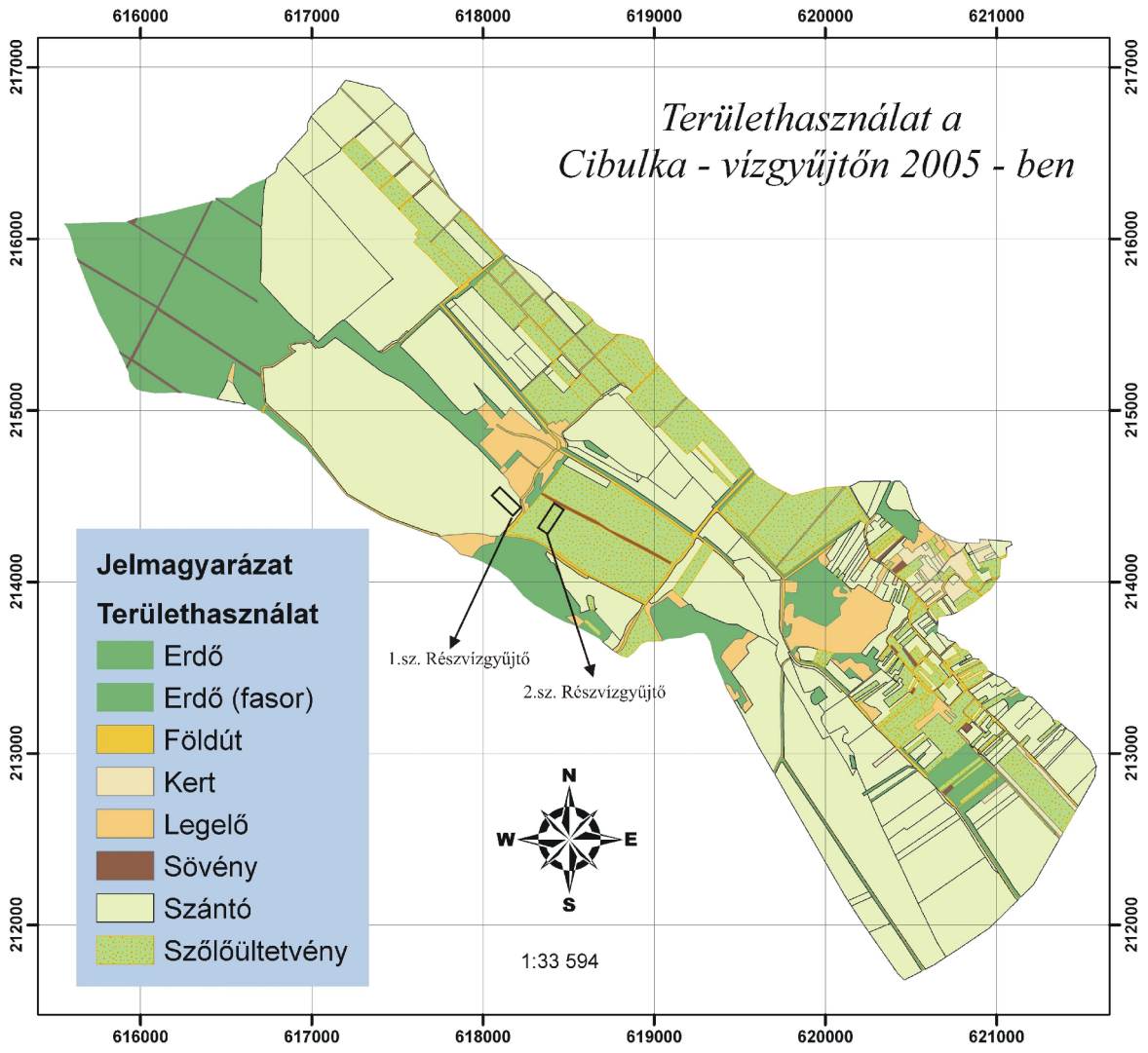
szőlőültetvényeken, mind a szántókon. Nagyfokú gépesítés jellemzi, illetve jelentős tápanyag utánpótlás. Az Agromark 2000 Rt. művelési területein vetésforgót alkalmaznak.

Kisebb területeken található még legelő, amelyen birkatartás a jellemző. Elvétve kaszáló, parlagon hagyott parcellák és felhagyott szőlőültetvények is előfordulnak.

A szántók a vízgyűjtő északi és északnyugati medencéjében a jellemzőek elsősorban a keleti kitettségű lejtőkön, illetve nagy összefüggő szántóparcellát találunk a déli medencében. A szőlőültetvények a gerincek mellett vagy elsősorban a nyugati kitettségű lejtőkön vannak, a gyümölcsöskertekkel együtt (*13. ábra*). A gyümölcsöskertek a kisebb tanyákban, illetve hétvégi kertek képében jelennek meg. A vízgyűjtőn lakott emberi település nincs. A legközelebbi település az 1 km –re fekvő Pázmánd község, de az nem tartozik a vízgyűjtő területéhez. A vizsgálat 4 éve alatt is jól követhetően változott a területhasználat. Bár nem arányaiban (*6. táblázat*), inkább térbeli elrendezésében:

Területhasználat	***Terület (m^2)***	***Terület (%)***
Szántó	5076164,13	46,4
Szőlő	2314487,74	21,4
Erdő	2001408,97	18,2
Kert	555054,35	5,1
Legelő	900661,78	8,0
Földút	94229,69	0,9

6. táblázat: 2005. területhasználat típus szerinti, területi felosztása



13. ábra: A 2005-ben érvényes területhasználat a Cibulka vízgyűjtőn

Forrás: saját szerkesztés

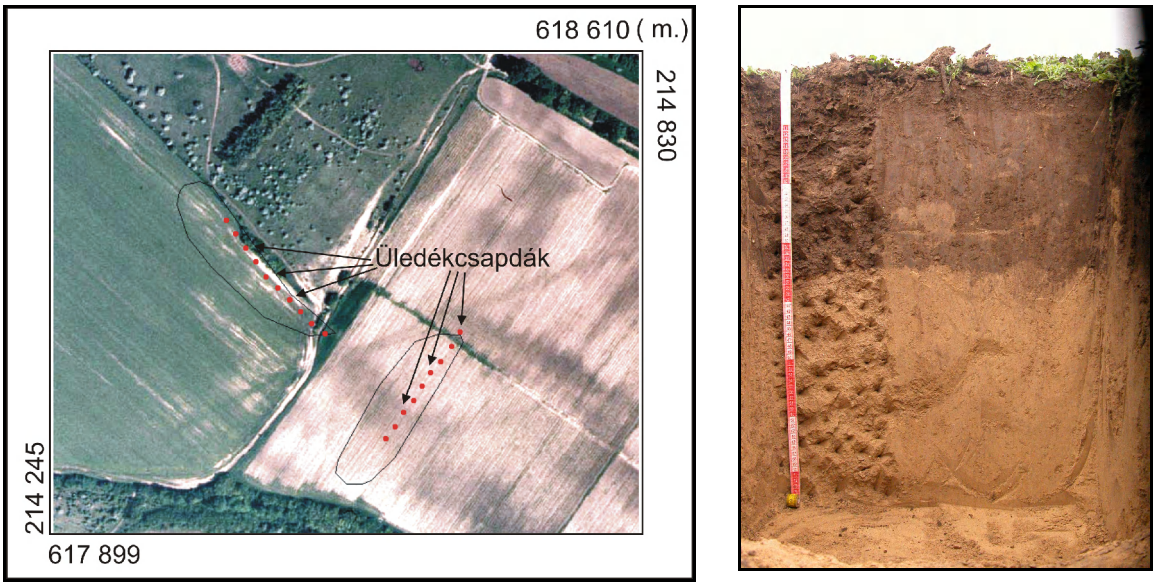
5.2.2. A kalibrációs mintaterületek

Az üledékcsapdás mérések számára két olyan részvízgyűjtőt (1.sz., 2.sz.) jelöltem ki a Cibulka-vízgyűjtőn belül (*13. ábra*), amelyik minden szempontból jól reprezentálja az egész kisvízgyűjtő tulajdonságait. További két részvízgyűjtőt is kijelöltem, amelyeken korábban már végeztek üledékcsapdás méréseket. Ezek eredményeit a modell validációlja során használtam fel.

1.sz. részvízgyűjtő (*14. ábra*)**:**

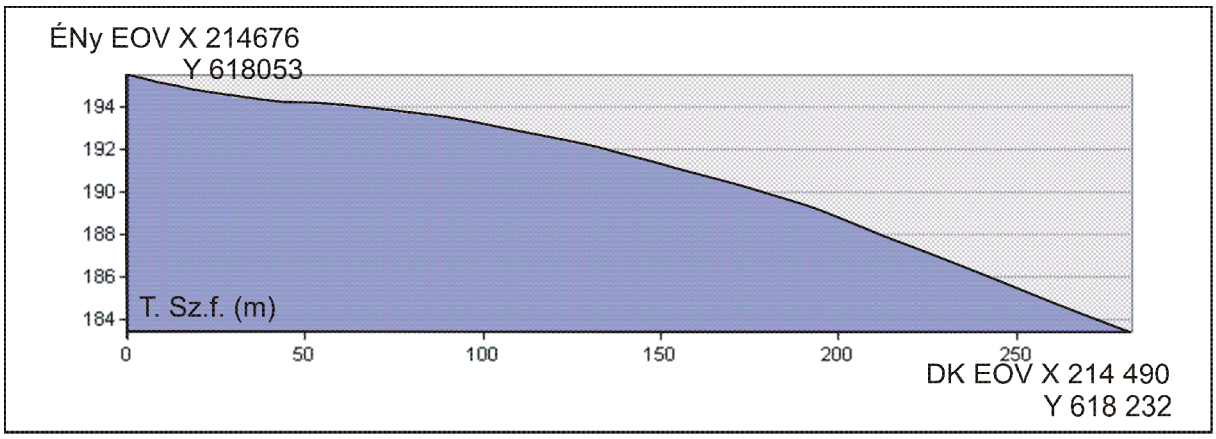
A terület az Agromark 2000 Rt. egy szántóparcellájának a szélén helyezkedik el, a Cibulka - pataktól nyugatra. A szántón 2003 és 2007 között felváltva termesztettek őszi búzát illetve

repcét. Területe 1,2 ha (átlagos lejtés 2,35°), a szintkülönbség 10 méter. A talaj erősen erodálódott mészlepedékes cserjoznom. Talajszelvény (EOV X:214 491;Y:618 231) feltárása során jól látszódott, hogy a felső „**A**” szint majdnem teljesen hiányzik a nagyfokú erózió következtében. A „**B**” szint (sötétbarna, ami viszonylag magas humusztartalomra utal) és a „**C**” szint (löszre jellemző sárgásbarna szín) jól megkülönböztethető. A karbonáttartalom a „**B**” szintben magas (++++). A felszíntől 20 cm-re igen összetömörödött eketalpréteg található.



14. ábra: A részvízgyűjtők elhelyezkedése és a szántón feltárt talajszelvény

A fizikai talajtípust vályog illetve agyagos vályogként határoztuk meg a helyszíni vizsgálat alapján, amit a labor is alátámasztott. A talajvastagság megállapításáraPürkhaueres-féle szúróbotos méréseket végeztünk végig a lejtő mentén (*15. ábra*).



15. ábra: A szántón kijelölt részvízgyűjtő keresztmetszete ÉNy-DK irányban

Kitettsége főleg D–i és DNY-i. A részvízgyűjtő mellett közvetlenül erdősáv helyezkedik el. Az aljában földút található, a földút átellenes oldalán eróziós árok, amely a parcelláról lehordódó üledék útját mutatja. A lehatárolt mintaterületünk gerincét egy eróziós barázda alkotja, amelynek fejlődését nyomon követtük (*16. ábra*) a 3 éves mérési periódus alatt.

16. ábra: Mintaterület az1.sz. részvízgyűjtőn

2.sz. részkisvízgyűjtő (*14. ábra, 17-19. ábra*)**:**

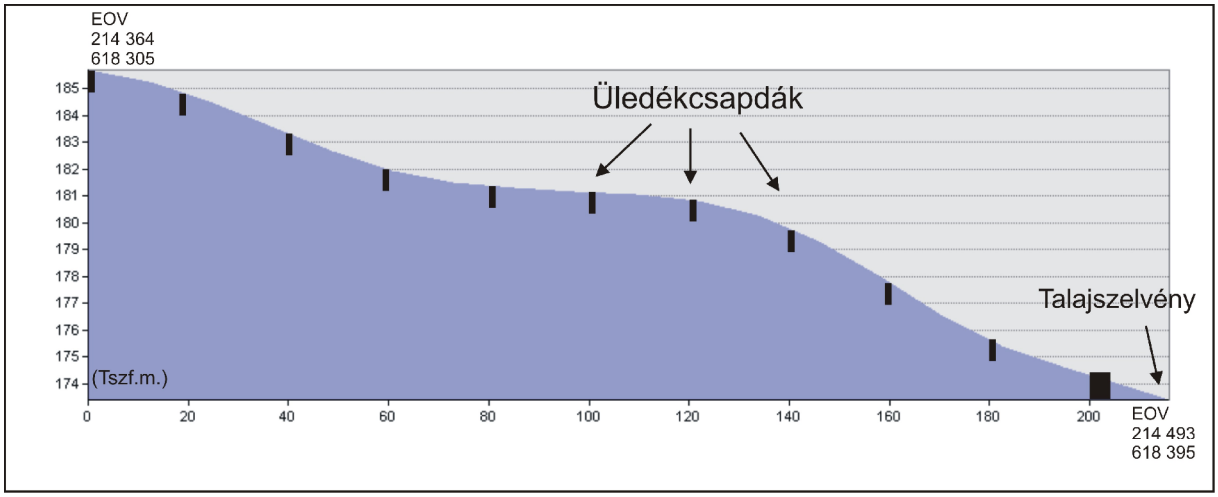
A 2. sz. mintaterületet egy szőlőültetvényen jelöltük ki. Szintén egy jól látható eróziós barázdához tartózó kisvízgyűjtőt jelöltük ki és mértük körbe a területét (1,02 ha). A parcellán feltárt talajszelvény (EOV X: 214 493; Y: 618 395) egy többszörösen áthalmozódott talajformát mutat. Szabad szemmel a szinteket alig lehet megkülönböztetni. A talajképző kőzet lösz, amit 115 – 120 cm-es mélységben értünk el. A szelvény felülről lefelé világosodik. A karbonáttartartalom a mélységgel csökken. A lejtő alacsonyabb részein látható, az erózió következtében kialakult talaj rétegzettség. Fizikai típusa szerint homokos vályogtalaj. A lejtés nagyobb, mint a másik mintaterületen 4,07^{o}. A legnagyobb szintkülönbség 16 m. A kitettség K - i ÉK - i.

17. ábra: Talajszelvény a szőlőültetvényen

18. ábra: A legnagyobb üledékcsapda a szőlőültetvényen

19. ábra: A szőlőültetvény talajának rétegzettsége

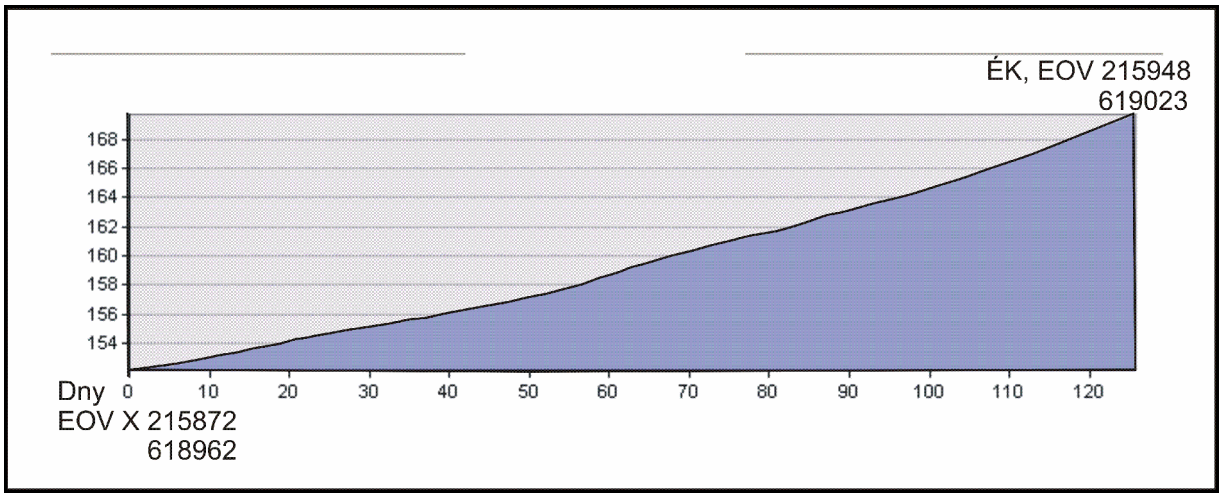
Az üledékcsapdákat 20 méterenként helyeztük el (*20. ábra*), a vízgyűjtőn szabad szemmel is látható eróziós barázdában, amely egyben a vízgyűjtőn összegyűlő csapadékvíznek és hordaléknak is a szállítási útvonala (*18. ábra*).



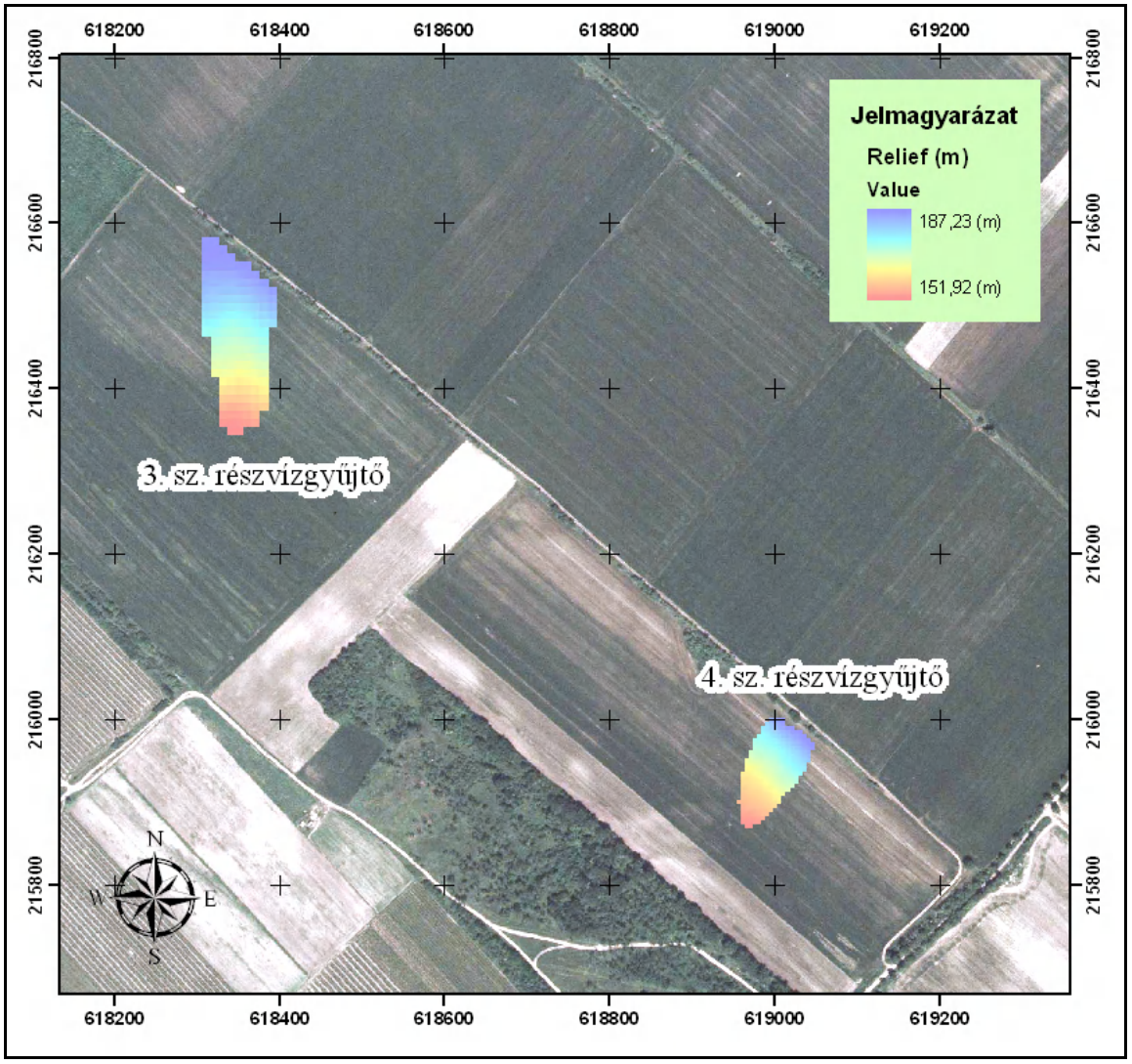
20. ábra: A szőlőültetvény keresztmetszete az üledékcsapdák elhelyezkedésével

3.sz. és 4. sz. részvízgyűjtő

A két részvízgyűjtő a volt pázmándi Barátság Tsz. egyik szántóparcellájához tartoznak. Pázmánd falutól nyugatra az 1.sz- és 2.sz részvízgyűjtőtől északkeletre a Bágyom-ér egyik jobboldali mellékvölgyének az ÉK-i kitettségű lejtőjén találhatóak egymástól 500 méter távolságban (*21-22. ábra*). Mindkét részvízgyűjtő egy-egy barázdából kifejlődött eróziós árkot és azok oldallejtőit foglalja magába. A két terület átlagos lejtése 11 %-os a szántóparcellán. Mindkét területen löszön kialakult, erősen erodált mészlepedékes cserjoznom van. A területen a szántás lejtőre merőlegesen történik, felváltva kukorica és búza sorrendben. A 3.sz. részvízgyűjtő területe 1,8 ha, a 4.sz. területe 1,3 ha.



21. ábra: A 4.sz. részvízgyűjtő keresztmetszete



22. ábra: A 3. sz. és 4. sz. részvízgyűjtő domborzati térképe és elhelyezkedése

Ezen a két mintaterületen 1998-ban végeztek eróziós méréseket, amelynek adatait a validálás során használtam fel.

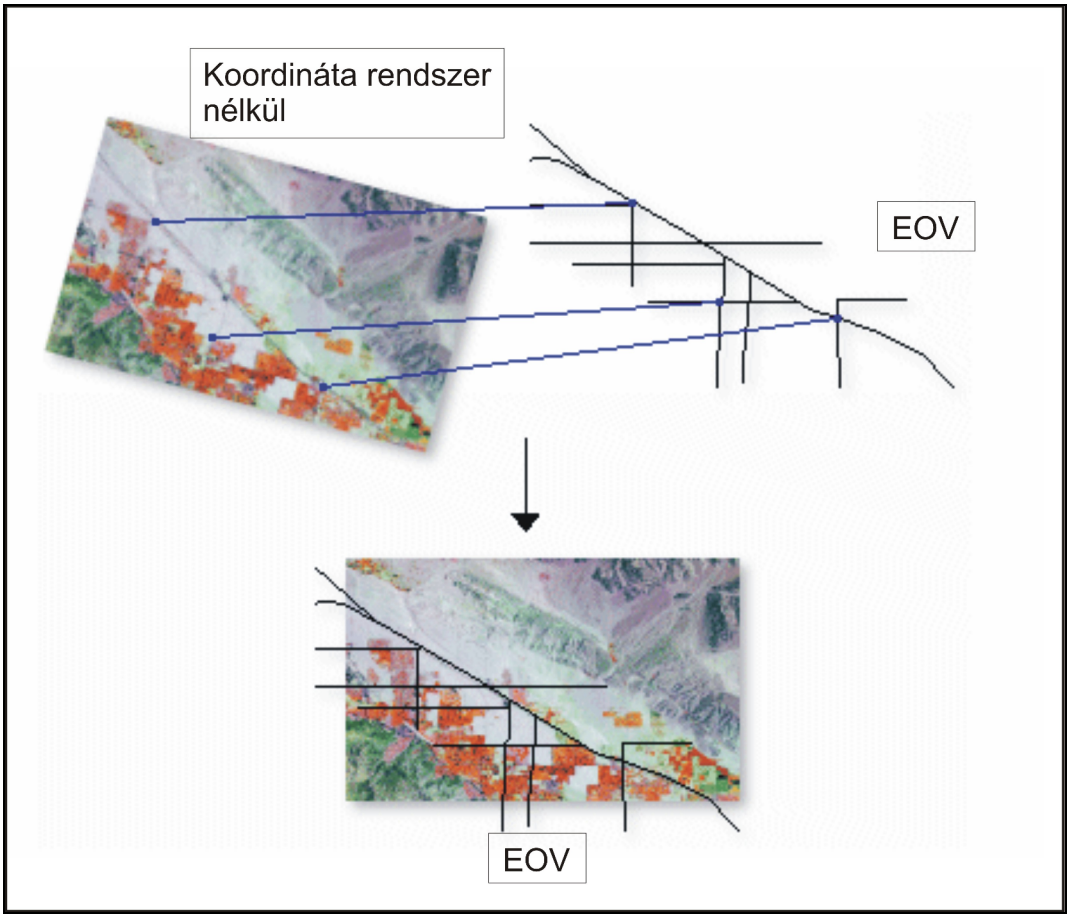
6. MINTAVÉTELI ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

6.1. Adatgyűjtés

Az adatgyűjtést két méretarányban végeztem a vizsgálatoknak megfelelően. Az egész Cibulka-vízgyűjtő megmintázására a modellezés miatt volt szükség. A részvízgyűjtők mintázását a kalibrációs és a validációs vizsgálatok miatt kellett elvégezni. A minták begyűjtését a reliefre, területhasználatra, talajparaméterekre és csapadékmérésre végeztem.
Az adatok gyűjtését terepen és egyéb analóg valamint digitális forrásokból végeztem.

6.2. Digitális adatok

A digitális adatforrásaim 3 csoportba sorolhatóak. Digitális légifotók, digitális műholdfelvételek, digitalizált 10 000 topográfiai térképszelvények, illetve egyéb digitális térképek.
A digitális légifotók megfelelő felbontásban 2000 és 2005 évre állnak rendelkezésre. A területet lefedő légifotókat a FÖMI-től ([112]*Fömi, 2000, 2005*) szereztem be, JPG állományként, 1 méteres felbontásban. A felbontásnak nagy szerepe van a területhasználat felmérésénél és a telekhatárok digitalizálásánál. A területet ábrázoló műholdképek, a légifotókkal együtt kerültek feldolgozásra. Ezen adatállományokat a felszínborítottságnál illetve a területhasználatnál tudtam felhasználni.
A 10 000 topográfiai térképek szkennelt formában álltak a rendelkezésemre GeoTiff formátumban, georeferálva.
A légifotókat az EOV-ba forgatott topográfiai térképek és a terepen GPS-szel felmért pontok alapján georeferáltam Egységes Országos Vetületbe (EOV). A transzformációt Erdas Imagine 8.7 műholdkép feldolgozó szoftverrel végeztem. A folyamat során kép a képhez transzformációt alkalmaztam, amelynek lényege, hogy a nyers képet és a georeferált képet egymás mellett jelenítjük meg azonos, vizuálisan jól felismerhető pontokat keresve, amelyek kijelölésével adjuk meg a transzformáció alapját képező illesztőpontokat. Fontos, hogy a transzformáció pontosságát jelző RMS (középgyök hiba) hiba értéke 1 alatt kell, hogy legyen, különben torzul a kép ([113]*Kitka, 2003*) (*23. ábra*). A georeferálást elvégeztem a 2000 –es és 2005-ös felvételeken is, összesen 4 db felvételt felhasználva.



23. ábra: A geometria transzformáció képpontok alapján

A Fejér Megyei Növény és Talajvédelmi Szolgálat (Velence) rendelkezésünkre bocsátotta a terület digitális genetikai és egyéb talajtulajdonságokat (pH, humusztartalom, talajvíz) tartalmazó digitális állományait, amelyeket felhasználtam a terepi mérések előkészítéséhez illetve a terület adatbázisának bővítéséhez.

6.3. Relief

A DDM (Digitális Domborzat Modell) készítéséhez két módon gyűjtöttünk adatokat. A DDM – et az Arc GIS 9.0 szoftver TOPOGRID ([114]*Bódis, 2003*) moduljával készítettem. A szükséges adatok alapját, a területet lefedő 10 000 - es EOTR topográfiai szelvényekből (5 db) nyertem ki.

A DDM-hez felhasznált adatok:

- Szintvonalak (2,5 m szintköz) – EOTR szelvények
- Magassági pontok - EOTR szelvények, terepi mérések GPS
- Vonalas objektumok – EOTR szelvények, terepi mérések GPS

A domborzatmodell létrehozásánál fontos megemlíteni, hogy a toleranciák beállításával lehet a felületet, a valósághoz minél közelebbi állapotra hozni.

TOL1: ez a paraméter fejezi ki a magassági pontok sűrűségét és pontosságát. Azon magassági pontok amelyek értékük alapján gátolnák a lefolyást, el lesznek távolítva, ha értékük a megadott tolerancia alatt van. Pl. ha a lejtőn egy 30 cm magas bucka van azt a lefolyó víznek ki kell kerülnie, de a toleranciaérték 0,5 m, tehát alatta van, ezért ez nem lesz feltüntetve a modellen.

Szintvonalak esetében a szintvonalköz értékének a felét kell beállítani.

Az alapbeállítás 2,5. Ha a bemeneti adatok ritkásak, lehet ennek a paraméternek magasabb értéket is adni. Jelenleg az alapbeállítás az érvényes.

HORIZONTAL_STD_ERR paraméter kifejezi a folyamatban rejlő hibát, amellyel a pontokhoz, vonalakhoz és poligonokhoz rendelt magassági értékeket szabályos térközű gridbe konvertáljuk. Ennek a beosztását a program adja meg az adatpontokból számítható helyi lejtés és a grid cellaméretétől függően. Az alapbeállítás 1.0. Nagyobb érték megadása az adatok erősebb simítását jelenti, amellyel generalizáltabb kimeneti grid az eredmény. Kisebb érték megadásával a simítás kevésbé érvényesül, a kimeneti gridben élesebben különülnek el a mélyedések és a kiemelkedések. Ez általában nem a valóságnak megfelelő. Bármely nem-negatív érték megengedett. Az ajánlott értékek a 0,5 és 1,0 közöttiek. Az értéket 0,5-re állítottam be.

VERTICAL_STD_ERR paraméter fejezi ki a bemeneti adatok z-értékeiben (magassági érték) lévő, véletlen (nem szisztematikus) hibát. A legtöbb magassági adathalmaz esetében a paraméter értékét 0-ra kell állítani. Ha az adatok lényeges magassági hibával terheltek, azonos varianciával (szórásnégyzet), akkor ezt a paramétert a hibák szórásával kell egyenlővé tenni.

A DDM felbontása 10 méter. A kisebb cellaméret hibával terhelt lehet. A modell fejlesztői ezt a felbontást ajánlják a modell használatánál, ami felvetett néhány problémát a modellezés terén. A löszmélyutakat és teraszokat, illetve egyéb, hirtelen szintváltozásokat a mérésekkel kellett pontosítani. Mivel az utak kb. 5-6 méter szélesek vagy kisebbek ezért a digitalizálás során poligonként kerültek bevitelre, hogy a griddé konvertálásnál ne tűnjenek el (egy cella szélességű földutak-10 méter).

A kalibráció során a négy részvízgyűjtő DDM–jét szintén 10 méteres felbontással készítettem. A négy közel 1 ha –os területen GPS – szel (Trimble, Garmin Gekko) és mérőállomással (Sokkia SET 310–Thales Mobilmapper-*24. ábra*) is mértünk pontokat a magassági értékek minél pontosabb beviteléhez.

24. ábra: Sokkia mérőállomás használat közben

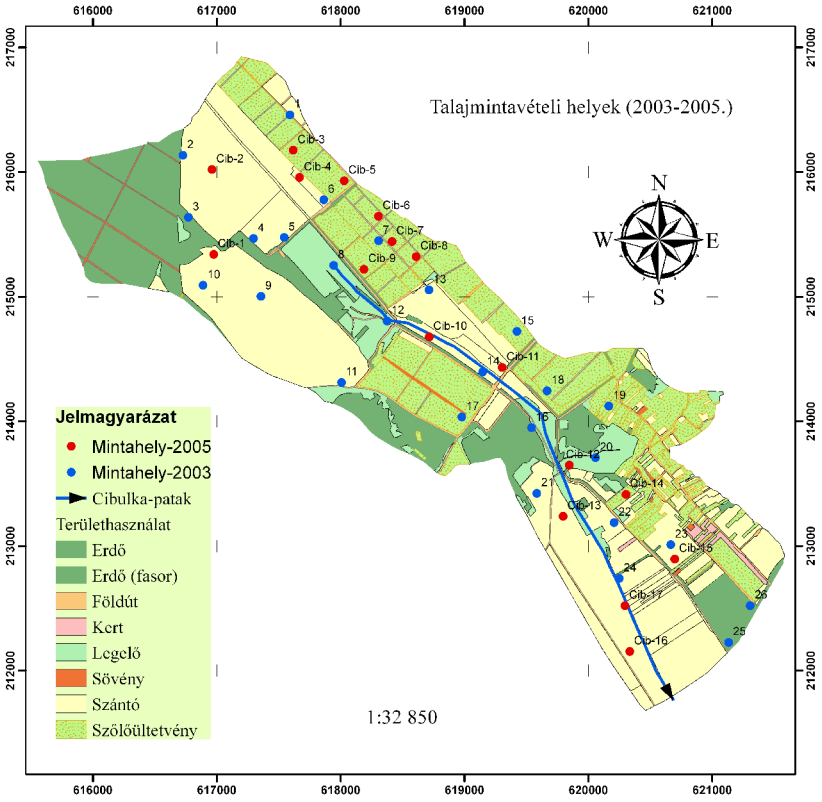
A mérőállomás alappontját az országos alappont hálózathoz mértük be Trimble Explorer típusú térinformatikai GPS-szel ([115]*www.trimble.com*). A négy részvízgyűjtőn egyenként közel 70 és 80 pontban határoztuk meg a magasságot. Ezekre a részekre elkészítettem az 5 méteres cellaméretű változatot is, hogy később végezhessek a két felbontás között összehasonlító vizsgálatot, mennyiben befolyásolja a felbontás a modellezést. Felmértük a kisvízgyűjtő gerincét alkotó eróziós barázdát, hogy a lejtés visszatükröződjön a DDM-ben, befolyásolva a lefolyási irányokat.

Manapság a domborzatmodell készítése már rutinmunkának számít, de fontosak tartottam a részletezését, mivel felbontása határozza meg a modellezés „felbontását” is. A talajparaméterek is a DDM cellaméretének és kiterjedésének függvényében kerültek bevitelre.

A Cibulka-vízgyűjtőn a terepbejárások (területhasználat, mintavétel) során a Garmin Gekko és Etrex GPS készülékeket használtuk, amelyek pontossága 5-10 méter között ingadozik a körülményektől (felhős égbolt, növényzeti kitakarás) függően. A részvízgyűjtők bemérése és a mérőállomás használatakor a TRIMBLE Geoexplorer típusú térinformatikai GPS-t használtuk, amely megbízhatósága cm-es *([116]Szatmári, 2006)* tartományban mozog.

6.4. Talajparaméterek

A következőkben a talajparaméterek megmintázásának módját adom meg, amely érvényes mind a két méretarányban. A vízgyűjtőn a talajtani jellemzésnél törekedtünk az egyenletes mintázásra úgy, hogy a különböző domborzati és területhasználati változatokat jól reprezentáljuk. A vízgyűjtő egészére vonatkozó adatoknál az egyes parcellákon vett mintákat tekintettük reprezentálónak. Az azonos területhasználati típusba tartozó parcellák közül nem mintáztuk meg az összes parcellát, csak ha a talajtani térkép eltérő mechanikai összetételű talajtípust mutatott. Az egyes parcellákon belül minimum 8 pontminta átlagolásából származtatott átlagmintával dolgoztunk. A kalibrációhoz használt két mintaterületet részletesen megmintáztuk. A minták a talajréteg felső 10 – 20 cm – re vonatkoznak, mivel a modell erre a rétegre használható. A legelső mintázásnál 33 helyen vettünk mintát. (*25. ábra).*



25. ábra: Talajmintavételi helyek 2003-2005.

A mintavételezés időpontjait 2004 és 2007 között késő tavaszi és nyári hónapokra fókuszáltuk, mivel a modellezésnél alkalmazott időpontok is az évnek erre a szakaszára esnek.

2004. április, július, szeptember. A Cibulka-vízgyűjtőn talajtani mintázást és területhasználati felmérést végeztünk. Áprilisban telepítettük a talajeróziós mérésekhez az üledékcsapdákat és talajtani mintázást, GPS magasságmérést és pozíciómérést végeztünk a két részvízgyűjtőn (1.sz. és 2. sz.). Július, szeptember hónapban talaj mintavételezést végeztünk. Szeptember végén felszedtük az üledékcsapdákat és talaj mintavételezést végeztünk a részvízgyűjtőkön (1.sz. , 2. sz.).

2005. április: Az üledékcsapdák kitelepítése, területhasználat felvételezés.
2005. július: Ellenőrzés, talajmintavétel, területhasználat felvételezés.
2005. október:Üledékcsapdák felvétele.
2006. április: Kitelepítettük az üledékcsapdákat, területhasználat felvételezés.
2006. július, augusztus: Ellenőrzés, talajmintavétel, területhasználat felvételezés.
2006. október: Talaj mintavételezés.
2006. december: Üledékcsapdák felvétele. Talaj szelvényfeltárás 1 és 2 sz. részvízgyűjtőkön.
2007. március: Kitelepítettük az üledékcsapdákat, terepi mérőállomással bemértük az összes részvízgyűjtőt.
2007. május: Ellenőrzés, talajmintavétel, területhasznosítás felvételezés.
2007. június: Ellenőrzés, területhasználati terepszemle.
A fenti terepi vizsgálatokon túl mindedn erozív csapadékeseményt követő 3 napon belül ürítettük az üledékcsapdák tartalmát.
Ezeknél az eseményeknél, a kis üledékcsapdákból vettünk mintát, a nagy üledékcsapdából az összes anyagot elvittük és laborban vizsgáltuk, szárítás után lemértük a tömegét.

6.5. Mintavételezési módszerek terepen

Bolygatatlan szerkezetű mintavétel:

A terepi mintavételezés során a térfogattömeghez és a talajnedvességhez bolygatatlan szerkezetű talajmintát vettünk. A speciális fúróberendezésünk egy élezett acélhenger volt, amelybe hézagmentesen illeszkedő, meghatározott térfogatú, számmal ellátott, cserélhető betéthenger helyezhető. A betéthengerek 5,1 cm átmérővel és 5 cm hosszúsággal rendelkeznek. Térfogatuk ez alapján számolható, 100 cm^3.

A mintavétel folyamata a következő lépésekből ([117]*Keveiné Bárány,Farsang, 2002*) áll:

- A talaj felszínét 20 x 20 cm-es felületen megtisztítottuk, mivel a talaj felső 10 cm-ből vettük a mintát.
- Az alul élezett hengerbe helyeztük a betéthengert és kalapács segítségével a kívánt mélységbe süllyesztettük a mintavevő hengert.
- Gyengéd csavarással elválasztottuk a hengert a talajfelülettől, kiemeltük, késsel eltávolítottuk a felesleges talajmennyiséget (hengeren kívül), majd alul felül műanyag fedéllel lezártuk a betéthengert. Megfelelő felirattal, kóddal láttuk el a mintatégelyt.

Talajszelvény és egyéb talajmintavétel:

A talaj mechanikai összetételéhez szükséges mintavételezés a talajszelvény feltárása során az előírásoknak megfelelően minden talajszintből, alulról felfele haladva 1-1,5 kg-os mintát gyűjtöttünk. A nagyobb területen történő mintázás során a felső 10 cm-ből vettem mintát, amiket légmentesen lezárt mintazacskókban szállítottuk a laborba. Ezekből a mintákból végeztük el a laborban a szemcseösszetétel, a szervesanyagtartalom, az Arany – féle kötöttségi indexre vonatkozó vizsgálatokat.

Talajkohézió:

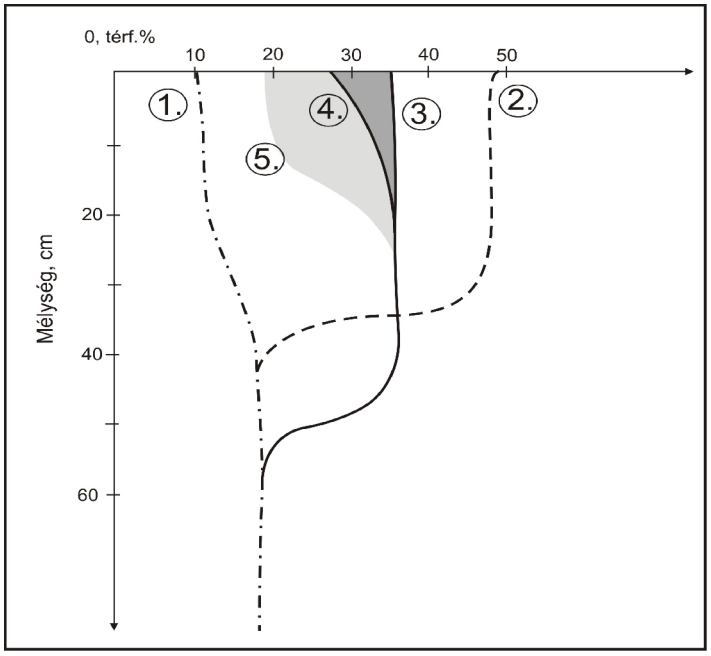
Elsősorban a fizikai talajféleségek és a területhasználat alapján választottuk ki a mintahelyeket. Adott helyen mindig 4 mérést végeztünk és azok átlagát használtuk fel. A helyszínen a méréseket egy EA26-226L talajnyírás mérő kerékkel végeztük. A mérőeszköz beállítási lehetőségei közül a közepes kereket választottuk ki, mert a helyszíni viszonyokhoz az felelt meg a legjobban. A kerékről leolvasott, mért értékeket utána egy az eszközhöz mellékelt nomogrammban beazonosítottuk és leolvastuk a hozzátartozó értéket kg/cm^2-ben, amit átváltunk N/m^2-be.

Felszínfedettség:

A terepi mérés során egy 15 m hosszú drótot 100 egyenlő szakaszra osztottunk, vagyis 15 cm-ként bejelöltük. A mérőszalagot a terepen a két végénél rögzítettük úgy, hogy a növényi sorok futásával 45^o-os szöget zárjon be. Azokat a részeket, amelyek a növényi részek illetve maradványok fölé esnek, összeszámolva kaptuk meg az eredményt. A parcella nagyságától függően ismételtük a mérések számát.

Kezdeti talajnedvesség:

A kezdeti talajnedvességet bolygatatlan szerkezetű mintákból határoztuk meg laborban. Az adott időpontokra meglévő talajnedvesség adatokból és a csapadékadatokból becsültük a talaj kiszáradásának ütemét, illetve, hogy mennyi volt az értéke a csapadékesemény előtt. Mivel folyamatos talajnedvesség mérésére nem volt lehetőségünk ezért folyamodtunk a becslés (*26. ábra*) módszeréhez.



26. ábra: A vályogtalajok nedvességtartalmának alakulása csapadék után
([118]Stefanovits P et al. 1999)
1. Eredeti nedvességprofil
2. A talaj nedvességtartalma közvetlenül a vízadagolás után
3. Nedvességprofil a víz szétoszlása után
4. Három nappal a beázás után
5. Nedvesség eloszlása a 10 nappal a beázás után

6.6. Laborban végzett vizsgálatok

A laborban végzett vizsgálatokat a modellhez szükséges paraméterek határozták meg. A paraméterek értékeit meghatározó laborvizsgálatokat a talajtanban használatos eljárásokkal végeztem el ([119]*Barczi A et al., 1991*).

Térfogattömeg meghatározása:

A bolygatatlan szerkezetű betéthengerekben lévő talajmintákat a kupakok nélkül, porceláncsészében, a szárítószekrényben (105 ^{o}C-on) a tömegállandóságig szárítottuk. A kiszárított, kihűlt mintákat gyorsmérlegen 0,1 g pontossággal lemértük. A következő képlet alapján számoltuk a talajminták térfogattömegét:

$$\text{Talaj térfogattömeg g/cm}^3 = m_1 - m_2 / V$$

ahol,

m_1 = a betéthenger tömege + porceláncsésze tömege

m_2 = a betéthenger tömege + porceláncsésze tömege a kiszáradás után

V = a betéthenger térfogata, jelen esetben 100 cm^3

Talajnedvesség meghatározása

A meghatározás során, az előzetesen lemért, nedves mintánkat a talajminta kiszárított g tömegének a 105^oC – on történő szárítás során bekövetkező vesztesége alapján számoltuk a talajban levő víz mennyiségét, pontosabban a talaj nedvességtartalmát.

A bolygatatlan szerkezetű mintákat porceláncsészébe áttesszük és lemérjük. A porceláncsészéknek ismert tömegűnek kell lennie.

A mintákat ezután szárítószekrényben tömegállandóságig szárítjuk a vélt nedvességtartalomtól függően 15 – 25 óráig. A kihűlt mintákat centigramm pontosságú mérlegen lemérjük és a következő képletet használva, számoljuk a minta nedvességtartalmát

Számítás:

$$n_s = (a – b / b – c) * 100$$

ahol,

n_s = a talaj nedvességtartalma tömegszázalékban

a = porcelánedény és nedves minta együttes tömege (szárítás előtt, g)

b = porcelánedény és nedves minta együttes tömege (szárítás után, g)

c = porcelánedény tömege

Térfogatszázalékra az alábbi képlet alapján lehet átszámolni:

$$N_{tf} = n_s * \text{térfogattömeg}$$

Humuszkoncentráció meghatározása *([120] MSZ21470/52:1983):*

A talaj széntartalmának mennyiségi meghatározása a szerves anyagok oxidálhatóságán alapszik. Az oxidáció roncsolással, kénsavas közegben kálium dikromáttal történt. A szerves szén hatására a Cr^{6+} ionok Cr^{3+} ionokká redukálódnak. A Cr^{3+} ionok koncentrációját 590 nm-es hullámhosszon fotometriásan mérjük, mivel a Cr^{3+} ionok mennyisége egyenesen arányos a szerves szén mennyiségével.

A talajmintákból 0,1-1g közötti mennyiség mérésére került sor a szervesanyag tartalom becslése alapján. A bemért talajhoz 100 cm^3-es Erlenmeyer lombikban először 10 cm^3 kálium dikromát ($K_2Cr_2O_7$) majd 20 cm^3 kénsav (H_2SO_4) hozzáadására került sor. 30 perces hűtést követően 100 cm^3 desztillált vizet adtam hozzá, majd teljes leülepedésig (kb. 24 óra) állni hagytam, majd dekantálását követően fotometráltam. A minták előtt a vakoldat mérésével állítjuk be a műszert nullára. Így küszöböljük ki az oldószer, valamint a küvetta hatását.

A talaj mechanikai összetételének meghatározása:

Az előkészített (légszáraz) mintákból ([121]*MSZ-08 0206/1-78*), centigramm pontosságú gyorsmérlegen 25 grammnyit porcelán mozsárba mértünk. A kimért talajmintákhoz a kötöttségi számnak megfelelő mennyiségű 0,5 n nátriumpirofoszfát oldatot adagoltunk, majd homogén péppé keverjük. A nátriumpirofoszfátos talajpépet tölcséren keresztül desztillált vízzel, veszteségmentesen 1000 ml-es rázólombikokba mossuk, majd a tölcsért is utána öblítve a lombikokat desztillált vízzel a feléig töltöttük.

Utána a szuszpenziót 6 órán keresztül rázattuk.

A felrázott talajszuszpenziót 0,25 mm – es lyukbőségű szitán keresztül 1000 ml-es mérőhengerbe vittük át, majd a tölcsért is utána öblítettük bő desztillált vízzel, majd az összes hengert jelig töltöttük.

A szitán fenakadt homokfrakciót desztillált vízzel, veszteségmentesen, ismert tömegű lepárlócsészébe mostuk át. A tartalmát szárazra pároltuk, majd szárítószekrényben 105^oC-on tömegállandóságig szárítottuk. A kihűlés után, analitikai mérlegen lemértük a frakció tömegét.

$$a\% = (a_1 – x_a / y) * 100$$

ahol,

a% = > 0,25 mm-es frakció mennyisége a talaj %-ban

a_1 = szemcsefrakció + edény együttes tömege, g,

x_a = edény tömege

y = bemért abszolút száraz talaj tömege, g (bemért légszáraz talaj tömege mínusz a légszáraz talaj nedvességtartalma

A szuszpenziókat alaposan felráztuk, utána ülepedni hagytuk. Az egyes szemcsefrakciók meghatározásához, az ülepedési körülményeknek megfelelő mélységből és időpontban 25 ml szuszpenziót pipettáztunk ki, számozott főzőpoharakba (tömegük ismert).

A táblázatban ([122] *MSZ0-80-02051978*) megadott időpontokban kipipettázott szuszpenziókat szárazra pároltuk, majd szárítószekrényben tömegállandóságig szárítottuk 105^{o}C-on. Kihűlés után analitikai mérlegen meghatároztuk a tömegüket, minden egyes szemcseátmérő tartományra.

Az eredmény alapján a két talajszelvény szemcseeloszlási görbéjét is meg tudtuk rajzolni, amit alátámasztott az Arany - féle kötöttségi index vizsgálatának az eredménye.

Az *Arany – féle kötöttségi indexet* ([123]*Stefanovits et al., 1999)* tájékozódási jelleggel használtuk, hogy az egész vízgyűjtőre megkapjuk a fizikai talajféleségeket.

A vizsgálat folyamata, hogy a légszáraz talajmintából kimértem 100 grammnyit, majd egy dörzscsészében folyamatos morzsolás, keverés mellett desztillált vizet adagoltam hozzá. Amikor a talajpép homogénné válik, el lehet végezni rajta a fonalpróbát. Leolvastam az elfogyott desztillált víz mennyiségét. Az index számítása, pedig a következő képlet alapján történt: $K_A = (V/g) * 100$, ahol V = az elfogyott desztillált víz mennyisége (cm^3), g = a bemért szárított talajminta tömege (g).

Az eredményeket összevetettük a genetikai talajtérképpel, hogy mennyire egyezik az abban a genetikai talajtípusokhoz rendelt szemcseeloszlás, a felhasználhatóság miatt. Mivel az értékek közel voltak egymáshoz, ezért a további modellezések során a térképet használtam.

6.7. Csapadékadatok

A modellezéshez szükséges paraméterek harmadik típusa a csapadékadatok. Ennek mérése csapadékmérő eszközzel lehetséges. A modellezés során leginkább a nagy intenzitású csapadékeseményekre voltunk kíváncsiak.

27. ábra: A BCU Lite 2 csapadékmérő berendezés a helyszínen (Pázmánd)

A BCU Lite 2 ([124]*Boreas*, *2003*) típusú csapadékmérő berendezésünket (*27. ábra*) a mintaterülettől keletre 2,9 km távolságra helyeztük el egy kertben. A berendezésnek igen nagy értékű, ezért nem mertük a terepen hagyni, mert a folyamatos őrzését ott nem tudtuk megoldani és a korábbi műszeres mérések igen rossz tapasztalatokat adtak. A csapadékmérő egyszeri feltöltéssel 3 hónapon keresztül rögzítette az összes csapadékeseményt, mivel a gép memóriája körülbelül ennyi időre elegendő. Az adatokat kéthavi rendszerességgel olvastuk le laptop segítségével a helyszínen, mivel Windows kompatibilis letöltő program tartozik hozzá. A rendszer 2000-4000 mérésnyi tárolókapacitásra képes. A berendezés folyamatosan működött, így nagyon jól elkülöníthető a mérési eredményekben, bármilyen nagyobb intenzitású csapadék a többi csapadékeseménytől.

A csapadékeseményeket txt formátumban kaptuk meg (*28. ábra*), 10 perces intenzitásokra bontva. (csapadék összeg 10 perc alatt).

2005.09.10. 17:06	Csapadék	0.2mm 70.0perc	70.0perc
2005.09.10. 17:16	Csapadék	0.2mm 10.0perc	10.0perc
2005.09.10. 17:26	Csapadék	0.1mm 10.0perc	10.0perc
2005.09.11. 03:21	Csapadék	0.1mm 78.0perc	78.0perc

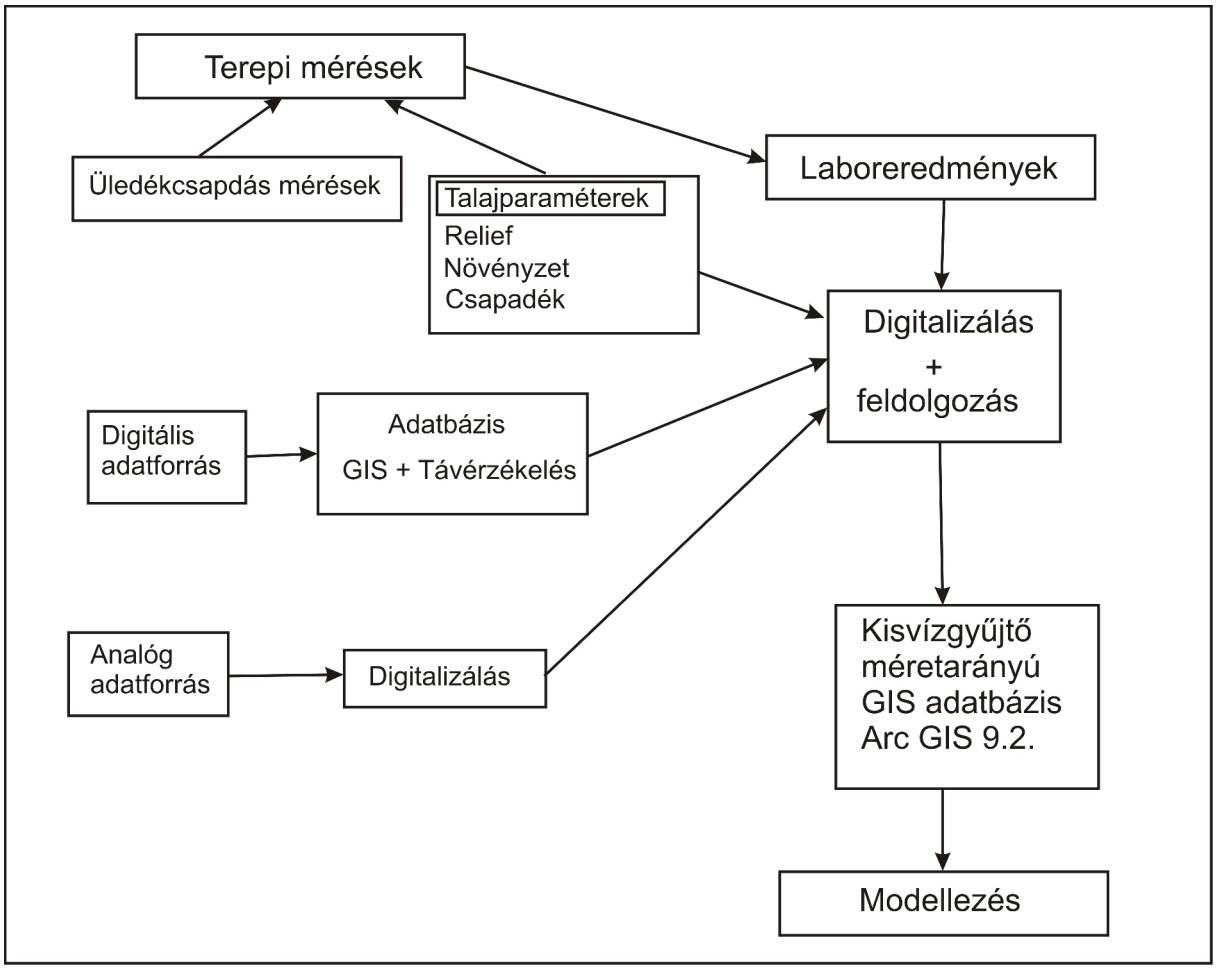
28. ábra A csapadékmérő által megadott .txt file

Az adatokat Excel táblázatban tovább kezelve csv formátumban lehet bevinni a modellbe.

A csapadékadatokat 2004-től mértük saját ombográfiai berendezéssel, ezért a 2004 előtti csapadékadatokat az illetékes Vízügyi Igazgatóságtól szereztük meg előzetes leválogatás alapján.

6.8. Adatfeldolgozás

A mintavételi pontokat GPS-szel bemértük és a laborvizsgálat után, az eredményeket digitálisan rögzítettem. A digitális feldolgozást ArcGis 9.2-es rendszerben végeztem *(29. ábra)*. Minden egyes paraméterre elkészítettem a területre jellemző digitális térképeket. A területhasználat vektoros formátumban, a talajminták adatait, pedig raszteres formátumban dolgoztam fel.



29. ábra A terepen mért adatok feldolgozásának folyamata

7. EREDMÉNYEK

A terepi felvételezéseket követően bizonyos paraméterek értékeit rögtön a helyszínen meg tudtuk állapítani, más paraméterek értékeit pedig a talajminták laborban való vizsgálatai után kaptuk meg.

7.1. Eredmények terepen

Ebbe a csoportba tartozik a modell bemeneti paraméterei közül a talajkohézió, felszínfedettség.

A talajkohézió mérését az eszköz használata miatt csak a terepen lehet elvégezni. A mérési eredmények a talaj felső 10 cm-re vonatkoznak. A mérések eredményei a modellhez mellékelt Paraméterkatalógus adataival összehasonlítva az eltérés 10% alatt van. Tulajdonképpen megegyeznek a paraméterkatalógus adataival. Ami teljesen új adatként került be, az a szőlőültetvényhez tartozó értékek. Érdekes, hogy a szőlőültetvények értékeiben nem találunk hónapos változásokat, mint a szántóföldi műveléshez tartozó értékeknél. Ez a talajműveléssel járó nagy munkagépek ritkább használatával magyarázható. Ehhez hasonló művelési ágak közül, csak a gyümölcsöskert szerepel a németországi fejlesztésben. Az adatok összehasonlítását a 7. *táblázat* mutatja.

Paraméter katalógus			**Cibulka-vízgyűjtő**
Szántó	*Búza*	0,006 N/m^2	0,005 N/m^2
	Kukorica	0,0023 N/m^2	0,0038 N/m^2
	Parlag (ugar)	0,005 N/m^2	-
Egyéb területhasználat	*Szőlő*	-	0,0025 N/m^2
	Legelő	-	0,003 N/m^2
	Földút	-	0,0007 N/m^2

7. *táblázat: A Cibulka-vízgyűjtőn mért talajkohézió értékek összehasonlítása a Paraméterkatalógusban megadott értékekkel agyagos vályog, vályog (Lu) fizikai talajtípusokra május hónapban*

A felszínfedettség változását is több hónapos mérési sorozat eredményeképpen kaptuk meg a különböző termesztett növényekre. Az értékek igen nagy eltérést mutatnak a németországi adatokhoz képest. Magyarországon a búza, kukorica, lucerna és egyéb takarmánynövények akár 1 hónappal hamarabb elérik a 100%-os értéket. Ez a kedvezőbb éghajlati viszonyokkal magyarázható. A szőlőültetvények értéke a Paraméterkatalógus gyümölcsöskertre vonatkozó

adatival összevetve (*8. táblázat*) látszik, hogy sokkal alacsonyabb értéket adnak. A szőlősorok között gyepsávok vannak, de a szőlősorok alatt nyílt, gyommentes, laza talajfelszín van. A mérés során a gyepsor és a szőlősor átlagát vettük (*5.sz. melléklet*).

Felszínfedettség(%)	*Március*	*Április*	*Május*	*Június*	*Július*	*Augusztus*
Gyümölcskert (PK.)	*90*	*90*	*90*	*90*	*90*	*90*
Szőlőültetvény	*0*	*36*	*36*	*43*	*52*	*52*

8. táblázat: A szőlőültetvény mért felszínfedettségi értékeinek és a Paraméterkatalogus értékeinek összehasonlítása tavaszi, nyári időszakban (2004-es mérés)
PK. – Paraméterkatalógus

7.2. Laborvizsgálati eredmények

A laborban a különböző időpontokra vonatkozó talajnedvesség, térfogattömeg, tömeg, szervesanyagtartalom, Arany-féle kötöttségi index és mechanikai összetétel vizsgálatokat végeztük. A talajok a talajszelvény feltárásából származó minták kivételével, a talaj felső 10 cm-rére vonatkoznak.

Térfogattömeg: az eredmények eltérést mutatnak a Paraméterkatalógus adatihoz képest. Magasabb értékeket kaptunk a szántóföldi termelés alatt álló területeken, de a legelőkre alacsonyabb érték jött ki. A szőlőültetvények adatai új értékként kerültek a rendszerbe. A Paraméterkatalógusban a szőlőültetvénynek leginkább megfelelő gyümölcsfasor, gyepsávval területhasználati típus értéke alatta van a szőlőültetvényének. Ami lényeges eltérés, hogy a földutakon vett minták kisebb térfogattömeget mutatnak, mint a németországi mérések.

A kukorica, búza, repce tekintetében magasabb értéket kaptunk (9. *táblázat).*

Paraméter katalógus adatai			**Cibulka-vízgyűjtő adatai**
Szántó	*Búza*	1490 kg/m^3	1540 kg/m^3
	Kukorica	1320 kg/m^3	1430 kg/m^3
	Repce	-	1560 kg/m^3
	Parlag (ugar)	1550 kg/m^3	-
Egyéb területhasználat	*Szőlő*	1100 kg/m^3	1400 kg/m^3
	Legelő	1300 kg/m^3	1410 kg/m^3
	Földút	1800 kg/m^3	1635 kg/m^3

9. táblázat: A térfogattömeg mért értékeinek és a Paraméterkatalógusban megadott értékeinek összehasonlítása a Cibulka-vízgyűjtőn az agyagos vályog, vályog (Lu) talajtípusokra május hónapban

A terepi minták laborvizsgálati eredményeit a *2. sz. melléklet* tartalmazza.

Talajnedvesség: minden talajmintavétel során meghatároztuk laborban a talajnedvességet térfogatszázalékban. A Paraméterkatalógus a területre jellemző fizikai talajtípusra a nagyon

száraz időszakra 17 v %-os talajnedvességet ad meg. A mintavételezések során, azonban kiderült, hogy a magyarországi területeken ez kora nyári, nyári hónapokban sokkal kevesebb. Száraz időszakokban (minimum 4 csapadékmentes nap után) a talajnedvesség akár a 11v%-ot is elérheti a vályogtalajoknál a vízgyűjtőn. A katalógus és a terepen mért értékek közötti eltérést a *10. táblázat* mutatja. A terepen mért értékeket a *3. sz. melléklet* tartalmazza.

Vályogos (Lu) fizikai talajtípusra				
Paraméterkatalógus		**Cibulka – vízgyűjtő**		
Száraz állapot (v%)	*Nedves állapot (v%)*	*Mintavétel időpontja*	*Száraz állapot (v %)*	*Nedves állapot (v%)*
17	45	*2000.06.16-19.*	4,78 – 15,18	36,8 – 41,2
		2005.06.03.	13,8	-
		2007.03.28.	27,6	
		2007.05.24.	18,9	

10. táblázat: A terepen mért kezdeti talajnedvesség értékek és a Paraméterkatalógus által megadott értéke összehasonlítása a vályog (Lu) fizikai talajtípusra

Szervesanyagtartalom: az átlagminták laborvizsgálati eredménye nagyon jól egyezett a Paraméterkatalógus adataival. A szervesanyagtartalom a mintaterületre 1,7 %, a Paraméterkatalógus is 1,7 % értéket tartalmaz.

Az üledék tömeg mérése az üledékcsapdák ürítése során volt fontos a távozó talajmennyiség mérése szempontjából. A nagy üledékcsapdák csapadékesemény utáni ürítésénél a kiszedett üledéket hordóban vagy nagy erős műanyagzsákban szállítottuk a laborba. Ott szárítás után mértük digitális mérlegen az üledékmennyiség tömegét, amelynek eredményei a kalibrációs fejezetben olvashatók.

A mechanikai összetétel vizsgálatot az egész kisvízgyűjtőre és a két részvízgyűjtőre is elvégeztük. Az eredmények alapján a területen vályogtalajok dominálnak. A két részvízgyűjtő fizikai talajtípusa megegyezik az egész vízgyűjtőre jellemző talajtípussal.

A minták eredménye alapján a német nevezéktanba átsorolva tudtuk a vályogtalajokra jellemző paraméter értékeket leválogatni a Paraméterkatalógusból. (*11. táblázat)*

Nagyüzemi területhasználat (nagy parcellás művelési mód)			
Vályogtalaj - K_A (37-42)		***Lu (homok 17-30 t%; iszap50-65 t %; agyag 5-33 t %)***	
Május – Búza		***Május – Búza***	
Térfogattömeg (kg/m^3)	1490	*Térfogattömeg (kg/m^3)*	1540
Talajkohézió (N/m^2)	0,006	*Talajkohézió (N/m^2)*	0,005
Szervesanyagtartalom (%)	1,7	*Szervesanyagtartalom (%)*	1,7
Felszínfedettség (%)	60	*Felszínfedettség (%)*	99
Kezd. Talajnedvesség (v%)	17	*Kezd. Talajnedvesség (v%)*	9,1

11. táblázat: A terepen mért paraméter értékek összehasonlítása a Paraméterkatalógus értékeivel

A modellben az egész területet homogén fizikai talajtípusnak számoltam. Az összes minta átlagát számoltam, ami alapján a német nevezéktan a Silty Loam fizikai talajtípust mutatja. Ennek szemcseösszetétele a következő: 17-30 tömeg % az agyagfrakció; 50-65 tömeg % az iszapfrakció; 5-33 tömeg % a homokfrakció. Ezek már az USDA skálából átszámolt értékek.

Az Arany-féle kötöttségi index meghatározást *(4. sz. melléklet)* a kisvízgyűjtőre a fizikai talajtípus meghatározáshoz mintegy megerősítésként használtuk. Az eróziónak ellenálló területek kötöttségi indexe általában magasabb értéket mutat, amit a veszélyeztetettségi térkép előállításánál felhasználtam. Az egész területre vonatkoztatva az átlagértéke az indexnek: 42,2, ami az agyagos vályog és a vályog határvonala. Ennek a típusnak a szemcseösszetétele a háromszög diagramm alapján az agyagra 0-30%; az iszapra 50-70%; a homokra pedig 0-20 %-ig terjed. Ez megfelel a német nevezéktanban beazonosított talajtípusnak a (Silty Loam).

A terepen mért eredmények tehát a bemeneti paraméterek nagy részénél eltér az eredeti, Paraméterkatalógus által megadott értékektől. A terepi és laborvizsgálati eredményekből összeállítottam a magyarországi viszonyokra vonatkozó Paraméterkatalógus kiegészítését (*5. sz. melléklet*).

7.3. Az üledékcsapdás mérések eredményei

Az 1.sz. és 2. sz. részvízgyűjtőn kihelyezett üledékcsapdákat rendszeresen minden nagy intenzitású csapadékesemény után rögtön ellenőriztük. A 3 éves mérési periódus alatt több sikertelen és sikeres mérés is volt (*6. sz. melléklet*). Sajnos a mérések során többször fordult elő, hogy a csapadékesemény által kiváltott üledéklehordódás nagyobb volumenű volt, mint a mérésre használt üledékcsapda. Ilyen esetek többnyire a szőlőültetvényben fordultak

elő. A kisebb üledékcsapdákban ritkán volt tapasztalható üledék felhalmozódás, szinte kizárólag csak a nagy zivatarok során.

7.4. A mintavételi eredmények adatbázisba foglalása

A mintavételek, illetve az adatgyűjtések eredményeit egy digitális adatbázisban rendszereztem, amely az alapját adja a későbbi modellezési folyamatoknak.

Az adatbázis időbeli érvényessége 1998-től 2007-ig terjed, területi érvényessége pedig a Cibulka – vízgyűjtő kiterjedését foglalja magába.

Az adatok térinformatikai adatbázisban kerültek tárolásra. A területhasználati adatok évenkénti lebontásban tároltam a digitális térképeken. A területhasználati térképekhez kapcsoltam a talajtani mintavételekből származó, laboros feldolgozás eredményeit. Így a modellezés alapjául egy olyan komplex adatbázist kaptam, amely tartalmazza az összes adatot digitálisan, térbeli kiterjedésükkel a talajra, területhasználatra vonatkozóan, évenkénti felbontásban.

8. A KALIBRÁCIÓ

8.1. A kalibráció lépései

A kalibráció menetét a következő lépésekben határoztam meg:

I. Érzékenységi vizsgálat az érintett csapadékeseményekre, hogy megállapítsuk melyek azok a paraméterek, amelyek már kis változással is befolyásolják az eredményt.

II. A terepen mért paraméterekkel történt szimulációk után összehasonlítani a mért és modellezet értékeket. Meghatározni mekkora az eltérés.

III. Az érzékeny paraméterekre megadni egy úgynevezett kalibrációs táblázatot vagy nomogrammot, amely használatával a magyarországi viszonyok között lehet használni megadott biztonsággal-tűréshatárral a modellt.

IV. A kidolgozott nomogrammot leellenőrizni másik területen (3.sz , 4.sz. részkisvízgyűjtő). A validálás folyamata során egy már ismert méréssorozathoz fogom viszonyítani a szimuláció eredményeit.

V. A nomogrammokból és táblázatokból, illetve a mért bementi adatokból (paraméter értékekből) Magyar Paraméterkatalógus készítése.

Az eredmény egy kiegészítés lesz a modellhez kapcsolva, amellyel a homokos vályog és vályogtalajokon (cserjoznom és barna erdő talajtípusok) lévő területhasználatokat lehet majd modellezni, amit speciálisan magyar viszonyokra lehet alkalmazni. Teljesen új fejlesztés lesz a modellben a szőlőültetvényre vonatkozó kalibrált paraméterkatalógus adatok.

8.2. Érzékenységi teszt

A továbblépéshez feltétlen szükséges érzékenységi vizsgálat ([125]*Quinton, 1997*) során arra voltam kíváncsi, hogy melyek azok a paraméterek, amelyek kis mértékű változása kihat a kimeneti paraméterek értékére. A vizsgálat módszere ([126]*Barta, 2004*), hogy a bemenetei paraméterek értékeit +10 % - kal, illetve -10 %-kal változtatom, közben figyelem, hogy melyik változtatás okozott a kimeneti értékben 10 %-nál nagyobb eltérést. Az érzékenységi vizsgálathoz kiválasztottam 3 db csapadékeseményt.

A csapadékesemények a következők: 2005.07.11. (***CS1***), 2006.07.09. (***CS2***), 2006.09.19. (***CS3***). Egyszerre egy paramétert változtatok, a többi marad az eredeti értéken. A vizsgálat eredményét a *12. táblázat* tartalmazza (*7. sz. melléklet*).

	CS1		*CS2*		*CS3*	
Paraméterek	**-10%**	**+10%**	**-10%**	**+10%**	**-10%**	**+10%**
Felszín fedettség	+ 3,3%	- 0,55 %	+ 9,5 %	- 4,8%	0%	- 9,5 %
Térfogattömeg	***- 100%***	***+ 285 %***	***- 100 %***	***+ 868 %***	***-100%***	***+ 253%***
Talajkohézió	+21 %	- 0,6 %	+13 %	- 8,7 %	+ 16%	- 8,5 %
Szervesanyag	+ 0,1 %	- 0,1 %	+ 0,1 %	- 0,1 %	+ 0,1 %	- 0,1 %
Kezdeti talajnedv.	***- 100%***	***+ 285%***	***- 100%***	***+1373 %***	**-**	**-**
Manning féle n	+ 6,1%	- 7,1%	+ 8,3 %	- 4,8 %	0%	0%

12. táblázat:Az érzékenységi teszt eredményei

A táblázatban található % - os értékek a szimulációk eredményében bekövetkezett %-os változást mutatják az eredeti eredményekhez (CS1, CS2, CS3) képest.

A vizsgálat eredménye alapján 3 paraméterre igen érzékeny a modell. A talajkohézió paraméternél volt még nagyobb eltérés, de ezek átlaga 11,3 %. Nagyon közeli érték a 10 % - hoz, ezért a továbbiakban a másik 3 paraméterre koncentrálok. A kezdeti talajnedvesség és a térfogattömeg változására reagált a modell nagyon érzékenyen, igen nagy eltérést mutatva az eredeti értékhez képest. A kezdeti talajnedvesség és a korrekciós faktor két egymással szorosan összefüggő egymásra ható paraméter. A kezdeti talajnedvesség alapján kell megadni a korrekciós faktort, amit a többi paraméter függvényében számol a modell és módosítja a beszivárgást.

A térfogattömeg hatása azzal magyarázható, hogy a 10 % - os eltérés igen nagy értéknek felel meg, mert az értékváltoztatás, a modellezések során, ennél a paraméternél általában maximum 6 %. Egy termesztési ciklus alatt pl.: búza esetében átlagosan az eltérés 5,5 %, a térfogattömeg értékeiben. A változás tehát 10% - os eltérésnél túl nagy ezért 5 %- os változtatást is megvizsgáltam, ahol az eltérés az eredményben növelés esetén + 207%, csökkenés esetében -100%, vagyis 0 t/ha – os eredmény.

A 3 érzékeny paraméter egymással is szoros összefüggésben van, illetve a többi paraméterrel is. De ezen 3 paraméter értékeinek a változása nagyban befolyásolja a kimeneti értékeket. Mindhárom paraméter magas bemeneti értéke nagy eróziós rátát produkál, együttesen is, illetve külön-külön is. A nagy térfogattömeg miatt kicsi a beszivárgás, ezért nagy lesz a felszíni lefolyás. Nagy kezdeti talajnedvesség (telített a talaj pórustere nedvességgel) miatt is kicsi lesz a beszivárgás, ezáltal növelve a felszíni lefolyást. Amennyiben a kezdeti talajnedvesség és a tömörödöttség is nagy, akkor keletkeznek az extrém eróziós események. A nagy eróziós folyamatokat is általában több napos beáztatás előzi meg vagy hidegebb periódus a két csapadékesemény között, ami csökkenti a talajnedvesség elpárolgását, felszívódását.

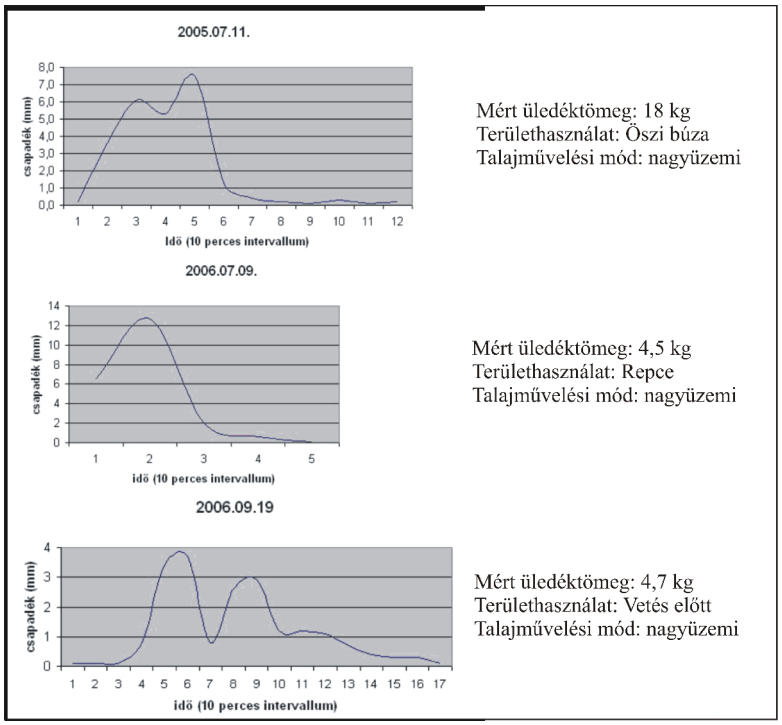
A modellhez mellékelt Paraméterkatalógusban megadott érzékenységi adatok alapján a kezdeti talajnedvesség az érzékeny paraméter a modellben. Ennek a paraméternek az értékváltozásaihoz igazítja a többi paraméter értékeit.

Azonban az érzékenységi teszt alapján a térfogattömeg is igen nagy változást idézett elő a kimeneti értékekben, ezért nem lehet a további vizsgálatok során figyelmen kívül hagyni. Ezért soroltam az érzékeny paraméterek közé, holott a modell készítői nem sorolták ide.

A komplett érzékenységi vizsgálat eredménye, hogy a legérzékenyebb paraméterek a kezdeti talajnedvesség és a korrekciós faktor, valamint a térfogattömeg.

8.3. Szimuláció a szántón (1. sz. részvízgyűjtő)

A C-6-os számú szántóparcella DK-i csücskében bemért részvízgyűjtőn végzett mérések során 3 sikeres természetes erózióval járó mérést sikerült elvégezni (*30/a. ábra*). A mérhető erózióval járó csapadék 2 esetben nyár elején volt, egy pedig nyár végén kora ősszel.



30/a. ábra: Sikeres mérések eredményei az 1.sz. . részvízgyűjtőn

2005.07.11. (továbbiakban: ***CS1***): A csapadékesemény előtt 10 napig nem volt számottevő csapadék és a talajminták alapján, a kezdeti talajnedvesség igen alacsony volt (18-19 %). A csapadékesemény első 10 percben elért 6-8 mm/h intenzitása 50 percen keresztül tartott, majd az utolsó 60 percben erőteljesen visszaesett, majdhogynem elhanyagolható volt (1-2 mm/h). Ez a csapadékesemény adta a legnagyobb eróziós rátát (*30/a. ábra*). Ha megnézzük a

csapadék első fele volt a nagy intenzitású, amikor a talajnedvesség igen alacsony volt, az eróziós ráta mégis igen nagy. Az üledékcsapdában felhalmozódott talajtömeg **18 kg** volt.

2006.07.09. (***CS2***): Ez a csapadékesemény maximum 50 percig tartott, de a maximális intenzitása elérte a 12,7 mm/h-t, igaz ez kb 5-10 percig tarthatott. Az esemény előtt az utolsó számottevő csapadék 2006.06.29-én volt, ami ráadásul egy igen alacsony intenzitású eső. A kezdeti talajnedvesség ebben az esetben is igen alacsony volt a talajban. A csapadék eróziót okozó részének időtartama 25 perc, ezután erőteljes visszaesés volt. Az ***CS1*** –hez képest rövidebb volt a magasabb intenzitású rész. A mért lehordott üledéktömeg **4,5 kg** volt.

2006.09.19. (***CS3***): Ez a csapadékesemény intenzitását tekintve sokkal nyugodtabb, mint az első kettő, az első 40 perc beáztató jellegű volt (1-3 mm/h), utána következett egy 60 perces viszonylag egyenletes intenzitású (3-5mm/h) szakasz. A mérhető lehordott üledéktömeg nagyságának (**4,7 kg**) oka a magasabb kezdeti talajnedvesség (29-32%) és 0%-os felszínfedettségben kereshető.

2007.05.05.***(CS4)***: A csapadékesemény az időtartamát tekintve igen hosszú, közel 3 óra. A 230 percből az első 130 percben 3 mm/h alatt volt az intenzitás, amely egy igen hosszú beáztató szakasznak tekinthető. Az áztató rész után egy 4 mm/h maximális intenzitással jellemezhető 20 perces szakasz következik. A mért lehordott üledéktömeg: **3 kg.**

A terepi és laboratóriumi vizsgálatok alapján a 3 csapadékeseményre a modell bemeneti paramétereinek az értekeit a *13. táblázatban* foglaltam össze.

	CS1	***CS2***	***CS3***
Talajkohézió (N/m^2)	0,007	0,008	0,007
Manning-féle n	0,1	0,1	0,023
Térfogattömeg (kg/m^3)	1480	1520	1520
Kezdeti talajnedvesség (v%)	18	17-18	29
Felszíni fedettség (%)	93	100	0
Szervesanyagtartalom (%)	1,7	1,7	1,7
Korrekciós faktor	0,45	-	8,5

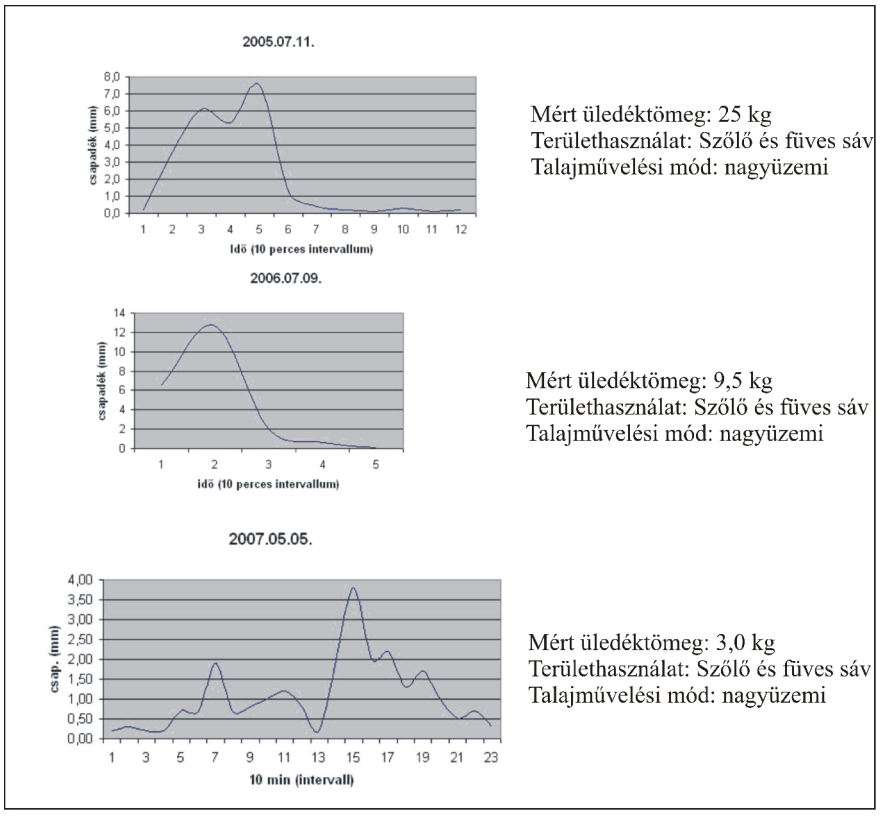
13. táblázat: A modell bemeneti paramétereinek terepi és laborvizsgálati eredményein alapuló értékei szántón búzára vonatkoztatva

A mért nettó erózió ***CS1*** - nél 18 kg üledék, amelyhez sikerült 18,6 kg –os lehordódott talajtömeget modellezni. A ***CS3*** során a szimuláció 5,25 –szörös túlbecslést hozott, amely értéke, a későbbi kísérleti szimulációk során kiderült, 0 % - os felszín fedettségi értéknél fordulhat elő.

A korrekciós faktor értékét ennél a szimulációnál a Paraméterkatalógus alapján választottam ki. A korrekciós faktor értéke azonban a későbbi szimulációk során kiderül, hogy eltér a Paraméterkatalógus adataitól.

8.4. Szimuláció a szőlőn (2. sz. részvízgyűjtő)

A szőlőparcellán mért eróziós szimulációt már a másik parcellára szimulált eredmények ismereteinek tükrében végeztem (*30 /b. ábra*).



30/b. ábra: Sikeres mérések eredményei a 2. sz. részvízgyűjtőn

A különbség a szántón végzett szimulációhoz, a bemeneti paraméterekben található. A szántóra vonatkozó input adatok értékei, közeliek az eredeti Paraméterkatalógusban megadott adatokhoz. A szőlő, mint területhasználati típus nincs megadva a katalógusban, tehát minden bemeneti adatot mérni kellett (*14. táblázat*).

	CS1	***CS2***	***CS4***
Talajkohézió (N/m^2)	0,0025	0,0025	0,0025
Manning-féle n	0,16	0,16	0,16
Térfogattömeg (kg/m^3)	1400	1400	1400
Kezdeti talajnedvesség (v%)	23	17-18	29
Felszíni fedettség (%)	90	90	90
Szervesanyagtartalom (%)	1,7	1,7	1,7
Korrekciós faktor	0,7	-	-

14. táblázat: A kalibrációs csapadékesemények bemeneti paramétereinek értékei szőlőültetvényre

A három csapadékesemény során ugyanazokat az értékeket használtam, mert több különböző időpontban vett minta alapján is ugyanazokat az eredményeket kaptam. A térfogattömeg, szervesanyagtartalom, illetve a felszínfedettség is igen kicsi eltérést mutatott. Ezek az értékek áprilistól szeptemberig érvényesek. A felszín fedettségi értékeket a szőlősorok és a köztes füves sávok átlagértékeiből számoltam. A talajkohéziós, térfogattömeg adatok is átlagadatok (füves sáv és szőlősor). Érdekes, hogy a térfogattömeg adatok az egész év során alig mutatnak ingadozást, a szántóval ellentétben. Ez valószínűleg a művelés eltérő jellegéből adódik, mivel a szőlőültetvényeken sokkal ritkábban járnak mezőgazdasági gépekkel. Tulajdonképpen csak a permetezés és a szüret ideje alatt. Egy minta átlagát 3 fajta minta adta ki:

1.) Szőlősor (a szőlőtőke alatti fedetlen sáv),
2.) Füves sáv – traktornyom,
3.) Füves sáv – traktornyom közötti terület.

Eredményként 10%-os pontossággal sikerült modellezni a mért eróziós rátát! 25kg üledékre 26, 2 kg üledéket szimuláltam. A nettó erózió mértéke is ennek megfelelő. 0,022 t/ha mért rátához 0,025 t/ha szimulált érték tartozik.

8.5. Érzékeny paraméterek kalibrálása

Az eddig elvégzett szimulációk során a következő megállapításokra jutottam:

Állandó kezdeti talajnedvesség mellett növelve a korrekciós faktort csökken a nettó erózió értéke, vagyis növeli a beszivárgás értékét. Viszont eltérő kezdeti talajnedvesség értékekhez

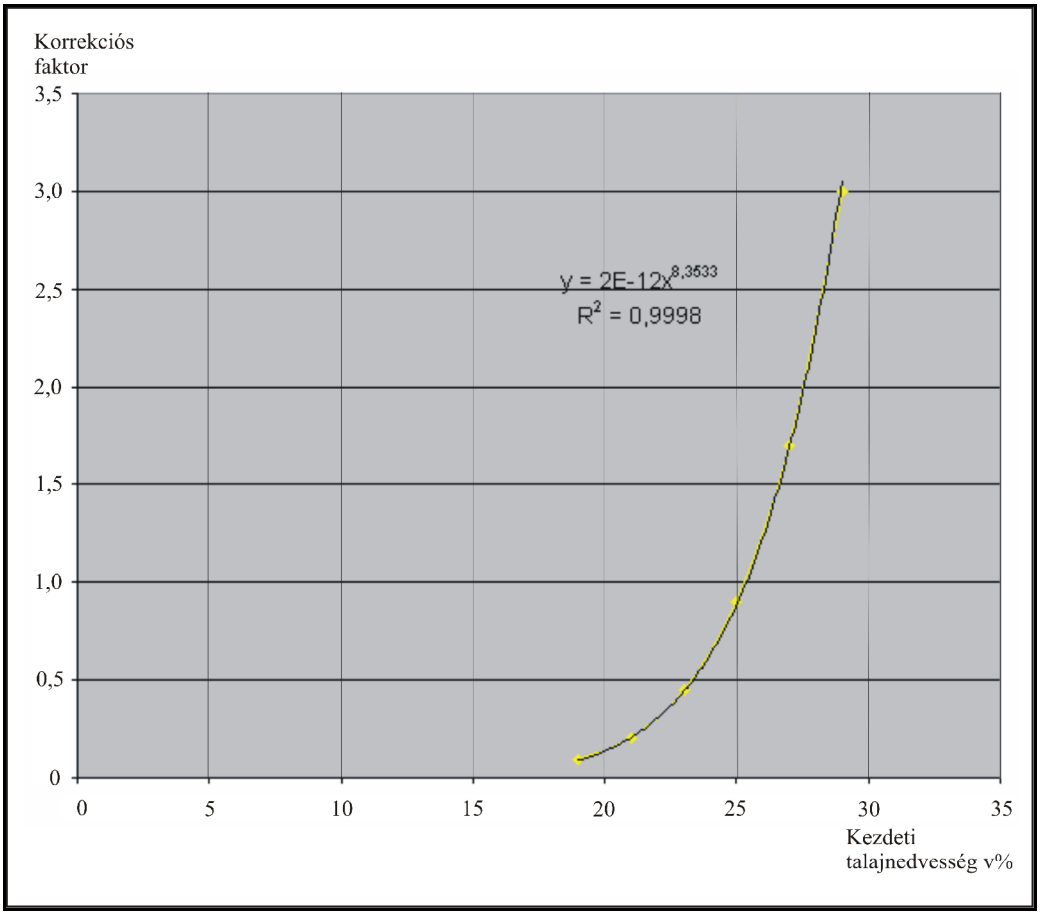
eltérő korrekciós faktorok tartoznak. 2 szinten lehet korrigálni a korrekciós faktorral. Minél magasabb a kezdeti talajnedvesség, annál magasabb lesz a korrekciós faktor is, csökkentve a beszivárgást is.

Ahhoz, hogy meghatározzam milyen összefüggés alapján változik a korrekciós fakor, a kezdeti talajnedvesség függvényében a következő módszert alkalmaztam:

A három mérési eredménnyel rendelkező csapadékeseményre futattam a modellt úgy, hogy mindig ugyanannyival változtattam a kezdeti talajnedvesség értékét, figyelve, hogy milyen korrekciós faktor adja ugyanazt az ismert kimeneti értéket.

Az ***CS1*** - ra kezdeti talajnedvesség értékeket 2%-al növelve meghatároztam az összes korrekciós faktort, feltárva a két paraméter közötti összefüggést. Mindig ugyanazt az eredményt igyekeztem elérni a változó kezdeti talajnedvességgel és korrekciós faktorral. Az eredmény (nettó erózió; t/ha) minden szimuláció esetében az eredeti eredménytől maximum 3 %-kal tért el. A kapott korrekciós faktor sorozatra illesztettem függvényt. Ennek az első lépésnek az eredménye a 31. ábrán látható, ahol ***Y*** a korrekciós faktor, az ***x*** pedig a kezdeti talajnedvesség értéke (*31. ábra*)(R^2 = 0,9998). Ez a függvény azonban változik a térfogattömeg változásával. Tehát ez a kiindulási függvény. A kalibrálás eddigi részében végig adott térfogattömeg (1480 kg/m^3) és felszínfedettség értékkel (93%) szimuláltam. A kezdeti talajnedvességhez a szántóföldi vízkapacitás közelében (37 – 40 térfogat %) már igen magas korrekciós faktor értékek tartoznak. A szimuláció során az eredmények itt mutatták a legnagyobb eltéréseket (20 -30%).

A függvények meghatározásánál éppen ezért az értékpárokat a 37 térfogat %-ig használtam. Ez a szántóföldi vízkapacitás körüli érték. Ennél az értéknél nedvességgel telített a talajunk. Mivel a térfogattömeg érték változásaira érzékenyen reagált a modell, ezért valószínű, hogy a függvény is változik a térfogattömeg és a felszínfedettség változásával. A kalibrálás következő lépése a már ismert függvény tovább finomítása a térfogattömeg függvényében.



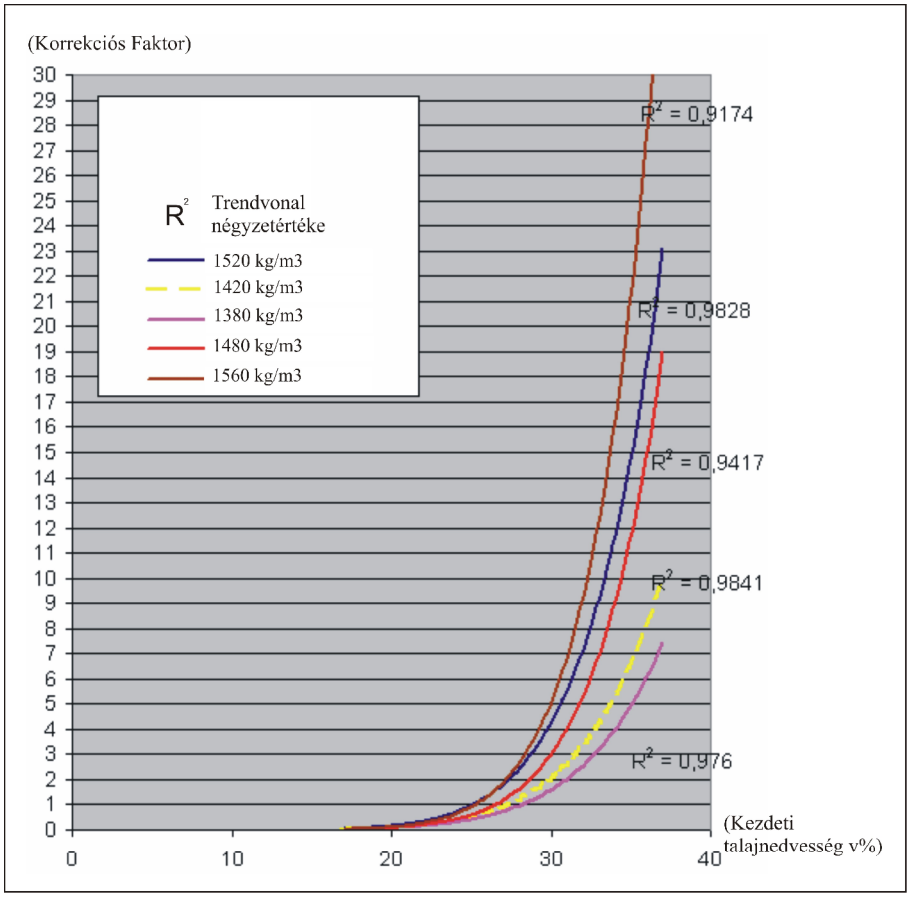
31. ábra: A kezdeti talajnedvesség és a korrekciós faktor függvénykapcsolata az E3D modellben

Az eddigi eredményeket tovább vizsgálva, végig futtattam a modellt több különböző térfogattömeg értékre, a kezdeti talajnedvesség és a korrekciós faktor függvényében.

A kalibrációs szimulációk során a térfogattömeg két szélsőértékét a vízgyűjtőn előforduló értékekhez igazítottam. Legkisebb a legelő – 1380 kg/m^3, a legnagyobb a földút - 1560 kg/m^3. A két szélsőérték között 40 kg/m^3-rel növeltem az értékeket. Minden egyes növelt értékhez újra lefutattam a modellt a 2%-kal növelt kezdeti talajnedvesség értékekkel, meghatározva korrekciós faktorokat.

Hasonlóan az előző lépéshez 6 értékre futtattam a modellt még mindig 93%-os felszínfedettséggel. A vizsgálat eredményeképpen kaptam a következő függvényeket. (*32. ábra*) Az ábrán jól látszik az összefüggés, a korrekciós faktort, hogyan kell változtatni a térfogattömeg változásával. Növekvő térfogattömeg megnehezíti a beszivárgást, mert tömöttebb a talaj. Minél lassabb, nehezebb a beszivárgás annál magasabb a szimuláció során hozzárendelt korrekciós faktor. A kezdeti talajnedvesség növekedésével növekszik a korrekciós faktor is, mert egyre kevesebb nedvesség szivároghat be. Átlagosan 40 % kezdeti talajnedvesség felett (túltelített-szántóföldi vízkapacitás felett) a korrekciós faktor hiába

növekszik, nem korrigálja a kimeneti értéket, attól függetlenül, hogy az tovább növekszik. A térfogattömeg növekedésével a kezdeti talajnedvességhez rendelhető korrekciós faktor exponenciálisan növekszik. Ugyanakkor a kalibrációs vizsgálat ezen része rámutatott a modell felhasználhatóságának két szélső értékére. A kezdeti talajnedvesség legnagyobb értéke 37 térfogat %. Ennél nagyobb értéknél már a korrekciós faktor nem okoz változást az eredmény értékében (vagy olyan nagy, hogy nem sikerült meghatározni). Alsó határnak a 13-15 térfogat % -ot jelölhetjük meg.



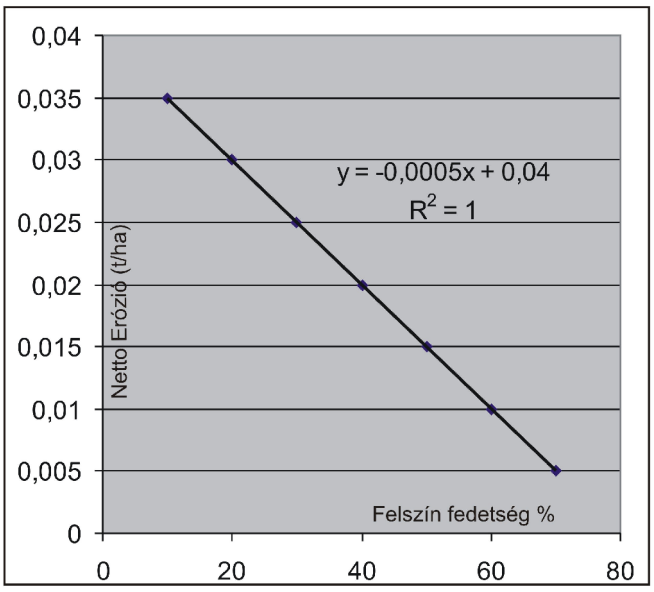
32. ábra: A korrekciós faktor változása a kezdeti talajnedvesség és térfogattömeg függvényében az E3D modellben

A *32. ábrán* látható diagrammon ábrázolt függvényekről már leolvasható, hogy a 93 % - os felszín fedettség mellett a különböző talajnedvesség értékekhez a térfogattömeg függvényében milyen korrekciós faktort kell használnunk, hogy jó eredményt kapjunk. Fontos, hogy a kalibrálásnak ennél a lépésénél is az eredmények egymáshoz viszonyított eltérése mindig 10 %-on belül volt. Az érzékenységi teszt során használt határértéket vettem figyelembe, vagyis addig folytattam a szimulációt, amíg a kimeneti érték az eredetihez képest 10%-os eltérésen belül van. Tehát ez a diagramm már tartalmazza azokat a korrekciós

faktorokat, amelyek a kezdeti talajnedvesség és a térfogattömeg vonatkozásában is kalibrálva vannak a szántóra.

A vízgyűjtő területén az eltérő növények termesztése miatt a felszínfedettség nagy inhomogenitást mutat, amíg a többi a paraméter ehhez képest homogén a talajtípusok miatt. A felszínfedettség ezért befolyásolhatja az erózió mértékét a területen.

A nettó erózió értéke függ a felszín fedettség változásától is. A nettó erózió változása és a felszínfedettség között egyenes arányosság van. A felszínfedettséget 10 % - al változtatva mindig ugyanakkora értékkel növekedett a nettó erózió **($y = -0{,}0005x + 0{,}04$; $R^2=1$)**. Ennél a szimulációnál csak a felszín fedettséget változtattam, a korrekciós faktor ugyanazon az értéken maradt. Ez azonban csak egy adott kezdeti talajnedvesség értékhez tartozó kapcsolatot mutatja. A felszínfedettség hatását meg kell vizsgálni a változó talajnedvesség és térfogattömeg függvényében. (*33. ábra*).



33. ábra: A felszín fedettség és a nettó erózió változása állandó talajnedvesség mellett

A felszínfedettséget változtatva lefutattam a modellt az előző részben megadott összes szimulációs esetre, vagyis a változó térfogattömeget és kezdeti talajnedvességet figyelembe véve. Ugyanazokat a bemeneti értékeket felhasználva, amelyeket a térfogattömeg görbék meghatározásánál alkalmaztam, elvégeztem a szimulációt különböző felszín fedettségi értékekre (10 % - os lépcsők). Az összes szimulációs lépcsőn, a futtatás során 60% - os fedettségi értéknél találtam egy úgynevezett határvonalat. A korrekciós faktor változtatásával a 60 % - os határig lehet ugyanazt az értéket szimulálni. A 60% - os határ alatt nem lehet

tovább korrigálni a kimeneti eredményt. Ettől a határtól csak növekvő eróziós rátát kaptam. Tehát a korrekciós faktor értékeinek változását eddig a határig lehet meghatározni.
60 % - os fedettségnél kisebb értéknél, a fentebb meghatározott összefüggés alapján fog alakulni az eredmény, hiába változtatjuk (növeljük) a 60 % - os fedettségi fokhoz tartozó korrekciós faktor értékét.
A következő, *8. sz. melléklet*ben elhelyezett táblázatból, minden térfogattömeg görbéhez tartozik egy táblázat, amelyből ki lehet választani a felszínfedettséghez és kezdeti talajnedvességhez tartozó korrekciós faktor értékét.

A korrekciós faktor meghatározásának lépései:
1.) Kiválasztom a térfogattömeg megfelelő értékét.
2.) Térfogattömeg értékhez tartozó táblázat/görbék közül kiválasztom az adott felszíni fedettségnek megfelelőt.
3.) Leolvasom/kiválasztom a kezdeti talajnedvességhez tartozó korrekciós faktort.
A táblázatok elkészítése után meghatároztam minden térfogattömeg függvényhez tartozó felszín fedettségi görbét.

A ***CS1*** alapján kiszámolt korrekciós faktor értékeket használtam a ***CS2*** –re, amelynél az eltérés 30 – 50 % között van. Sajnos a kezdeti talajnedvesség változásával a megfelelő korrekciós faktor értékének a táblázattól való eltérése viszonylag nagy a ***CS2*** esetében. Ennek okát a csapadékesemény különbségeiben véltem felfedezni, mert a ***CS1*** nyugodtabb lefolyású, mint a ***CS2***, ahol hirtelen nagy intenzitású eső kezd el esni. Nagyobb korrekciós faktorokat kell hozzárendelni a szimulációhoz, hogy a beszivárgást növelni tudjam.
Amennyiben a kalibráció során a meghatározott térfogat görbékhez tartozó fedettségi szinteknél az egyenletek segítségével tudom számolni a korrekciós faktorokat akkor a 3 paraméter közötti összefüggést definiáltam.
A kidolgozott korrekciós faktor táblázatot alkalmaztam a két másik részvízgyűjtőre, ahol korábbi eróziós mérésekből vannak eredmények *([127]Barta, 2004)*. Három csapadékeseményre tudtak hordalékgyűjtők segítségével mérni. Az eredmények a *15. táblázatban* láthatóak.

	1998.06.08.	**1998.06.12.**	**1998.06.27.**
Eső időtartama	2,1 óra	0,6 óra	1,9 óra
Csapadékmennyiség	28,9 mm	9,5 mm	21,3 mm

Átlagos intenzitás	10,2 mm/h	14,3 mm/h	11,3 mm/h
Legnagyobb intenzitás	55,2 mm/h	48 mm/h	31,8 mm/h
Eróziós ráta			
3.sz. részkisvízgyűjtő (1,8 ha)	---	1,09 t/ha	---
4.sz. részkisvízgyűjtő (1,3 ha)	2,37 t/ha	0,48 t/ha	---

15. táblázat: A 3. sz. és 4. sz. részvízgyűjtőn mért üledéklehordódások ([127]Barta, 2004)

A két mintaterületen végzett mérések ideje alatt kukoricát termeltek. Ennek paraméter értékei hasonlóak a búza paraméter értékeihez. A különbség a talajkohézió és a fedettségi input adatokban van (Talajkohézió - Kukorica: 0,004 N/m^2, búza: 0,007 N/m^2 - Fedettség, kukorica 60%, búza: 93%).

A szimulációk során a ***CS1***-re kidolgozott táblázat értékei alapján egyértelműen túlbecsli (akár 10-szeres túlbecslés) a nettó eróziót. Ha kisebbek a korrekciós faktor értékek, több idő van a beszivárgásra, mivel kisebb az intenzitás.

Az 1998.06.12-i eseményre a korrekciós faktor értékei jóval magasabbak. Ha összehasonlítom a 2005.07.11-i eseménnyel, feltűnő, hogy ’98-as esemény intenzitása majdnem kétszerese a ’05-nek és hiányzik egy 20-30 perces alacsonyabb intenzitású, úgynevezett beáztató szakasz az esemény elején. A ’98-as eseménynél hirtelen nagy intenzitással leeső csapadékról van szó. Ebben az esetben nincs idő a beszivárgásra, ezért becsli túl a modell alapesetben a nettó eróziót. A ’98.06.12-es esemény alapján kidolgoztam (az előző módszerrel) egy másik korrekciós faktor táblázatot.

Kettéválasztottam a csapadékeseményeket a kezdeti szakaszuk alapján. Amennyiben a csapadék beáztató szakasszal kezdődik akkor a ***CS1*** – re kidolgozott táblázatból (*8. sz. melléklet*), ha nagy intenzitású szakasszal kezdődő csapadékeseményről van szó, akkor a ’98.06.12-es alapján kialakított táblázatból (*9. sz. melléklet*) kell a korrekciós faktort hozzárendelni a szimulációhoz.

Ugyanez a logika érvényesül a szőlőültetvények esetében is. A különbség, hogy az ültetvények esetében a térfogattömeg nem változik a vízgyűjtőn belül. Egységesen 1400 kg/m^2 +,- 1-2%. Ez a fizikai talajféleségek viszonylagos homogenitásával magyarázható a területen. A fedettség is áprilistól szeptemberig kb 20%-os változást produkál. Ezek figyelembevételével alakítottam ki a szőlőültetvényekre vonatkozó táblázatokat (*10. sz. melléklet*).

A kalibrációs szimulációk menete annyiban különbözik a szántón elvégzett kalibrációhoz képest, hogy a térfogattömeg változását nem vettem figyelembe, mert elhanyagolható a mérések alapján.

A korrekciós faktort tehát 3 paraméter függvényében kell változtatni ahhoz, hogy minél reálisabb eredményt kapjunk. A táblázatot elsősorban a vályogos talajokon nagyüzemi módszerrel történő termelés esetén lehet majd használni. (cserjoznom talajokon-búza-kukorica-repce, illetve szőlő).

A fedettség esetében a 60%-os szintnél lévő határ miatt, a modellt elsősorban az áprilistól szeptemberig tartó időszakban lehet használni. Ennél kisebb értéknél figyelembe kell venni a modell túlbecslését, a korábbiakban meghatározott összefüggés alapján. Amennyiben a Paraméterkatalógus adatait használjuk magyarországi mintaterületen, a fedettségi értékeket 1 hónappal el kell tolni korábbra.

8.6. Validáció

A kidolgozott táblázatokat leellenőriztem. A 3-as és 4-es számú vízgyűjtőre a ’98.06.08-as csapadékeseményre volt mért érték. Erre alkalmaztam a táblázatot. Az 1.sz. vízgyűjtőre a 2006.07.09-es és a 2006.09.19-es csapadékeseményt választottam. A szőlő esetében pedig a 2006.07.09-es és 2007.05.05-ös csapadékeseményt. A 4-es számú vízgyűjtő esetében jún 8-i csapadékesemény eredménye 2,37 t/ha. A bementi paraméterek ugyanazok, mint a június 12-i csapadékeseménynél. A 60%-os fedettség mellett növelve a kezdeti talajnedvességet 21 térfogat % - tól a korrekciós faktor az elején kicsi eltérést mutat, egyedül a 33 térfogat %-os talajnedvességnél kellett nagy korrekciós faktort alkalmazni. A korrekciós faktor sorozatnál az eredmény átlagosan 22,4 %-os eltérést mutat (*16. táblázat*).

Kezdeti talajnedvesség	**23 v%**	**25 v%**	**27 v%**	**29 v%**	**31 v%**	**33 v%**
Korr. Faktor	7,25	15	29	44	50	115
Szim. Ered.	1,8 t/ha	1,62 t/ha	1,65 t/ha	1,9 t/ha	3,5 t/ha	2,25 t/ha
Mért Ered.	2,37 t/ha	2,37 t/ha	2,37 t/ha	2,37 t/ha	2,37 t/ha	2,37 t/ha
Eltérés	- 25%	- 32%	- 31%	- 20%	+ 47%	- 5%

16. táblázat: Az 1998.06.08. csapadékesemény validálásának eredményei

A validáció alapján a kialakított táblázat kis eltéréssel alkalmazható. Számolni kell, hogy az eredményt 23 % -os tévedéssel kapjuk meg. A modell alulbecsli a hordaléktömeget az alacsonyabb talajnedvességeknél. A magasabb kezdeti talajnedvesség értékeknél már közelebbi értékeket ad, ezért a korrekciós faktor táblázatot átalakítottam a sztochasztikus modellekre jellemző módon. A táblázat értékeit intervallumokra adom meg. A 3 esemény alapján (+),(-) 14%-os eltérési határértékkel számoltam a korrekciós faktorokat illetően (*9. sz. melléklet*). A legnagyobb eltérés 32 % - os különbséget okozott az eredmény tekintetében. A csapadékintenzitást figyelembe véve érdemes a korrekciós faktort kiválasztani.

8.7. Összegzés

A kalibráció során a vízgyűjtőn begyűjtött minták alapján szimuláltam az eróziót a két részvízgyűjtőn, illetve hasonlítottam össze az eredményeket. A ***CS1*** esemény tekintetében 10% alatti pontossággal sikerült a szimuláció. A másik két eseménynél jóval nagyobb eltérést tapasztaltam. A Paraméterkatalógusban megadott korrekciós faktorokat alkalmazva nem értem el megfelelő eredményt, ezért változtattam rajta. Mivel saját adatokkal szimuláltam, más korrekciós faktort kellett használni. A kalibráció első lépéseként meghatároztam a modell érzékeny bemeneti paramétereit egy érzékenységi teszt lefuttatásával. A kalibráció során a 3 érzékeny bemeneti paraméter függvényében sikerült meghatározni a csapadékeseményekre a megfelelő korrekciós faktorokat. A kezdeti talajnedvességet a térfogattömeg függvényében, majd ezt korrigálva a felszínfedettség tekintetében. A kialakított táblázatok a validálás (szántó: ’98.06.08.; ’06.07.09. szőlő: ’06.07.09.; ’07.05.05) során alkalmazhatónak bizonyult mivel maximum 40% - os eredmény eltérést adtak a mért értékekhez képest, ami jónak mondható. A korrekciós faktor táblázatoknak két fajtáját készítettem el, attól függően milyen a csapadékesemény lefutása.

A táblázatok a szimulálásnál a magyarországi viszonyokra értendőek (azon belül homokos vályog, vályog, agyagos vályog talajokra), tehát eltérő attól, amit a modellhez mellékelt Paraméterkatalógus ad.

9. OPTIMÁLIS TERÜLETHASZNÁLAT MODELLEZÉS

A kalibrált modell felhasználásának egyik módja a területhasználat függvényében történő modellezés. Számos tanulmányban használtak eróziós modelleket, az adott területek optimálisabb kihasználásának kialakítására ([128] *Barta et. al., 2008;*[129] *Farsang et. al., 2008*) . A kisvízgyűjtőn történő modellezés során a talajerózió az egyik legfontosabb index, amin keresztül nyomon követhetjük, hogy akár a jelenlegi, akár egy átalakított kihasználtság mellett, milyen állapotba kerül a területünk ([130] *Schob, 2005*).

A modellezéseknél úgynevezett scenáriókat alkalmazunk. Egy scenárión belül általában valamilyen prioritást érdemes meghatározni, ami az egész szimulációt meghatározza. A prioritás meghatároz egy célállapotot, amit a szimulációk során el kell érni. Természetesen egy ilyen modellezés során csak kalibrált modellel lehet olyan eredményt elérni, amivel a valóságot minél jobban meg tudjuk közelíteni.

9.1. Adatbázis

A Cibulka-vízgyűjtőre a terepi adatgyűjtések és egyéb forrásokból származó adatokból felépítettem a területemet jellemző adatbázist ([131]*Kitka et. al. 2006)*. Az ebben az adatbázisban összegyűjtött adatok adják a modellezés alapját.

Az adatokat típusuk, forrásuk alapján lehet csoportosítani. Az előző fejezetekben már ezeket az adatokat használtam fel az Erosion 3D kalibrálásához. Az áttekintésben a terepi gyűjtés módszereit és a laboros feldolgozást nem részletezem, mert ezeket már megtettem a korábbi fejezetekben.

Az adatok terepi felmérések és azok laboros illetve digitális feldolgozásából származnak.

Ezeket egészítik ki a légifotókról származó adatok, illetve az egyéb forrásokból felkutatott elsősorban területhasználatra vonatkozó információk. Az adatbázis 1998-tól 2007-ig tartalmaz adatokat a talajra vonatkozóan a területhasználat függvényében, parcella szinten megadja talajtípusra vonatkozó adatokat, az adott parcellán történő termelés módját, a termelt növény és a talaj mechanikai összetétele alapján.

A csapadékadatokat 2004-től mértük saját ombográfiai berendezéssel, ezért a 2004 előtti csapadékadatokat az illetékes Vízügyi Igazgatóságtól szereztük meg előzetes leválogatás alapján. A csapadékesemények tekintetében 3mm/h – nál húztam meg a határt ([132]*Kerényi, 1991*) Ennél kisebb intenzitásnál már nem jelentkezik erózió a valóságban. A modell számol

erre is eróziót, de az már nem közelíti meg a valós eróziós rátát a megfigyelések alapján, ezért ezt kizártam a szimulációk során.

A modellezés időbeli korlátait jelentette, hogy a csapadékadatokat csak a 1998-ig sikerült megszerezni, mert az agárdi meteorológiai állomáson korlátozott időre álltak rendelkezésre az adatok.

9.2. A modellezés lépései

A modellezés során kidolgoztam egy több lépésből álló szimulácót, amely során a Cibulka-vízgyűjtő területhasználatának a megváltoztatásával egy optimálisabb állapotot kívántam kidolgozni *([133]Kitka et. al. 2006)*.

Első lépésként meghatároztam, hogy az eredeti területhasználat milyen eróziós mutatókat produkál. A kimeneti adatok közül a nettó eróziót és a lehordódott üledéktömeget emeltem ki, mint indexet. Ez jelentette a kiindulási állapotot. A további scenáriók eredményeit ehhez az állapothoz viszonyítottam.

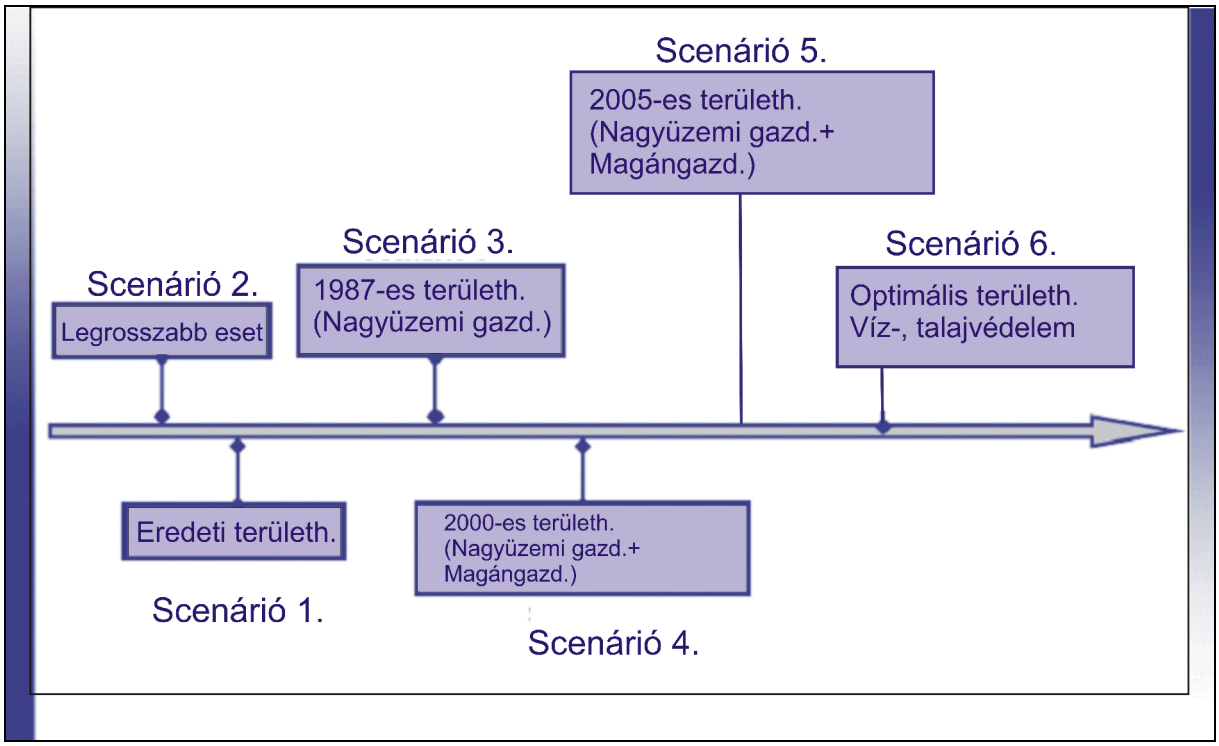
A modellezés során minden lépcsőnél kiemeltem egy elsődleges célt. Az adott scenárión belül ennek rendeltem alá területhasználatban végrehajtott változtatásokat (*34. ábra*).

1.) Eredeti történelmi területhasználat 1998-2007. Ez a scenárió szolgáltatja az alapállapotot.
2.) Területhasználat egy legrosszabb esetet feltételező területhasználat esetén. Az adatbázis adatai alapján (kukorica).
3.) 1998-2007 között az 1987-es területhasználatot végig használva szimulálni.
4.) 1998-2007 között a 2005-ös területhasználatot végig használva szimulálni.
5.) 1998-2007 között a 2007-es területhasználatot végig használva szimulálni.

    Ezen scenáriók eredményeit egy skálán ábrázolnánk akkor a 0 pont kiindulási állapot, vagyis az eredeti területhasználat. A legrosszabb érték adja a skála legnegatívabb értékét, a legrosszabb esetet. A skálán a pozitív irányban a legtávolabb eső értéket adó scenárió lenne az éppen legoptimálisabb területhasználatot tartalmazó scenárió.

    Ezek közül kiválasztom azt a területhasználati elrendezést amelyik a legkisebb eróziót produkálja és újabb prioritásokat meghatározva további scenáriókat futtatok le.
6.) Talajvédelmi funkciókat figyelembe véve változtatok a területhasználaton. Itt elsősorban az erózió további csökkentése a cél. Vízvédelmi funkciókat figyelembe véve alakítom a területhasználatot.

A terület optimális használatát ennek a 6. scenáriónak az eredménye fogja jelenteni, ha a természeti, ökológiai állapotot vesszük figyelembe. Azonban az optimális területhasználatba beletartoznak a gazdasági szempontok is, mert az erózió csökkenésével kevesebb tápanyag utánpótlás szükséges a mezőgazdasági területekre, amivel csökken a tápanyag elmozdulásban résztvevő nem kívánatos anyagok (N, $P_2O_{5)}$ mennyisége is *([134]Farsang et. al., 2006; [135]Farsang et. al. 2006; [136]Farsang et. al., 2006)*.



34. ábra: A scenárió egyenes a scenáriók modellezési sorrendjével

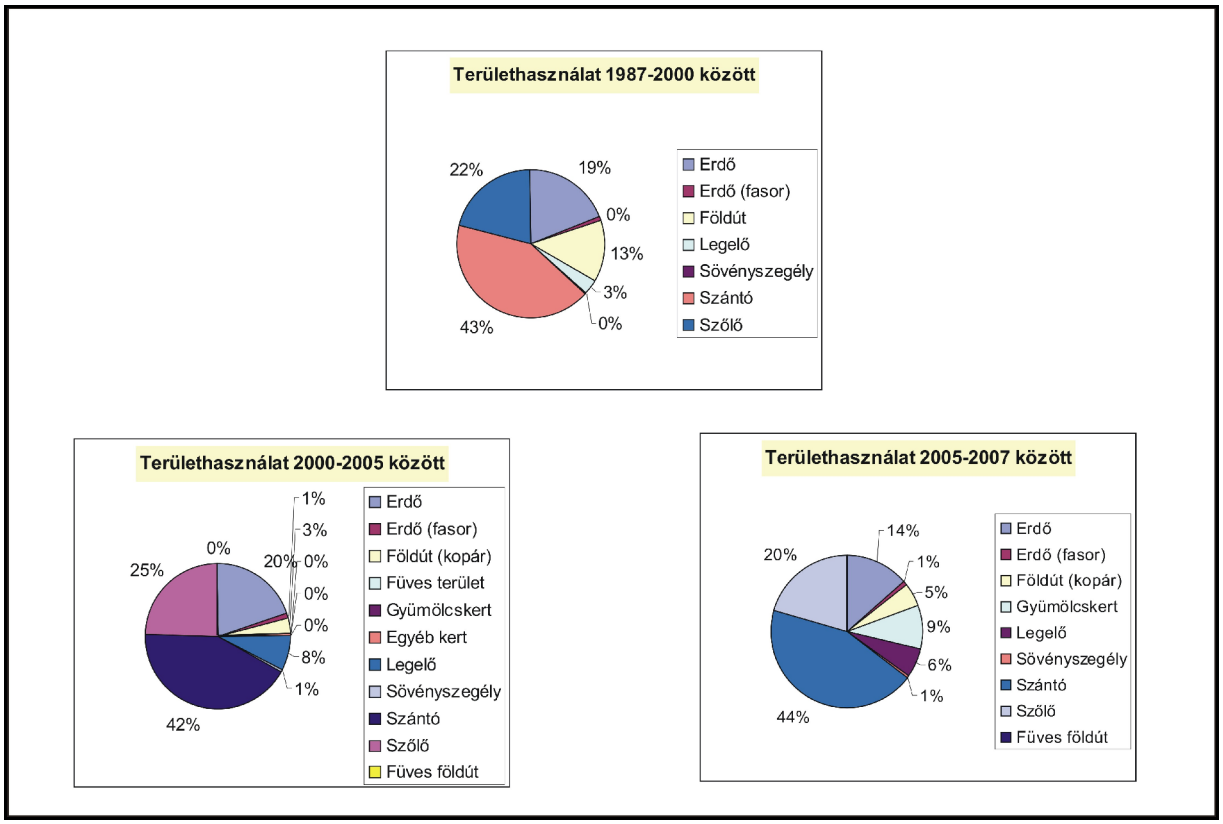
9.3. A scenáriók alkalmazása

9.3.1. 1. scenárió: történelmi területhasználat

Az összegyűjtött adatok alapján 3 szakaszra bontottam a területhasználat változást a vízgyűjtőn (*34. ábra)*.

1998-2000. Ez a szakasz az 1998 előtti állapoton alapszik. A nagyüzemi termelést foglalja magába. Ez látszik a parcellák méretén is. A terület nagy részét szántók (43%) foglalják el, amelyek nagyobb részben az Agromark 2000 Rt. tulajdonát képezték. Ezeken elsősorban búzát, kukoricát, takarmánynövényeket termesztettek. A második legnagyobb területet a szőlőültetvények (22%) foglalják el. Ezeknél problémát jelent a szőlősorok lejtőirányú művelése. Ezt azonban a modellbe nem lehet bevinni, mert nincs ilyen paraméter, ami ezt

jellemezné. A terület északi medencéjét és a déli medence nyugati oldalát nagy szántók foglalják el. Kiskertek csak a déli medence keleti oldalán vannak.



35. ábra: A területhasználat típusainak %-os megoszlása

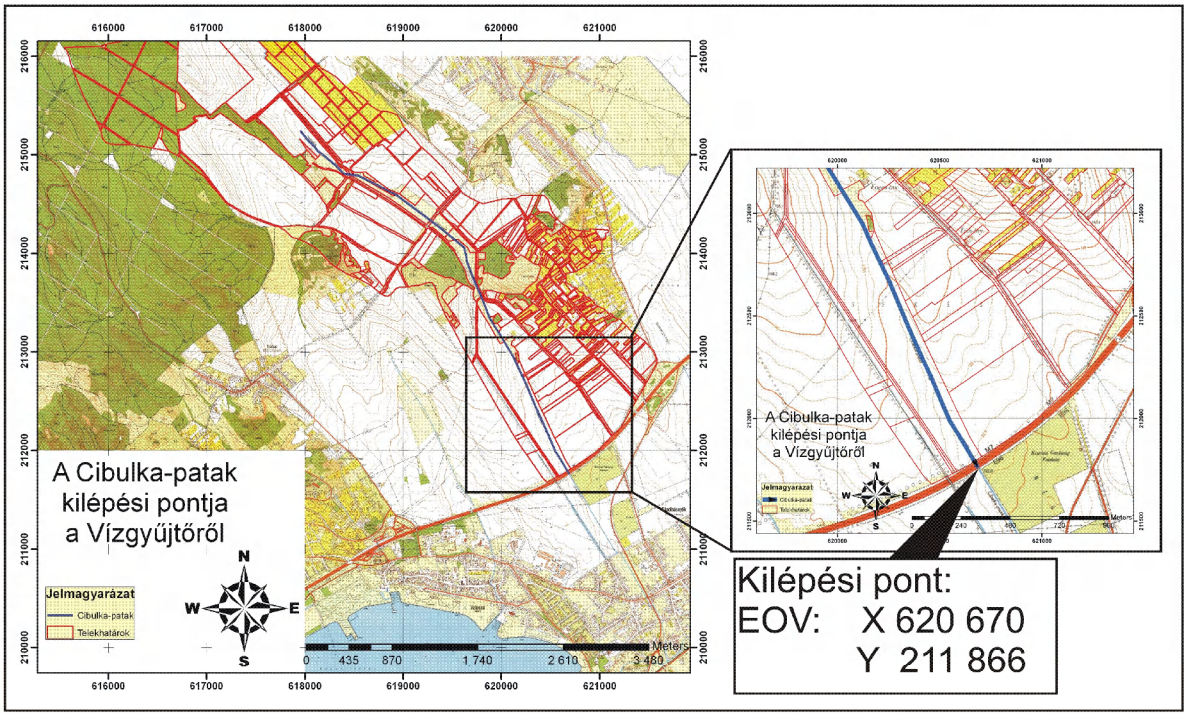
A termesztett növényeket az Agromark 2000 Rt. termelőszövetkezet nyilvántartásból vettem (*11. sz. melléklet* - Agromark 2000 Rt. üzemi termesztési napló, *12. sz. melléklet* – a termelési parcellák felosztása a mintaterületen) az egyes parcellákra. A modellezés egyes szakaszaiban, ahol nem volt adat az évenkénti termesztett növényfajtáról, ott a téli búzát vettem az alap termesztett növénynek. Ezek a területek elsősorban a magántulajdonban lévő parcellák, ahonnannem volt lehetőségem visszakeresni a termesztett növényfajtákat.

Az Agromark 2000 Rt. területein mindenhol a kukorica-kukorica-napraforgó-búza-búza vetésforgó sorrendet alkalmazták. A napraforgóra vonatkozó talajparaméterek meghatározása nem sikerült. A napraforgóra vonatkozó talajparamétereket a kukoricára vonatkozó talajparaméterekkel helyettesítettem.

A termesztett növény és a fizikai talajtípustól függően leginkább a fedettség változik havi szinten. A kezdeti talajnedvességet a minták alapján 18-20 v% - nak vettem, kivéve akkor, ha a két csapadékesemény között 4 napnál kevesebb telt el. Ha kevesebb idő telt el a két

csapadékesemény között, akkor a talajnedvesség nagyobb értéket kapott. A becslést az 5. fejezet *26. ábrája* alapján végeztem.

A domborzatfelszín és a modell által generált felszíni lefolyás segítségével kijelöltem azt a pontot, ahol a patak elhagyja a vízgyűjtőt. Ennek a cellának vettem figyelembe a nettó erózió, illetve az üledéktömegre vonatkozó kimeneti adatait. A kimeneti pontot az EOV koordinátái (X: 620 670; Y: 211 866)(*36. ábra*) alapján azonosítottam a további szimulációk során. Ez az a pont, ahol a patak medre elhagyja a vízgyűjtő területét. A patak medre maximum 4 méter, ha legszélesebb részt vesszük figyelembe (tehát 1 pixel nettó eróziós értékét kell figyelembe venni az elemzésnél).



36. ábra: A Cibulka-patak kilépési pontja a vízgyűjtőről

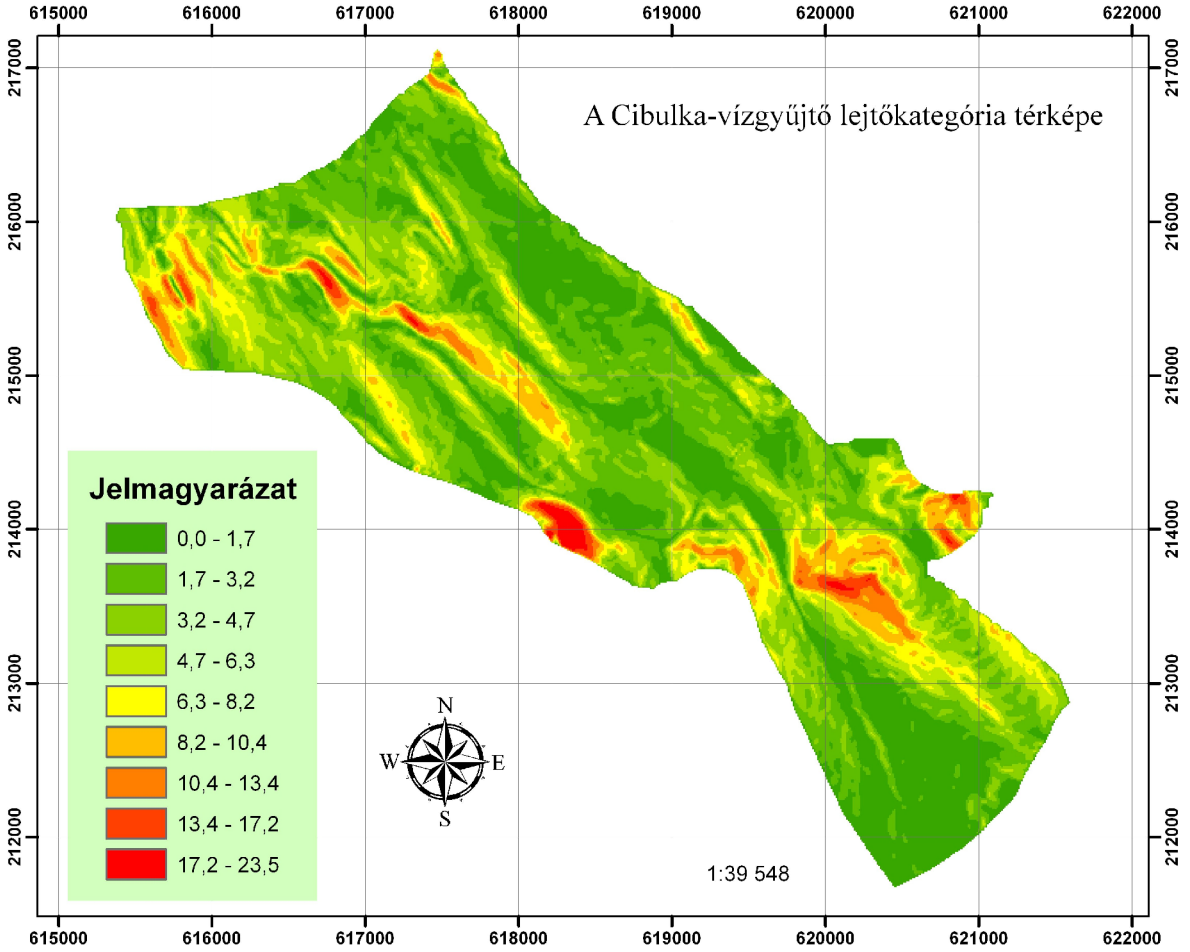
A scenárión belüli első szakaszban (1998-2000. között) 13 erozív csapadékesemény volt, amelyek közül rendkívüli eseménynek az 1999.07.12-e tekinthető (*17.táblázat*). Ez a csapadékesemény adja a két év összes lehordódott talajtömegének az egy harmadát (8804 kg). Erre az időszakra a nagy kiterjedésű parcellák a jellemzőek, ami az erózió szempontjából nem kedvező. Az összes távozó üledéktömeg 20791,00 kg, az átlag nettó erózió:7,89 t/ha.

	Üledék tömeg (kg/m^2)	**Nettó erózió (t/ha)**	**Csapadék időtartam, összeg (min)-(mm)**	**Csapadék intenzitás max. (mm/h)**
1998.06.08.	1236,00	5,109	30 – 10,2	43,8
1998.06.12.	1194,00	4,935	40 – 9,5	48
1998.06.27.	1565,00	6,468	110 – 21,3	31,8
1998.07.07.	809,90	3,347	140 – 25,1	24,6
1998.07.25.	3049,00	12,603	80 – 19,2	70,8
1998.08.21.	1194,20	4,935	70 – 10,6	36,6
1998.09.05.	613,00	2,534	140 – 11,9	9
1999.06.11.	1565,00	6,468	140 – 20,6	4,4
1999.07.08.	22,33	0,092	70 – 7,1	24
1999.07.12.	8809,00	36,401	140 – 53,2	63,6
1999.07.14.	3,00	0,012	80 – 7,8	18
1999.08.16.	634,00	2,623	100 – 30,4	43,2
1999.09.09.	97,00	0,405	30 – 5,6	27
Összesen	**20791,43**	**85,87**	-	-

17. táblázat: Az 1. scenárió 1998-2000-es szakaszának, a csapadékeseményeinek az eróziós eredményei

A nagy szántóparcellákon viszonylag hosszú lejtőkön folyt a termelés, ami elősegítette a lehordódást.

Például a 2 legnagyobb területű parcella lejtőhosszúsága 737 m és 1569 m. A szőlőültetvényeken szintén igen hosszú lejtőkön történt a termelés, elsősorban a nyugati kitettségű lejtőkön. A lejtőszög átlagértéke a vízgyűjtőn 3,9^o. Ha összevettjük az értékeket látszik, hogy a leginkább veszélyes lejtőkategóriájú területek a nagy kiterjedésű szőlőültetvények, illetve a szőlőültetvényeken a szőlősorok között kialakult földutak. Az igazán nagy lejtőszöggel rendelkező területeket erdő fedi. Ezeken a területeken a lejtőszög akár a 11^o-ot is elérheti (*37. ábra*).



37. ábra: A Cibulka-vízgyűjtő lejtőkategória térképe(^{O} mértékegységben)

A nagy lejtőkategóriájú területeken, ahol az érték 4^{o} felett van, leginkább a telepített erdők találhatóak. A nagy kiterjedésű parcellák átlagértéke 4 és 5^{o} között van, de a két nagy parcellán található hátak magasabb részén eléri a 9^{o}-os értéket is. Ez az érték a hosszú lejtővel párosulva produkálja a nagy eróziós rátákat. Az 1.sz. parcellán (szántó) 7-2^{o}-ig változik a lejtőszög, mindez 300 méteres hosszon. Az általunk kiválasztott 2.sz. szőlőültetvényen a teljes lejtőhossz kb 500 méter, 3-4^{o}-os lejtővel párosulva.

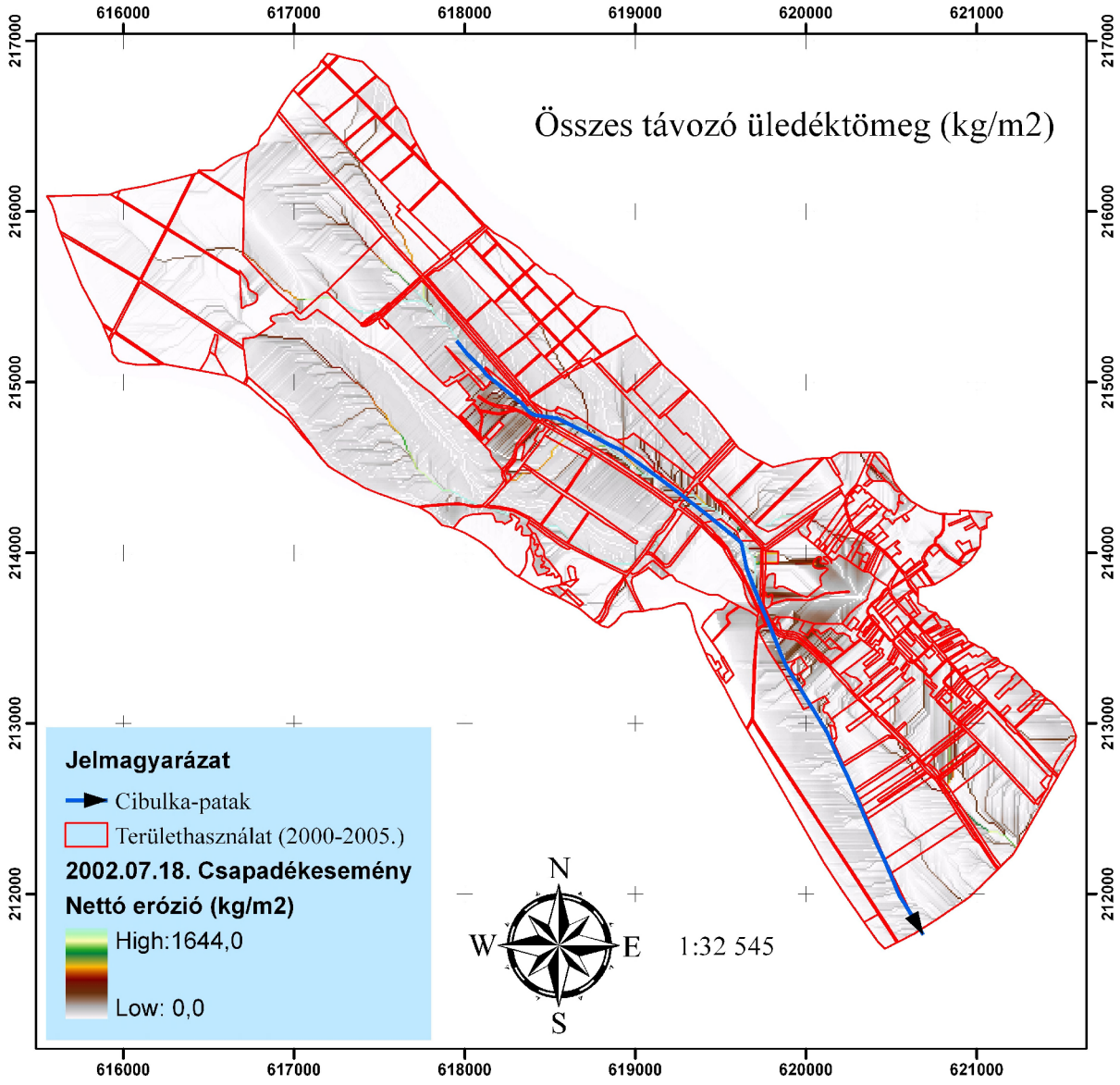
A legnagyobb eróziós értékeket a 3-4^{o}-os paraméterekkel rendelkező területek, parcellák adják. A 3-4^{o}-os meredekségű részeken elsősorban szántóföldi területhasznosítás folyt, leginkább búzatermesztés. A legnagyobb eróziós értékeket az 1.sz. parcella, illetve a 2.sz. parcella produkálta.

A 2000-2005. közötti időszak egyik fontos momentuma, hogy növekedett a szőlőültetvények területe kb 3-4% - kal. Ezt ellensúlyozta a legelőterületek 5%-os növekedése. A szántóterületek csökkentek 2%-kal. Igazán nagy változások a területen a

parcellák tulajdonosváltásában volt, ami többek között a parcellák méretének csökkenésében nyilvánult meg. A 1998 – 2000 közötti szakaszban 322 parcellára volt felosztva a terület, míg ebben a szakaszban már 385 parcellával számoltam. Ez elsősorban a szőlő és kertek aprózódását jelenti, de a nagyobb termelő szövetkezeti szántóparcellák is darabolódtak. Jól látszik az ÉK-i medencében lévő szántón is, amit 3 kisebb parcellára szedtek szét. A terület DK-i medencéjében levő telkek tovább aprózódtak, egyre több gyümölcsös kiskert jelenik meg. Ezek az adatok már a 2000 –es légifotók feldolgozásán és terepi bejárásokon alapulnak.
Az 5 évet felölelő szakaszban 17 számottevő eróziót okozó csapadékeseményt tudtam leválogatni. Ezek közül egy volt, ami nagyon magas értéket ért el: 2002.07.18 (összes távozó üledéktömeg:1519 kg) (*38. ábra*), de ennek intenzitása alulmaradt a 1999.07.12. eseményhez képest. Az eredmény 3742 kg összes távozó üledéktömeg az 5 év alatt. Az átlag nettó erózió: 8,17 t/ha.

	Üledék tömeg (kg/m^2)	**Nettó erózió (t/ha)**	**Csapadék időtartam, összeg (min)-(mm)**	**Csapadék intenzitás max. (mm/h)**
2000.07.28.	29,71	0,12	140 – 18,2	18,6
2001.05.04.	2,00	0,07	50 – 13,4	50,4
2001.05.08.	n.e.	n.e.	40 – 6,5	33,6
2001.06.03.	n.e.	n.e.	110 – 13,2	36
2001.07.17.	40,41	0,16	140 – 22,4	28,8
2001.08.22.	1466,14	6,05	60 – 21,4	60
2002.07.13.	1,00	0,05	20 – 5	28,2
2002.07.18.	1519,10	6,27	140 – 32,9	51
2002.08.06.	7,00	0,77	140 – 13,1	18,6
2002.08.07.	300,94	1,24	90 – 17,6	45,6
2002.08.20.	311,17	1,28	50 – 15,5	55,8
2002.09.20.	54,28	0,22	100 – 11,6	27,6
2003.06.24.	1,00	0,06	20 – 9,4	37,8
2004.07.30.	5,00	0,05	70 – 7,5	21
2004.08.25.	3,00	0,05	50 – 8,5	27,6
2004.06.24.	2,00	0,04	90 – 18	31,2
Összesen	**3742,65**	**16,43**	**-**	**-**

18. táblázat: Az 1. scenárió 2000-2005-ös szakasz, a csapadékeseményeinek az eróziós eredményei (n.e. – nincs a területet elhagyó erózió)



38. ábra: 2000 – 2005 szakasz legnagyobb eróziós esemény (2002.07.18.) hatására bekövetkező erózió

2005-2007. között a területhasználat változása kismértékű volt. Tovább csökkentek a parcellák méretei. Ami lényeges változás, hogy a szántó területek visszaálltak eredeti 44%-os részesedésükre. A szőlő 4%-kal csökkent az előző szakaszhoz képest, de a szőlőültetvények helyét elfoglalták a gyümölcsöskertek. A szőlőterületek csökkenése elsősorban a vízgyűjtő keleti lejtőin figyelhető meg. A szőlők felhagyása után a területet rögtön beszántották.

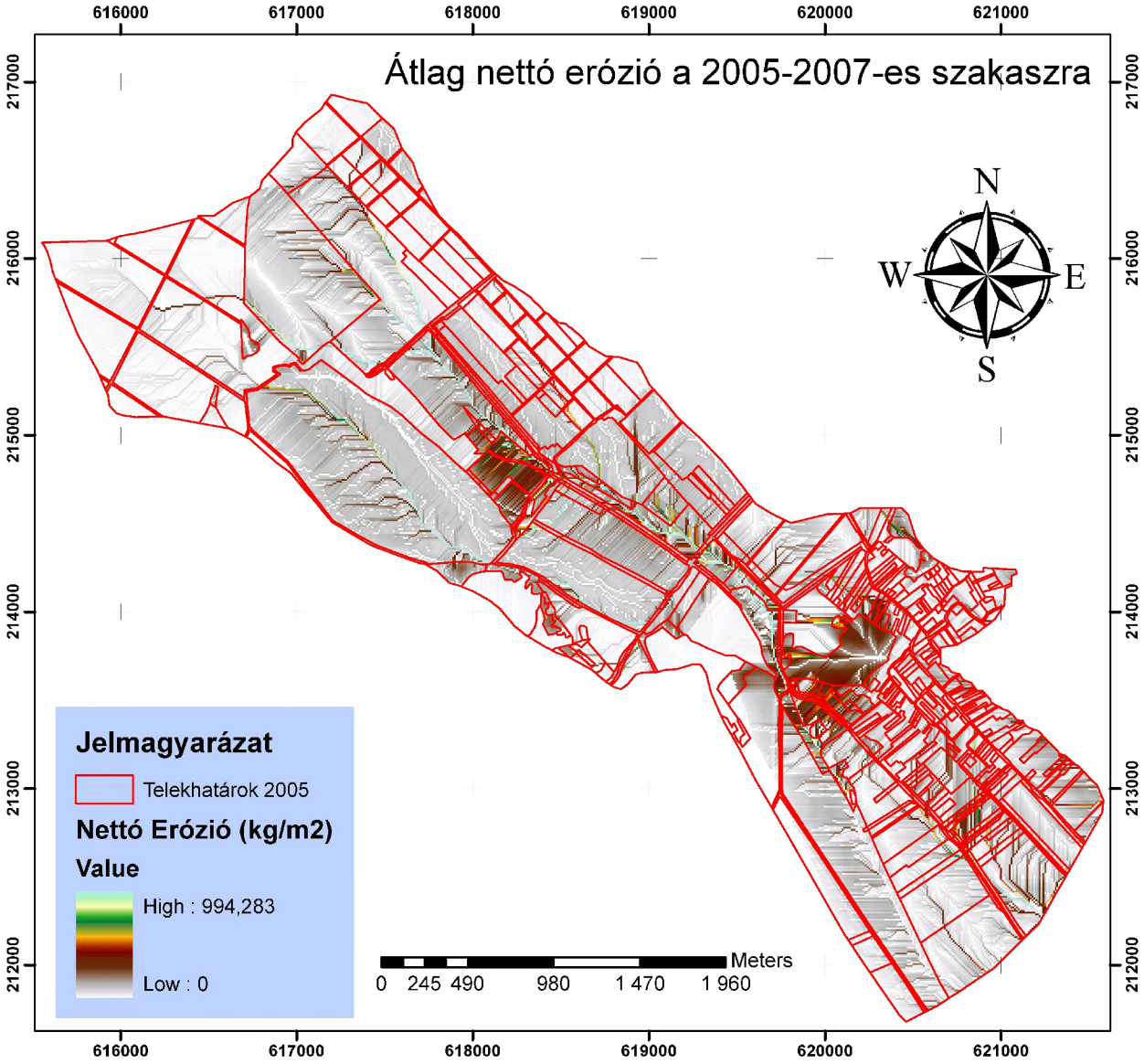
	Üledék tömeg (kg/m^2)	**Nettó erózió (t/ha)**	**Csapadék időtartam, összeg (min)-(mm)**	**Csapadék intenzitás max. (mm/h)**
2005.05.14.	1,14	0,08	90 – 8,5	21
2005.05.18.	1124,60	4,64	100 – 17,3	55,2
2005.06.15.	6,00	0,66	20 – 6,9	39
2005.06.29.	1,59	0,11	70 – 12,6	39
2005.07.11.	741,00	0,06	120 – 25,3	45
2006.07.09.	1534,00	6,34	n.a.	n.a.
2006.09.19.	1134,00	4,68	40 – 19,1	12,7
Összesen	**4542,33**	**16,57**	**-**	**-**

19. táblázat: Az 1. scenárió 2005-2007-ös szakaszának, a csapadékeseményeinek az eróziós eredményei (n.a. – nincs adat)

Az összesen elhordódott talajtömeg: 4542 kg (*39. ábra*). Az átlagos nettó erózió: 2,87 t/ha 2 évre vetítve (*40. ábra*). Ez az összeg 7 csapadékesemény szimulációjának az eredménye. A scenárió utolsó szakaszában kapott eróziós eredmények már nem változtatták meg az előző csapadékesemény szimulációk során kialakult érzékeny területeket elhelyezkedését.

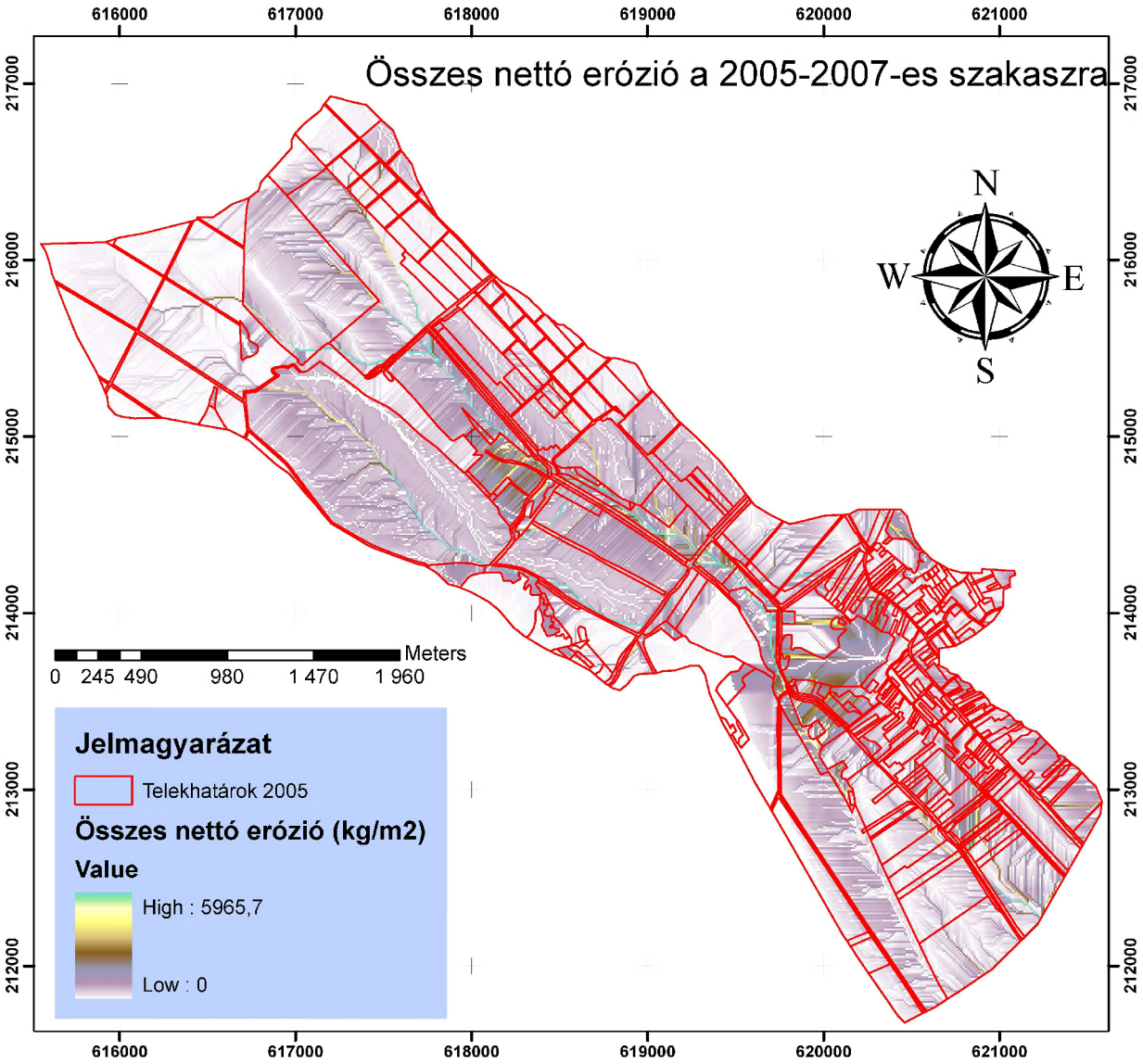
Mind a három szakaszban az erozív csapadékesemények a kora nyári időszakban fordulnak elő. A 9 év csapadékeseményeit vizsgálva a legnagyobb zivatar a 1999.07.12-es esemény. Figyelembe kell venni az eredményeknél, hogy a hány db extrém esemény van egy időszakon belül.

.



39. ábra: A 2005-2007. szakaszra modellezett átlag nettó erózió

A 9 év alatt távozott talajmennyiség kb.: 29035 kg. Ami éves szinten, átlagot számolva 3226 kg/év. A 9 év alatt az átlag erózió 13,2 t/ha/év. Ezt az egész vízgyűjtőre kell származtatni, mert ez a ténylegesen kilépő talajmennyiség.



40. ábra: A 2005-2007-es szakasz összeróziós értékei az 1. scenárióban

Potenciálisan veszélyeztetett területek:

A 1. scenárióban kiemeltem úgynevezett reprezentatív csapadékeseményeket, amelyek a legnagyobb eróziót produkálták a 3 időszakban. Ezeket minden scenárióban figyelni kell, mert ezek jelzik az extrém lehordódás mértékét a vízgyűjtőn belül.

	1999. 07. 12	**2002. 07. 18**	**2006. 07. 09**
Nettó erózió (kg) – egész vízgyűjtő	8804	1519	3525
1.sz. parcella	2143 (kg)	905 (kg)	976 (kg)
2.sz. parcella	4494 (kg)	1845 (kg)	1929 (kg)
3.sz. parcella	97872 (kg)	40186 (kg)	40250 (kg)

20. táblázat: Az 1. scenárióban a 3 időszak kiemelt csapadékeseményei során a legnagyobb eróziós rátákat produkáló 3 parcella eróziós rátái

A három kiemelt csapadékesemény során távozott az adott időszakon belül a legtöbb üledék a vízgyűjtőről. A csapadékesemények szimulációjának az eredményei jelzik a vízgyűjtő területén a belső üledékmozgásokat is. A nagy mennyiségű hordalék mozgása kijelöli a fő „mozgási vonalakat", felhalmozódási zónákat, illetve a legnagyobb lehordásnak kitett részeket.

A legnagyobb felhalmozódási zónák egyértelműen a nagy területű és lejtésű parcellák alsó részei. A 3 kiemelt parcella alsó területsávjai a legnagyobb felhalmozódási zónák.

A három parcella legnagyobb hátránya a többi nagy kiterjedésű parcellával szemben, hogy ezeknek a szélén nincsen erdősáv vagy legelősáv. A hordalék mozgása ezekről a részekről a patak medrének a nyomvonalát követik. A 3.sz. és a 2.sz. parcella közvetlen a patak medrébe közvetíti az üledéket.

A parcellák kilépési pontjait egy cella értékéből olvastam le, mivel a kilépési pontok általában ritkán szélesebbek, mint 10 méter. A patak medre a valóságban maximum 2 méter széles, de a modellben ez is 10 méteres szélességet kap. A kilépési pont a parcella határvonalát elhagyó mozgási irányok metszésénél lévő cella.

Érdekesség, hogy a vízgyűjtő déli medencéjét egy kisebb hát két részre osztja, ezért a déli medence keleti feléből érkező hordalék már egy másik kilépési ponton távozik. Ez a rész nem tartozik ténylegesen a vízgyűjtőhöz.

9.3.2. 2. scenárió

A legrosszabb eset a rendelkezésre álló adatbázis alapján, ha az összes értéket figyelembe vesszük a területre, akkor az a szántón folytatott kukoricatermesztés. Amennyiben az összes szántóparcellán és szőlőültetvényen kukoricát termesztenek minden évben az erózió nagyon magas értéket mutat.

A kukoricatermesztéshez tartozó paraméter értékek a felszínfedettség tekintetében térnek el a többi termesztett növényhez képest. A kukorica a zártnak tekinthető 100%-os fedettséget csak augusztusra éri el. A leginkább csapadékos május, június hónapban még csak 18-60%-os fedettséget produkál, ami a nagy intenzitású csapadékoknál kimondottan hátrányos. A nagy parcelláknál a hosszú lejtő, nagy lejtőszög, kicsi felszínfedettség az erózió kialakulásának szinte alapfeltételeit jelentik.

1998-2000.: összes nettó üledék tömeg: 294 924 kg, átlag nettó erózió: 127,6 t/ha *(21.táblázat)*.

	Üledék tömeg (kg/m^2)	**Nettó erózió (t/ha)**	**Csapadék időtartam, összeg (mm)-(min)**	**Csapadék intenzitás max (mm/h)**
1998.06.08.	n.a.	n.a.	30 – 10,2	43,8
1998.06.12.	n.a.	n.a.	40 – 9,5	48
1998.06.27.	n.a.	n.a.	110 – 21,3	31,8
1998.07.07.	9710,24	40,1	140 – 25,1	24,6
1998.07.25.	64631	267,07	80 – 19,2	70,8
1998.08.21.	15210	62,85	70 – 10,6	36,6
1998.09.05.	2279	9,418	140 – 11,9	9
1999.06.11.	21514	88.9	140 – 20,6	4,4
1999.07.08.	8,32	0,019	70 – 7,1	24
1999.07.12.	178448	737,39	140 – 53,2	63,6
1999.07.14.	4,2	0,010	80 – 7,8	18
1999.08.16.	3001	12,403	100 – 30,4	43,2
1999.09.09.	119,408	0,493	30 – 5,6	27
Összesen	**294 924**	**1215**	**-**	-

21.táblázat: A 2. scenárió 1998- 2000. közötti időszak eróziós eredményei

(n.a. – nincs adat)

2000-2005.: összes nettó üledék tömeg: 170 955 kg, átlag nettó erózió: 41,51t/ha *(22.táblázat)*.

	Üledék tömeg (kg/m^2)	Nettó erózió (t/ha)	Csapadék időtartam, összeg(mm)-(min)	Csapadék intenzitás max (mm/h)
2000.07.28.	2807	11,6	140 – 18,2	18,6
2001.05.04.	246,49	1,77	50 – 13,4	50,4
2001.05.08.	7,7	0,55	40 – 6,5	33,6
2001.06.03.	1,5	0,05	110 – 13,2	36
2001.07.17.	9961	41,16	140 – 22,4	28,8
2001.08.22.	43331	179,05	60 – 21,4	60
2002.07.13.	4860	20,09	20 – 5	28,2
2002.07.18.	49614	205,01	140 – 32,9	51
2002.08.06.	1220	5,04	140 – 13,1	18,6
2002.08.07.	20221	83,56	90 – 17,6	45,6
2002.08.20.	23697	97,92	50 – 15,5	55,8
2002.09.20.	7877	32,55	100 – 11,6	27,6
2003.06.24.	17,15	0,04	20 – 9,4	37,8
2007.07.30.	380	1,68	70 – 7,5	21
2004.08.25.	4436	18,33	50 – 8,5	27,6
2004.06.24.	2279	9,42	90 – 18	31,2
Összesen	**170 955,84**	**707,77**	-	-

22. táblázat: A 2. scenárió 2000-2005. közötti időszak eróziós eredményei

2000-2007: összes nettó üledéktömeg:180 823 kg, átlag nettó erózió: 106,3 t/ha *(23. táblázat)*

	Üledék tömeg (kg/m^2)	Nettó erózió (t/ha)	Csapadék időtartam, összeg(mm) – (min)	Csapadék intenzitás max (mm/h)
2005.05.14.	248,00	1,02	90 – 8,5	21
2005.05.18.	51117,00	211,23	100 – 17,3	55,2
2005.06.15.	4193,00	17,33	20 – 6,9	39
2005.06.29.	600,00	2,60	70 – 12,6	39
2005.07.11.	40399,00	166,94	120 – 25,3	45
2006.07.09.	51099,00	211,16	n.a.	n.a.
2006.09.19.	33167,00	137,06	40 – 19,1	12,2
Összesen	**180 823,00**	**747,34**	**-**	**-**

23. táblázat: A 2. scenárió 2005-2007. közötti időszak eróziós eredményei

(n.a. – nincs adat)

Az eredeti potenciálisan veszélyes parcellák estében extrém nagy eróziót adott ki a modell. A kukoricatermesztés tehát ilyen lejtőszögekkel ($2^o <$) rendelkező területeken már igen nagy

veszélyt hordoz magában (*24. táblázat*). A scenárió eredménye természetesen irreális eredményeket mutat, ami annak köszönhető, hogy a lehető legrosszabb értékekkel rendelkező termelési paramétereket állítottam be. Összes nettó üledéktömeg 646 742 kg, az átlag nettó erózió 296 t/ha/év.

	1999.07.12	**2002.07.18**	**2006.07.09**
Nettó erózió (kg) – összes	178 748	49614	51099
1.sz. parcella (szántó)	40887 (kg)	11135 (kg)	11620 (kg)
2.sz. parcella (szántó)	100472 (kg)	25790 (kg)	27754 (kg)
3.sz. parcella (szőlő)	2137720 (kg)	544739 (kg)	4499 (kg)

24. táblázat: A 2. scenárióban a 3 időszak kiemelt csapadékeseményei során a legnagyobb eróziós rátákat produkáló 3 parcella eróziós rátái

9.3.3. 3. scenárió

A scenárióban az 1998-2000. közötti időszak területhasználatát szimuláltam végig a 9 évre. A scenárió eredménye 2000 – ig ugyanaz, mint az 1. scenárióban (*lásd 17. táblázat*). 13 erozív csapadékesemény van, amik közül a 1999.07.12-es a legmeghatározóbb, közel 8 t lehordódott üledékkel. Összes távozó üledéktömeg: 20790 kg, átlag nettó erózió: 7,89 t/ha.

2000-2005-ös időszakban a legnagyobb eróziót okozó csapadékesemény a 2002.07.18-as volt, ahol az eredmény 3585 kg az összes távozó üledéktömeg, 14,5 t/ha nettó erózióval. Az 5 év alatt összesen távozó üledéktömeg: 14140 kg, az átlagos nettó erózió 3,44 t/ha az 5 évre számolva. A csapadékeseményeket tekintve látható, hogy az igazán nagy eróziót okozó események száma csökken az előző szakaszhoz képest, hiszen ott 2 év alatt nagyobb összes eróziót modelleztem. Ebben a szakaszban jelentkezett először, hogy magát a vízgyűjtőt a kilépési ponton nem hagyja el üledéktömeg. A belső területen csak a nagyobb parcellákon és a földutak mellett figyelhető meg üledéklehordódás, szemben a nagy zivatarokkal, ahol az egész vízgyűjtőn megindul a hordalékmozgás. (*25. táblázat)*

	Üledék tömeg (kg/m^2)	**Nettó erózió (t/ha)**	**Csapadék időtartam, összeg (mm) – (min)**	**Csapadék intenzitás max (mm/h)**
2000.07.28.	291	1,2	140 – 18,2	18,6
2001.05.04.	442	1,82	50 – 13,4	50,4
2001.05.08.	n.e.	n.e.	40 – 6,5	33,6
2001.06.03.	n.e.	n.e.	110 – 13,2	36

2001.07.17.	917	3,792	140 – 22,4	28,8
2001.08.22.	3093	12,78	60 – 21,4	60
2002.07.13.	444	1,383	20 – 5	28,2
2002.07.18.	3585	14,815	140 – 32,9	51
2002.08.06.	171,2	0,707	140 – 13,1	18,6
2002.08.07.	1612	6,663	90 – 17,6	45,6
2002.08.20.	1753	7,247	50 – 15,5	55,8
2002.09.20.	694,6	2,87	100 – 11,6	27,6
2003.06.24.	3,2	0,013	20 – 9,4	37,8
2004.07.30.	331	1,37	70 – 7,5	21
2004.08.25.	415	1,718	50 – 8,5	27,6
2004.06.24.	388	1,604	90 – 18	31,2
Összesen	**14140**	**57,94**		

25. táblázat: A 3. scenárió 2000-2005 közötti szakaszának szimulációs eredményei (n.e. – nincs a területet elhagyó erózió)

A 2005-2007-es szakaszban az összes lehordódott üledéktömeg 12550 kg *(26. táblázat)*. Az átlag nettó erózió: 7,41 t/ha. A legnagyobb eróziós (2006.07.09.) esemény 3525 kg összes lehordott üledéktömeget adott.

	Üledék tömeg (kg/m^2)	**Nettó erózió(t/ha)**	**Csapadék időtartam (min), összeg (mm)**	**Csapadék intenzitás max (mm/h)**
2005.05.14.	248,00	1,03	90 – 8,5	21
2005.05.18.	2268,00	9,30	100 – 17,3	55,2
2005.06.15.	636,00	2,63	20 – 6,9	39
2005.06.29.	600,00	2,60	70 – 12,6	39
2005.07.11.	3005,00	12,42	120 – 25,3	45
2006.07.09.	3525,00	14,67	n.a.	n.a.
2006.09.19.	2268,00	9,37	40 – 19,1	12,7
Összesen	**12550**	**52,02**	-	-

26. táblázat: A 3. scenárió 2005-2007 közötti szakaszának szimulációs eredményei

(n.a. – nincs adat)

A scenárió eredménye 47480 kg összes lehordódot üledéktömeg, az átlag nettó erózió 21,7 t/ha/év. Az eredeti területhasználathoz képest jelentős növekedés volt.

Ez a scenárió egyben azt az esetet mutatja be, hogy milyen eróziós eredményeket adna, ha a területen a szántóföldi nagyüzemi termelés lenne az uralkodó területhasználat típus. A

nagyobb méretű parcellák és a kisebb heterogenitás a termesztett növények esetében nagyobb eróziót eredményez, mint az eredeti 2000-2005-ös területhasználat.

9.3.4. 4. scenárió

Ezen a scenárión belül a 2000-2005 közötti területhasználatot modelleztem végig a 9 évre. A számottevő különbség a 1998 – 2000 – es szakaszban és a 2005- 2007 - es szakaszban fog jelentkezni, mivel a kettő közötti időszak ugyanaz, mint a történelmi területhasználatnál. 1998-2000 között az összerózió: 10347 kg. Az átlag nettó erózió: 4,92 t/ha. Az eredeti területhasználathoz képest lényeges változás tapasztalható az első szakaszban. Az 1999.07.12-es csapadékesemény során a szimulált, lehordódott üledéktömeg mennyisége is csökkent, közel a felére, 8804 kg-ról 3869.8 kg – ra. A nettó erózió 15.99 t/ha. Az összes csapadékeseménynél csökkenés volt tapasztalható az 1. scenárióhoz képest (*27. táblázat*).

	Üledék tömeg (kg/m^2)	**Nettó erózió (t/ha)**	**Csapadék időtartam, összeg (min)-(mm)**	**Csapadék intenzitás max. (mm/h)**
1998.06.08.	1236,00	5,11	30 – 10,2	43,8
1998.06.12.	1194,00	4,94	40 – 9,5	48
1998.06.27.	1565,00	6,47	110 – 21,3	31,8
1998.07.07.	184,60	0,76	140 – 25,1	24,6
1998.07.25.	1157,00	4,78	80 – 19,2	70,8
1998.08.21.	41,31	0,17	70 – 10,6	36,6
1998.09.05.	296,00	1,23	140 – 11,9	9
1999.06.11.	805,24	3,33	140 – 20,6	4,4
1999.07.08.	n.e.	n.e.	70 – 7,1	24
1999.07.12.	3869,00	15,99	140 – 53,2	63,6
1999.07.14.	n.e.	n.e.	80 – 7,8	18
1999.08.16.	n.e.	n.e.	100 – 30,4	43,2
1999.09.09.	n.e.	n.e.	30 – 5,6	27
Összesen	**10347,55**	**42,78**		

27. táblázat: A 4. scenárió 1998-2000 közötti szakaszának szimulációs eredményei

(n.e. – nincs a területet elhagyó erózió)

2000-2005. Az összes távozó üledéktömeg: 3742 kg. A 2002.07.18-as csapadékesemény eróziós értéke 1519.1 kg. Lényegesen kevesebb, mint a 3-as scenárióban. Az átlag nettó erózió:1,26 t/ha,

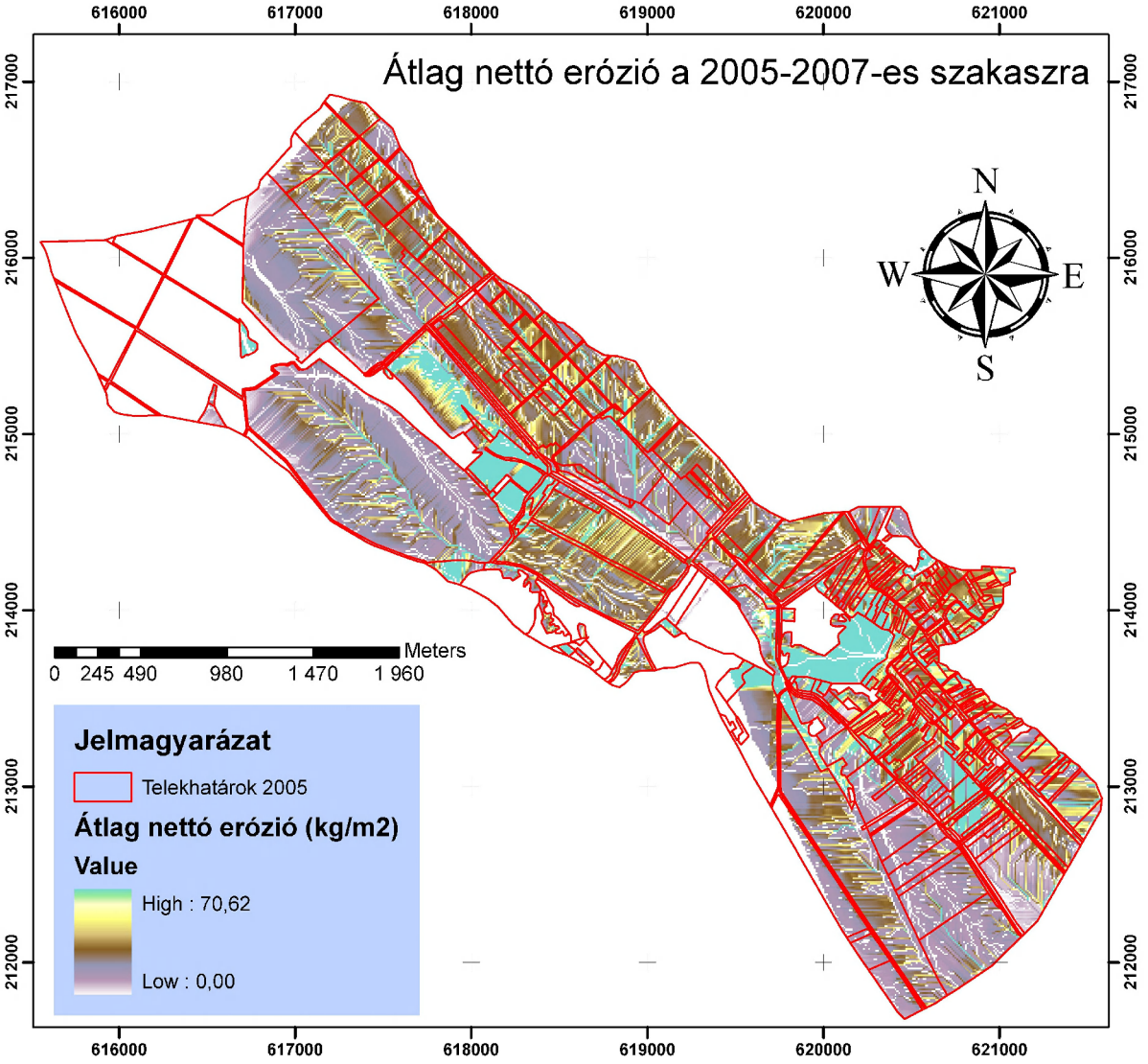
2005-2007-es időszakban az összes távozó üledéktömeg 4541 kg. Az átlag nettó erózió: 2,36 t/ha.A reprezentatív (2006.07.09.) csapadékeseményé pedig: 1534 kg *(28.táblázat).*

	Üledék tömeg (kg/m^2)	**Nettó erózió (t/ha)**	**Csapadék időtartam, összeg (min)-(mm)**	**Csapadék intenzitás max. (mm/h)**
2005.05.14.	1,14	0,08	90 – 8,5	21
2005.05.18.	1124,60	4,64	100 – 17,3	55,2
2005.06.15.	6,00	0,66	20 – 6,9	39
2005.06.29.	1,59	0,11	70 – 12,6	39
2005.07.11.	741,00	0,06	120 – 25,3	45
2006.07.09.	1534,00	6,34	n.a.	n.a.
2006.09.19.	1134,00	4,69	40 – 19,1	12,7
Összesen	**4541,73**	**16,58**	-	-

28. táblázat: A 4. scenárió 2005-2007 közötti szakaszának szimulációs eredményei

A scenárió eredménye: 18631 kg összes távozó üledéktömeg, az átlag nettó erózió: 8,42 t/ha *(41. ábra).*

A scenárió eredménye lényegesen kevesebbet eróziót mutat, mint az előző három scenárió. Az eredeti területhasználatot modellező 1. scenárió végeredményénél jobb eredményt mutat, mivel az 1. scenárió 29035 kg összes távozó üledéktömeggel szemben majdnem 10000 kg-al alacsonyabb értéket mutat, 18631 kg-ot eredményezett.



41. ábra: átlag erózió a 2005-2007-es időszakra a 4. scenárióban

9.3.5. 5. scenárió

Ebben a scenárióban a 2005-2007-es területhasználatot végigfuttatva a 9 év eseményein, szinte ugyanazt az eredményt kaptam, mint a 4-es scenárióra. A kiemelt csapadékesemények eredménye ugyanazokat a szimulációs eredményeket adták, mint az előző scenárióban. A 4-es és 5-ös scenárió területhasználata közel ugyanaz.

9.3.6. Részösszegzés (1-5. scenárió)

Összehasonlítva a scenáriók végeredményeit egyértelműen látszik, hogy a területhasználatok közül a 1998-as területhasználatot (nagyüzemi – 2. scenárió) modellező scenárió a legrosszabb. A 2000 és 2005 között felvételezett területhasználat sokkal kisebb távozó üledéktömeget mutat. Fontos elkülöníteni a vízgyűjtőt elhagyó üledéktömeget, illetve azt amelyik felhalmozódik a vízgyűjtő bizonyos területein. A kiemelt lepusztulási területeket kell

majd a további scenáriókban veszélyeztetett területekként kezelni. Megfigyeltem, hogy mind az öt scenárióban az erdős területekre nagyon minimális eróziót ad a modell.

A modellezet csapadékesemények bizonyos részénél van egy határ, választóvonal, ahol két részre szegmentálható a csapadékesemény. Kezdődik egy 3 mm/h körüli intenzitással, amit beáztató szakasznak nevezhetünk, ezután következik a nagy intenzitású szakasz. Ha csak alacsony intenzitású beáztató szakasz van, szinte csak a kijelölt veszélyes területeken indul meg számottevő talajerózió, ami azonban nem hagyja el a vízgyűjtőt.

Ha több esik le, mint 10 mm összesen, az inkább elnyújtott eseményként jelenik meg (11-120 min). A nagy kárt okozó zivatarok előtt általában legkésőbb, 2-3 nappal korábban is volt eső. Tehát a talaj nedvesebb volt, mint az előbb említett csapadékeseményeknél. A komoly veszélyt tehát a beáztató szakasszal kezdődő, aztán nagy intenzitással folytatódó csapadékesemények jelentik.

Az 1. scenárióban kijelölt területek, a további 4 következő scenárióban is, az erózióval legjobban sújtott területekként jelentek meg. A földutak, mint vonalas elemei a területhasználatnak, csatornaként továbbítják a lejtőn lefelé mozgó hordalékot. Az 1-5. scenárió lehordási vonalai jól egybeesnek a valóságban megfigyelt lehordási vonalakkal.

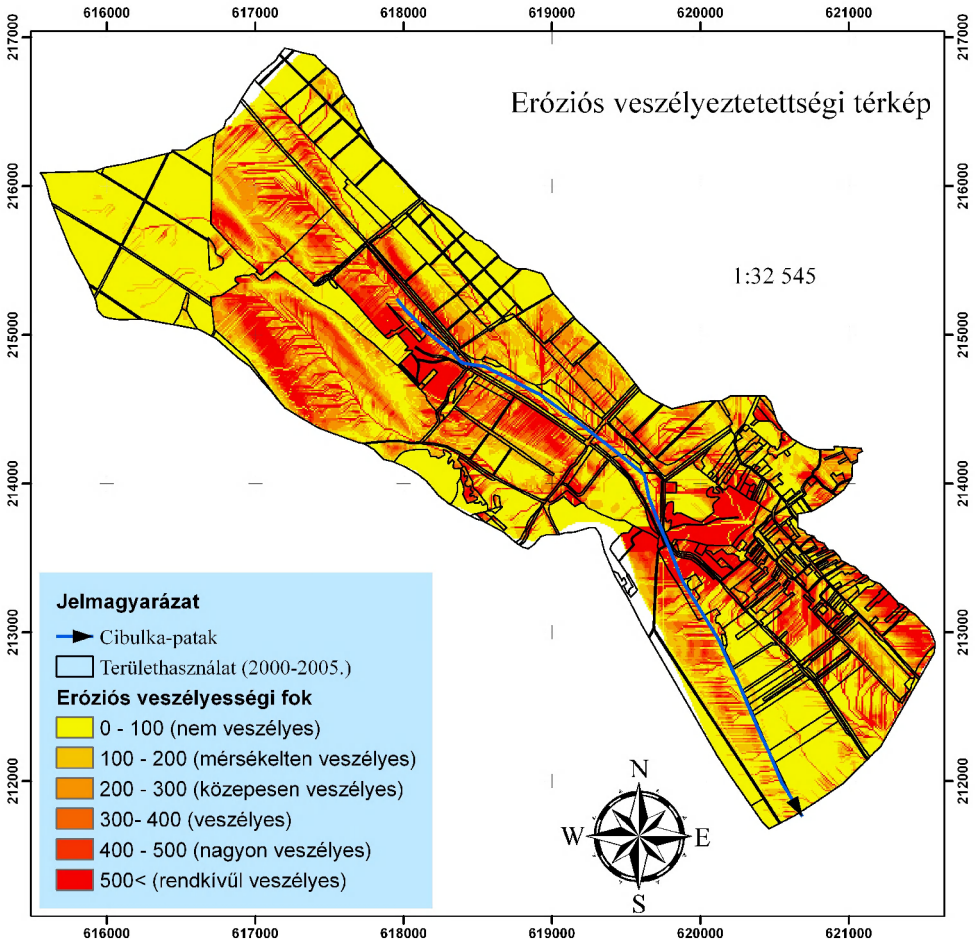
Az 1.scenárió három elkülönített területhasználati időszakának elkészítettem az átlag nettó eróziós (távozó összes üledéktömeg – kg) gridjét. Ebben a gridben minden cellára megkapom az adott celláról távozó nettó összes üledéktömeget. A területhasználati térképnél az összes előforduló területhasználatához rendeltem egy számot, növekvő sorrendbe állítva azokat, attól függően mennyire befolyásolhatják az erózió nagyságát (*29. táblázat*).

Területhasználat típus	**Területhasználati eróziós érték**
Erdő	*1*
Erdő (fasor)	*1*
Sövény	*2*
Legelő	*3*
Gyümölcskert	*4*
Szántó	*5*
Szőlő	*6*
Földút	*7*

29. áblázat: A Cibulka-vízgyűjtő területhasználati eróziós értékei

Ezt, a mértékegység nélküli számot területhasználati eróziós értéknek neveztem el. 10 méteres felbontású gridet is készítettem, a területhasználati eróziós értékre, a 2005-2007-es területhasználatra. Elkészítettem a vízgyűjtő lejtőkategória gridjét, amely szintén cellánként

tartalmazza lejtőszög értékét fok mértékegységben. Összeszoroztam a 3 gridet. A szorzás eredményeképpen minden cellára kapok egy értéket, ami annál magasabb minél nagyobb a cella eróziós veszélyeztetettsége. Az értéket eróziós veszélyességi foknak neveztem el. A három szorzótényező fontos erózióbefolyásoló tényező, ha az egyik érték magas, akkor a szorzat eredménye is növekszik, de nem olyan mértékben, mint ha mind a három szorzótényező magas lenne. Tehát, a legmagasabb értékű cellák lesznek a kiemelt veszélyességű területek, mert ott nagy valószínűséggel mind a három tényező magas vagy az egyik extrém kiemelkedő. Az alacsonyabb értékű területeknél valamelyik tényező vagy tényezők alacsonyabbak, tehát csökkentett az erózió veszélyessége. A módszer alapján készítettem el a vízgyűjtő erózió veszélyeztetettségi térképét (*42. ábra*).

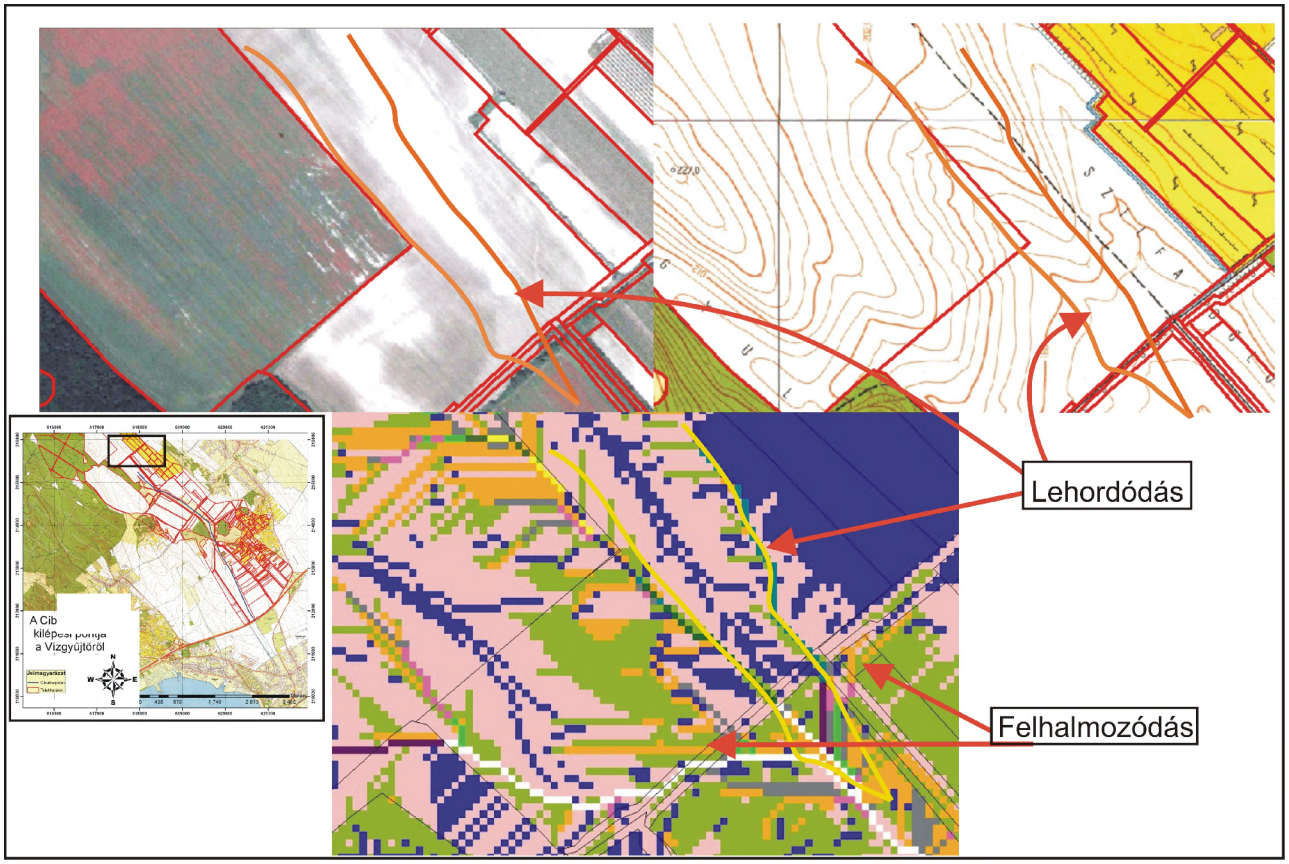


42. ábra: Az öt scenárió eróziós szimulációi alapján készített eróziós veszélyeztetettségi területek a Cibulka – vízgyűjtőn (13.sz.melléklet)

A Cibulka-vízgyűjtő legjobban veszélyeztetett területei a nagy kiterjedésű szántóparcellák, illetve a szőlőterületek, illetve a nagy lejtőszöggel rendelkező legelőterület.

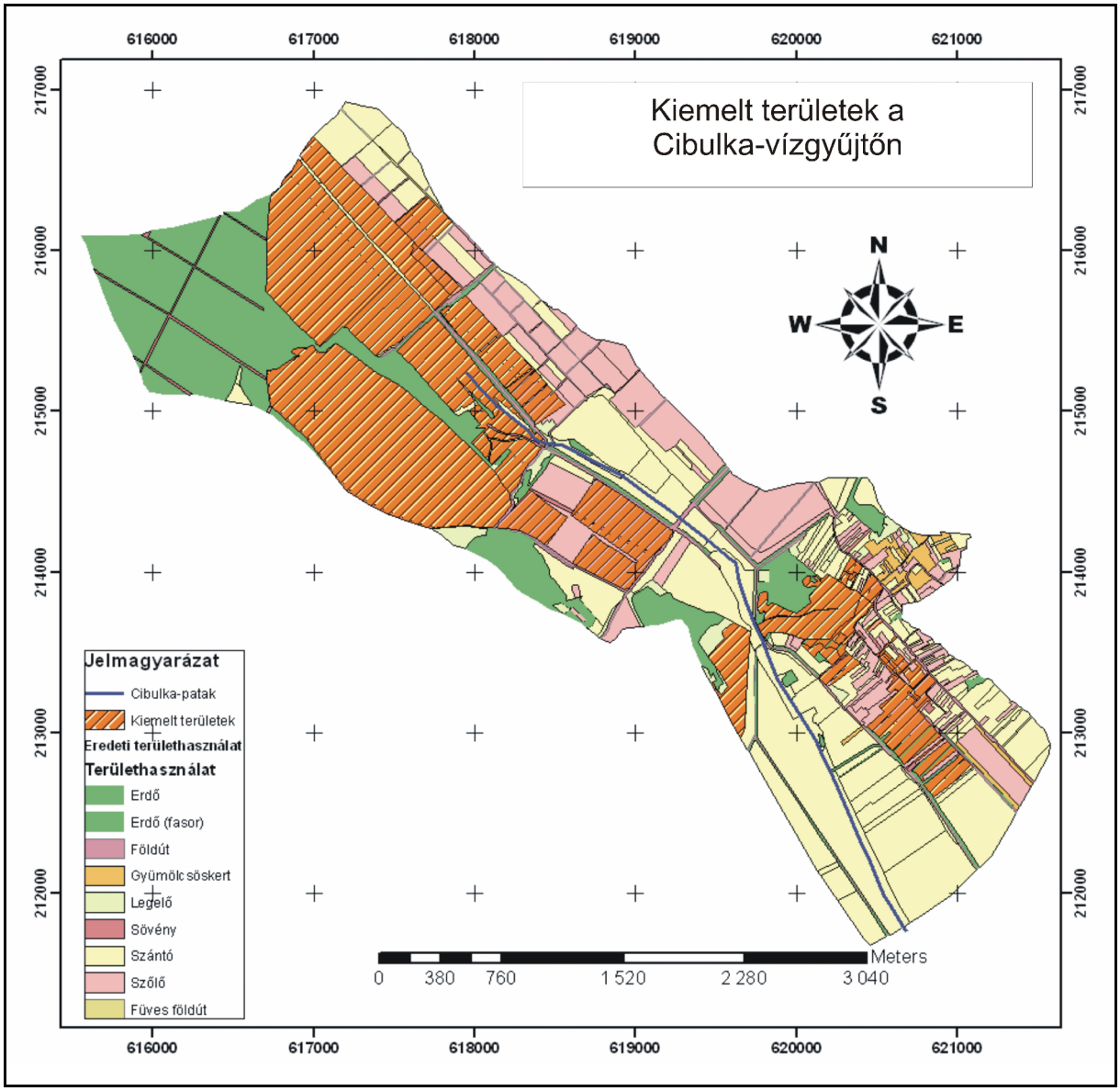
A vízgyűjtő nyugati medencéjét egy nagy szántó foglalja el szabad utat biztosítva az eróziónak, mivel semmilyen gátló funkció nincs a területen (*42. ábra*). Az északkeleti medencében található szántó kisebb veszélyt jelent. A vízgyűjtő középső részén, a nyugati oldalon, lejtőn elhelyezkedő szőlőültetvény (*42. ábra*) is kiemelt veszélyeztetettségű rész. A Cseplek-hegy, a vízgyűjtő középső részén, szinte teljesen legelővel, részben erdővel borított. Ezen a részen igen nagy az erózió a legelős területeken (*42. ábra*)

A *43. ábrán* látható terület, a Cibulka-patak forrásánál lévő völgytalpnál, a vízgyűjtő ÉK-i medencéjében található lehordási útvonalakat mutatja. A topográfiai térkép szintvonalai alapján kirajzolódó völgytalpakat mutatja a modell is, mint fő lehordási vonalakat.



43. ábra: Fő lehordási útvonalak a Cibulka-patak ÉK-i részvízgyűjtő medencéjének kilépési pontjánál

Az eróziós veszélyeztetettségi térkép alapján kijelöltem több parcellát, amelyek a legnagyobb eróziós szimulációs eredményeket produkálták (*44. ábra)*.



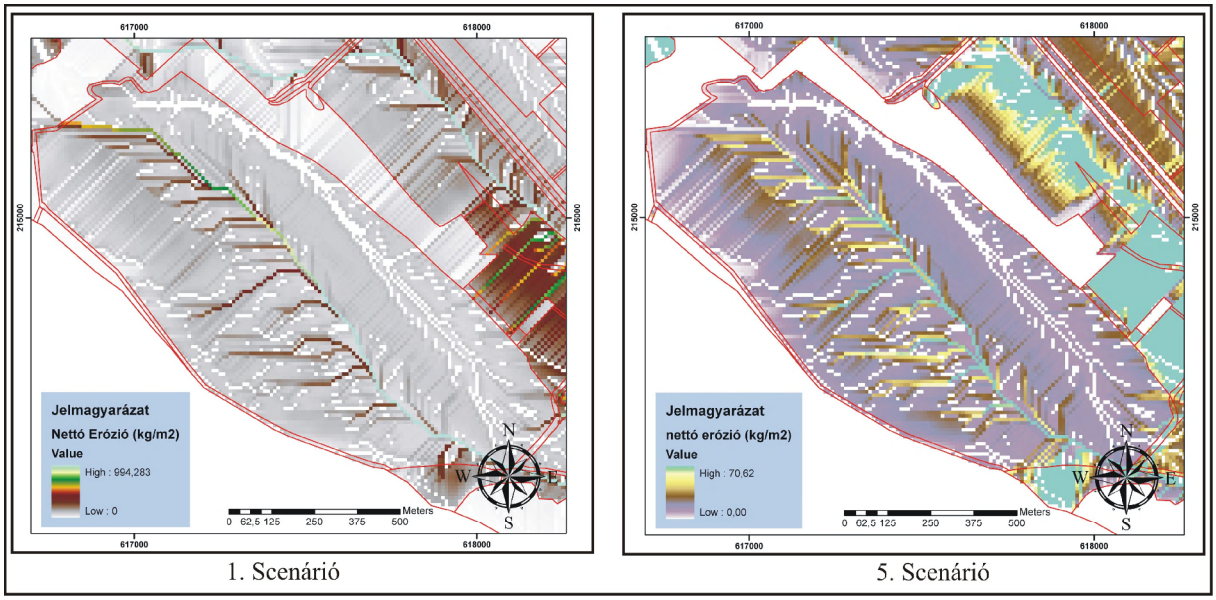
44. ábra: A Cibulka-vízgyűjtő kiemelten veszélyes parcellái az erózió tekintetében

	Nettó erózió (kg) **1999.07.12**	***Nettó erózió (kg)*** **2002.07.18**	***Nettó erózió (kg)*** **2006.07.09**
1. scenárió	8804	1519	3525
2. scenárió	178 748	49614	51099
3. scenárió	8804	3585	3525
4. scenárió	3869	1519	1534
5.scenárió	3869	1519	1534

30. táblázat: Az öt scenárió 3 időbeli szakaszának legnagyobb eróziót okozó csapadékeseményeinek szimulációs eredményei a Cibulka vízgyűjtő kilépési pontján (EOV X: 620 670; Y:211 866)

A kiemelt területekre szimulált eróziós eredményeken jól látszik, hogy változik az erózió a területhasználat változtatásával. A 1. sz. kiemelt parcellán (*45. ábra*) is csökkenő erózió tapasztalható, ami részben annak is köszönhető, hogy a parcella környezete is kedvezően

változott (pl.: erdősávok jelentek meg, amik felfogják a csapadék egy részét, nem jut el a szántóra) Igazán jelentős változás a 2000. év előtti időszak területhasználat típusánál figyelhető meg. A szántók csökkenése és a szőlő növekedése csökkenő eróziót eredményezett *(30. táblázat)*. Ehhez azonban hozzájárult az erdősávok, a legelők növekedése. A szőlőterületek adják a vízgyűjtőn belül a legnagyobb lehordási területeket, amelyeket azonban a 3.sz. parcella kivételével mindenhol erdősáv zár le a lejtő alsó részén, jelentősen csökkentve az eróziót.



45. ábra: Az 1. scenárió és az 5. scenárió eredményei az 1.sz parcella tekintetében

9.3.7. 6. scenárió - Vízvédelmi és talajvédelmi prioritások

Ebben a scenárióban a kiválasztott területhasználatot (2005) további változtatásokkal közelítem egy alacsonyabb eróziós ráta felé. A scenárióba talajvédelmi ([137]*MSZ 1397, 1998*) és vízvédelmi prioritások lettek beépítve. Talajvédelem szempontjából a lényeg, a talaj jó termőképességének megőrzése. A talajvédelmi és részben vízvédelmi intézkedéseket a vízgyűjtő tervezési alegységre vonatkozó Vízgyűjtő Gazdálkodási Tervezettel (VGT) ([138]*www.vizeink.hu*) összhangban építettem be a scenárióba. A 42 alegységre vonatkozó konzultációs anyagban megkülönböztetett intézkedési elemek között a területi agrárintézkedési csomagban a TA1 (agrárkörnyezetvédelmi intézkedések és művelési mód váltás a dombvidéken, erózió és nitrátérzékeny területen) és TA2 (művelési ág váltása dombvidéken, erózió és nitrátérzékeny területen) intézkedésekhez sorolható be az optimális területhasználat modellezése. A modellezéssel az egész tervezési alegységre vonatkozóan területhasználati változtatások irányvonalának megszabását segítve.

Az előző scenáriók (1-5.) szimulációja alapján lehatároltam az erózió által leginkább veszélyeztetett területeket a vízgyűjtőn belül. A terület lejtőkategória térképét és kitettség térképét összevetettem a területhasználati térképpel. Az előző scenáriók alapján kiemelt területek elsősorban a nagy kiterjedésű szántó- illetve szőlőparcellák, valamint az olyan művelés alatt álló parcellák, amelyek lejtése nagy ($4^{o}<$) és nincs ami megfogja a csapadékvizet. Tulajdonképpen azok a területek, amelyeknél az eróziót kiváltó feltételek ideálisak. Kiemeltem a 4^{o}-nál nagyobb lejtésű területeket vagyis a a magas lejtőszög által érintett parcellákat, talajfogó füves sávokkal láttam el. Az összes nagy szántó és szőlőparcella lejtőalj felöli részét füves bozótos résszel bővítettem. A parcellák területére beiktatott sávok lerövidítik a lehordódó talaj útját, csökkentve a lefolyó víz sebességét, ezáltal a szállító kapacitását is csökkentve. A kilépő talajtömeget a parcella szélére telepített sávok fogják meg *([139] FVM, 2004)*.

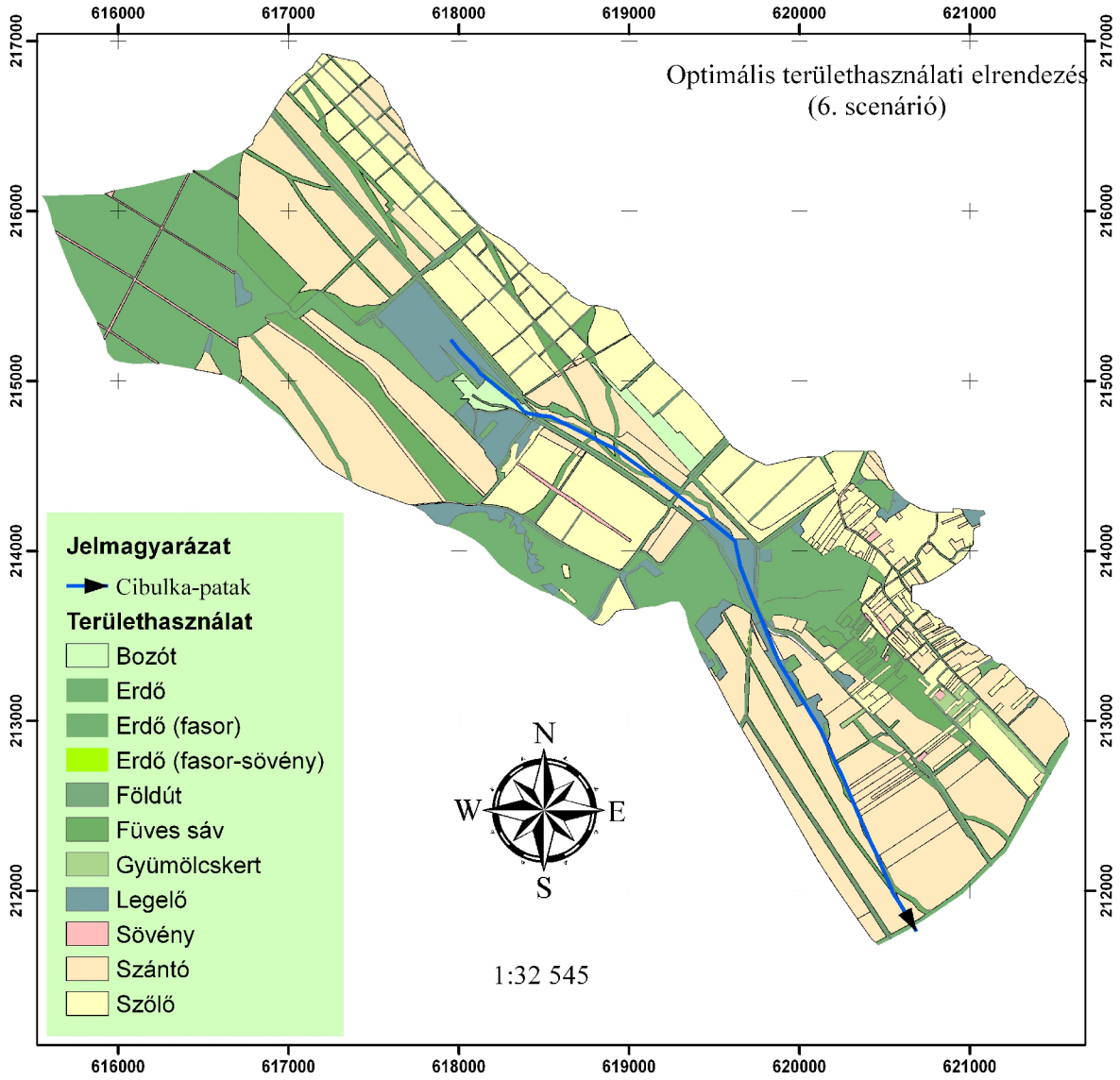
A gerincekre a nagy területű parcellák legfelső részére erdőt helyeztem, hogy a csapadékvíz fel tudjon szívódni a növényzet által, és a csökkentse a lefolyó víz talajromboló hatását.

A vízvédelem szempontjából lényeges, hogy a szántóföldi művelés során a tápanyag utánpótlására felhasznált műtrágyákból származó egyéb anyagok közül minél kevesebb érje el a felszíni vízfolyásokat. Ha ezt elérjük, akkor a felszíni víztestek kémiai és ökológiai állapotának javulását is elősegítjük. A felszíni vizeket a művelés alá vont területektől egy védősávval, zónával kell elválasztani, hogy az érkező felszíni vízfolyásokat és üledéket mintegy szűrőként funkcionálva előtisztítsa. A területre a völgyhálózat alapján a fő völgyek talpvonalában a fő lefolyás irányában pufferzónát jelöltem ki minden oldalról 10 méter szélességben. Ez a zóna egyébként is előírás a felszíni vízfolyásoknál, de a valóságban nem tartják be és nincs olyan ellenőrzési tevékenység egyik hatóság részéről sem, amelyik érvényesítené az előírások betartását, akár bírságolás útján is. A jövőben a VGT-ekben rögzített intézkedések, illetve azok betartatása lehet a megoldás. Az intézkedések a tervezési alegységek méretaránya miatt akár tulajdonosi szinten is meghatározhatóak. A tapasztalat azt mutatja, hogy célzottan meghatározott intézkedések betartásának ellenőrzése könnyebben végbevihető. A területünkön a szántók egészen a vízfolyásig érnek és a kimosódó tápanyagok a szennyezőanyagokkal együtt akadálytalanul bekerülhetnek a vízfolyásba.

A pufferzónákat egyesítettem a lejtőkategória és kiemelt területek alapján készített térképpel. Ez a végeredmény már tartalmazza a vízvédelem és a talajvédelem prioritásait.

A területhasználat változtatásánál figyelembe vettem, hogy a parcellák szerkezetét úgy változtassam, hogy az ne okozzon túl nagy problémákat a tulajdonosok számára

(megközelítés, használatváltozás). Úgy rendeztem a területhasználatban bekövetkezett változtatásokat, hogy azok a valóságban is végrehajtatóak legyenek (*46. ábra*).



46. ábra: A véglegesen kialakított területhasználat a beépített víz- és talajvédelmi prioritásokkal

Az eredmény jól érzékelhető a 6. scenárió 3 időszakra bontott eredményeiben is és a reprezentatív csapadékeseményeknél is.

1987-2000.: az összes távozó üledéktömeg 10160,6 kg ; átlag nettó erózió: 4,159 t/ha. A 6. scenárió 1998-2000 közötti szakaszának szimulációs eredményei kisebb eróziós eredményeket hozott, mint az eredeti területhasználat során szimulált értékek *(31. táblázat)*.

Az első öt scenárió legjobb eredményeit adó 4. scenárió első szakaszával közel azonos eredményeket mutat.

	Üledék tömeg (kg/m^2)	**Nettó erózió (t/ha)**	**Csapadék időtartam, összeg (min)-(mm)**	**Csapadék intenzitás max. (mm/h)**
1998.06.08.	1236,00	5,11	30 – 10,2	43,8
1998.06.12.	1194,00	4,94	40 – 9,5	48
1998.06.27.	407,00	1,64	110 – 21,3	31,8
1998.07.07.	215,00	0,89	140 – 25,1	24,6
1998.07.25.	1237,00	5,11	80 – 19,2	70,8
1998.08.21.	196,00	0,81	70 – 10,6	36,6
1998.09.05.	382,00	1,58	140 – 11,9	9
1999.06.04.	1119,00	4,63	140 – 20,6	4,4
1999.06.11.	407,00	1,68	70 – 7,1	24
1999.07.08.	3,70	0,04	140 – 53,2	63,6
1999.07.12.	3763,00	15,55	80 – 7,8	18
1999.07.14.	n.e,	n.e.	100 – 30,4	43,2
1999.08.16.	0,27	0,001	30 – 5,6	27
1999.09.09.	n.e.	n.e.	n.a.	n.a.
Összesen	**10159,97**	**40,4**	**-**	**-**

31. táblázat: A 6. scenárió 1998-2000 közötti szakaszának szimulációs eredményei

(n.e. – nincs a területet elhagyó erózió)
(n.a. – nincs adat)

2000-2005.: 4113,7 kg az összes távozó üledéktömeg; átlag nettó erózió: 1,68 t/ha *(32. táblázat)*.

	Üledék tömeg (kg/m^2)	**Nettó erózió (t/ha)**	**Csapadék időtartam, összeg (mm) – (min)**	**Csapadék intenzitás max (mm/h)**
2000.07.28.	21,78	0,20	140 – 18,2	18,6
2001.05.04.	n.e.	n.e.	50 – 13,4	50,4
2001.05.08.	n.e.	n.e.	40 – 6,5	33,6
2001.06.03.	n.e.	n.e.	110 – 13,2	36
2001.07.17.	174,00	0,72	140 – 22,4	28,8
2001.08.22.	1339,00	5,54	60 – 21,4	60
2002.07.13.	51,00	0,21	20 – 5	28,2
2002.07.18.	1515,00	6,63	140 – 32,9	51
2002.08.06.	4,30	0,02	140 – 13,1	18,6
2002.08.07.	397,00	1,64	90 – 17,6	45,6
2002.08.20.	478,00	1,98	50 – 15,5	55,8
2002.09.20.	110,00	0,46	100 – 11,6	27,6
2003.06.24.	n.e.	n.e.	20 – 9,4	37,8
2004.07.30.	n.e.	n.e.	70 – 7,5	21
2004.08.25.	24,00	0,10	50 – 8,5	27,6
2004.06.24.	n.e.	n.e.	90 – 18	31,2
Összesen	***4114,08***	***17,17***	-	-

32. táblázat: A 6. scenárió 2000-2005 közötti szakaszának szimulációs eredményei

(n.e. – nincs a területet elhagyó erózió)
(n.a. – nincs adat)

2005-2007.: 3090 kg az összes távozó üledéktömeg; átlag nettó erózió: 2,48 t/ha *(33. táblázat)*

	Üledék tömeg (kg/m^2)	**Nettó erózió (t/ha)**	**Csapadék időtartam, összeg (mm) – (min)**	**Csapadék intenzitás max (mm/h)**
2005.05.14.	n.e.	n.e.	90 – 8,5	21
2005.05.18.	4,00	0,11	100 – 17,3	55,2
2005.06.15.	28,00	0,27	20 – 6,9	39
2005.06.29.	49,00	0,20	70 – 12,6	39
2005.07.11.	396,00	3,78	120 – 25,3	45
2006.07.09.	1542,00	6,37	n.a.	n.a.
2006.09.19.	1071,00	4,43	40 – 19,1	12,7
Összesen	***3090***	***15,16***	-	-

33. táblázat: A 6. scenárió 2005-2007 közötti szakaszának szimulációs eredményei

(n.e. – nincs a területet elhagyó erózió)
(n.a. – nincs adat)

A kiemelt területek közül 3 parcellán észrevehetően csökkent a talajerózió mértéke. A vízgyűjtő egészét tekintve, a reprezentatív csapadékeseményeket figyelembe véve is jól érzékelhető a csökkenés *(34. táblázat)*.

Csap.esemény	***1999.07.12.***		***2002.07.18.***		***2006.07.08.***	
Scenárió	***1. scenárió***	***6. scenárió***	***1. scenárió***	***6. scenárió***	***1. scenárió***	***6. scenárió***
Üledék	8809 (kg)	3763 (kg)	3858 (kg)	1515 (kg)	3525 (kg)	1542 (kg)

34. táblázat: A reprezentatív csapadékesemények szimulációs összehasonlító eredményei (távozó összes üledéktömeg) az 1. és 6. scenárióra

A lehordódott üledék tömege kb. a harmadára csökkent a beépített intézkedések miatt. A terület 15 % - át kellett átalakítani az eredmény elérése érdekében úgy, hogy a terület funkciója alapvetően ne változzon meg, de az erózió veszélye csökkenjen.

A 9 év alatt a beépített változások az összes távozó üledékmennyiséget 26 681 kg-ról 17363,7 kg-ra csökkentette, amíg az átlag nettó erózió 0,92 t/ha/év – re csökkent 2,1 t/ha/év - ról. 9 évre számolva, ez a 1929,3 kg/év, ami jelentős csökkenésnek számít. Ebben a scenárióban alkalmazott változtatások tulajdonképpen egy-két nagy parcellától eltekintve a parcellák szélső 10 méteres sávját érint, de a vízgyűjtő egészére kivetítve jelentős lehordódási csökkenést idézett elő (*35. táblázat)*.

	Kilépő összes üledéktömeg (kg)	**Átlag nettó erózió (t/ha/év)**
1. scenárió (történeti területhasználat)	29035	13,2
2. scenárió (legrosszabb eset)	646702	296
3. scenárió (1998-2000. ter.haszn.)	47480	21,7
4. scenárió (2000-2005. ter.haszn.)	18631	8,42
5. scenárió (2005-2007. ter.haszn.)	18631	8,42
6. scenárió (optimális területhasználat)	17363	8,1

35. táblázat: Összefoglaló táblázat: A hat scenárió eredményei a Cibulka – vízgyűjtő kilépési pontján

Ezek a területek szűrőként funkcionálása a termelő számára terménykiesést jelenthet, de ha figyelembe vesszük az elérendő célokat, ezek elfogadható áldozatok.

9.4. Továbblépési lehetőségek

A modell első magyarországi alkalmazása egy kezdő lépés. Mivel ebben a dissszertációban egy területre történt a felhasználás, a továbbiakban méréseket kell majd végezni, olyan mintaterületeken, amelyek a többi fizikai talajtípusokra és a területhasználati típusokra is példákat adnak. Mérésekre és szimulációra van szükség Magyarország többi szőlőtermelő vidékén, illetve azokon a területeken ahol mezőgazdasági művelés, esetleg erdőirtások miatt jelentős eróziós folyamatok vannak jelen. A további mérések és adatok gyűjtése, szimulációk alkalmazása más területekre, pontosítani fogja a modell felhasználhatóságát a víz- és talajvédelmi tervezésben.

10. AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

10.1 Az eredmények összefoglalása

Vizsgálataimat a talajerózió kutatás nemzetközi és hazai szakirodalmának áttekintésével kezdtem, különös tekintettel a vízgyűjtő szintű talajeróziós vizsgálatokra. Kutatásom mintaterületéül egy a Velencei-tó vízgyűjtő rendszerébe tartozó kisvízgyűjtőt választottam. Ezen kisvízgyűjtőre futtattam az E3D modellt, annak érdekében, hogy meghatározhassam azon tájhasználati variánsokat, melyek talajvédelmi szempontból optimálisak. A modell felhasználását kalibráció és validáció előzte meg, mely folyamat során elkészítettem a szoftver Paraméterkatalógusának, magyarországi viszonyokra adaptált kiegészítését. Az optimális tájhasználatok modellezése a magyarországi Vízgyűjtő Gazdálkodási Tervezetek, erózió elleni intézkedéseinek előkészítésére, felhasználásra irányulnak.

Vizsgálati eredményeim alábbiakban összegezhetők:

10.2. A modell kalibrálásához szükséges bemeneti adatok mért értékeit összehasonlítottam a modellhez mellékelt Paraméterkatalógus értékeivel. A vízgyűjtőn a talajeróziót befolyásoló talajparaméterek a következőképpen alakulnak a vízgyűjtőn. A vizsgált területen a fizikai talajtípus szerint a vályog, agyagos vályog talajok a jellemzőek, amely az egész területre homogén. A genetikai talajtípusok szempontjából a cserjoznom jellegű talajok vannak túlsúlyban, a lejtők aljában felhalmozódott lejtőhordalék talajokkal, illetve az erdőterületeken barna erdőtalajokkal tarkítva. A humusztartalom 1,7 %, a kötöttség átlagos értéke 42 (K_A).

A paraméterek meghatározása során a szőlőültetvényekre is mértünk értékeket, amelyek nem szerepeltek a katalógus területhasználati típusai között, ezért ezek teljesen új adatként kerültek a katalógus magyarországi viszonyokra vonatkozó kiegészítő mellékletébe.

A mért értékeket összevetettem a németországi mért adatokat tartalmazó Paraméterkatalógus adataival, meghatározva az egyes paraméterek eltérésének nagyságát. A legnagyobb eltérést a kötöttség (4 %), a kezdeti talajnedvesség (%), illetve a talajkohézió (%) mutatta. A humusztartalom és a felszínfedettség jól egyezett (1 % alatti eltérés).

10.3. A kalibrálás előtt a modell érzékenységének vizsgálatát végeztem el, meghatározva azokat a paramétereket, amelyeknek a változására a modell kimeneti paramétereinek értékei érzékenyen reagálnak. A teszt során a bemeneti paraméterek értékeit változtattam +,- 10 %-kal, figyelve, hogy melyik paraméter változása okoz a kimeneti értékeknél 10 %-nál nagyobb eltérést. Érzékeny paraméternek bizonyult a térfogattömeg és a kezdeti talajnedvesség. Mindkettő 100%-nál nagyobb változást produkált a 10%-os változtatás során. Az érzékeny paraméterek adják a modell felhasználásának a korlátait, ezért ezek meghatározása fontos részeredmény.

10.4. A modell kalibrálása során a 3 év (2004-2007) üledékcsapdás (a két részvízgyűjtőn) méréseinek az eredményeit használtam fel, amelyből kiválasztottam 3 csapadékeseményt. A kalibrálást két reprezentatív területhasználatra, szántóra és szőlőültetvényre. A helyi viszonyokat jellemző mintavételi eredményeket használtam bementi értékként. A 3 csapadékesemény közül az egyikre kalibráltam a modellt az érzékeny paraméterekre, amelynek során feltártam a korrekciós faktor és a kezdeti talajnedvesség közötti összefüggést. A kalibrációs szimulációk eredményei alapján meghatároztam a két paraméter közötti összefüggést leíró függvényt. Mivel térfogattömeg befolyásolja a kezdeti talajnedvesség értékét a felszínborítottsággal együtt, ezért a végső korrekciós faktor táblázat kidolgozásánál módosítottam a kezdeti talajnedvesség és korrekciós faktor összefüggését leíró függvényt, a két másik paraméter változó értékeinek vonatkozásában. A szőlő esetében a kezdeti talajnedvesség és a korrekciós faktor értéke közötti összefüggés egyenesen arányos, a szántón hatvány jellegű. A végső korrekciós faktor táblázatok a térfogattömeg és felszínfedettség függvényében korrigált korrekciós faktor értékeket tartalmazzák a különböző kezdeti talajnedvesség értékekhez rendelve.

10.5. A validálás során kiválasztottam 3 db 1998-as mérési sorozathoz tartozó csapadékeseményt, és a 3.sz és 4.sz részvízgyűjtőre alkalmaztam a kidolgozott táblázatot. Az eltérések átlagára 22,4%-os értéket kaptam. A validáció alapján átdolgoztam a korrekciós faktor táblázatokat a csapadékesemények intenzitás lefutásának függvényében. A táblázatokban a korrekciós faktor értékekre az egyes kezdeti talajnedvesség értékekhez, korrekciós faktor intervallumokat rendeltem. A korrekciós faktor kiválasztásánál a csapadékintenzitást figyelembe véve az intervallum alsó vagy felső értékét kell alkalmazni.

10.6. Végeredményként egy olyan kiegészítő táblázatot dolgoztam ki, amely egyaránt figyelembe veszi, az érzékeny paramétereket és a csapadék intenzitást is. A táblázatot a részvízgyűjtőre kidolgozott paraméterkatalógus kiegészítéshez kell használni. A modellt a vályogos, agyagos vályog és homokos vályog, fizikai talajtípussal rendelkező területekre lehet használni.

10.7. A modell segítségével a Cibulka-kisvízgyűjtő területhasználatát változtattam a csökkenő erózió érdekében, amely Vízgyűjtő Gazdálkodási Tervezet TA1, illetve TA2 intézkedési szintjeinek felel meg. A modellezést scenáriókban végeztem, amelynél az alapot az eredeti 1998 és 2007 közötti területhasználat adta. A szimuláció során 9 év extrém csapadékeseményeit dolgoztam fel. Az eredeti területhasználatot 3 periódusra osztottam. A 3 periódus 3 eltérő típusú területhasználatot reprezentál.

1. 1998-2000.
2. 2000-2005.
3. 2005-2007.

Az eredeti történelmi területhasználat szimulációjának eredménye jellemzi egy intenzív szőlő és mezőgazdasági művelés alatt álló kisvízgyűjtő eróziós rátáját. Ez 9 évre számítva 26681 kg távozó összes üledéket adott, az átlag nettó erózió 6,31 t/év kaptam.

Az optimális területhasználat során víz és talajvédelmi funkciókat építettem be a scenárióba, amellyel a kisvízgyűjtőről távozó összes üledéktömeget 17363,7 kg-ra, az átlag nettó erózió 2,7 t/ha –ra csökkentettem.

10.8. A szimulációk alkalmazásának eredményeképpen, elkészítettem a Cibulka-vízgyűjtő erózió veszélyességi térképét, amelyen kijelöltem a talajlehordódási szempontból leginkább veszélyeztetett területeket.

10.9. Összefoglaltam melyek azok az erózió (talaj- és felszíni víz) védelmi tájhasználati változtatási prioritások, amelyek beépítésével az erózió vízgyűjtő szinten eredményesen csökkenthető (pl.: füves sávok mint pufferzónák kijelölt helyeken történő telepítése, erdősávok telepítése, területhasználati változtatás stb…)

10.10. A modellel végzett szimuláció során bebizonyosodott, hogy az Erosion 3D megfelelő keretek (megfelelő méretarányban) között alkalmazható magyarországi viszonyok között is, ha a modellhez kidolgozott kiegészítő táblázatokat használjuk.

11.SUMMARY

Studiing started with the evaluation of the Hungarian and international history of the development of watersed-level soil erosion modelling. Sample area was a catchment which was a part of the watershed of the Velencei lake. E3D modell was run for this catchment in order to determine those land use variants which are optimal for soil protection. Prior to the application of the modell calibration and validation was carried out during which the Parameter Catalogue adapted to Hungary was created. Modelling of optimal land use aimed the preparation of the erosion prevention plans of the Hungarian Watershed Management Plans.

The results are summarized int he following:

11.1. Input parameters were compared to the values of the Parameter Catalogue. Soil parameters influencing erosion are the following: The watershed is under intensive cultivation, 46,4 % ploughland, 21,5 % vineyard, 8 % meadow, 18,3 % forest, other areas are orchards. Slope of ploughland ranges between 2-6^{o} slope of vineyards ranges between 2-5^{o} Physical soil types are loam, clay loam and sandy loam. Among genetical soil types chernoziom dominates, at the base of slopes lejtőhordalék, and forests soils in woodlands. average humus content is 1,7 % average value of kötöttség is 42 (K_A).

During the determination of parameters vineyard data were also collected which land use originally was not part of the land use types of the catalogue, and were added to the adapted catalogue as new data.

Measured values were compared to the values measured in Germany from the Parameter Catalogue, defining the difference between them. Largest differences occured between bulk density (4 %), and initial soil moisture (%) . Organic carbon content and surface cover showed similar values (less than 1 % difference).

11.2. Before calibration sensitivity test was carried out to determine those parameters that make great changes in out parameters when adjusted. During the test input parameter values were changed +- 10 % observing which parameter causes changes higher than 10 % in output parameters. Bulk density and initial soil moisture were sensitive parameters. Both produced changes greater than 100 % if modified by 10 %. Sensitive parameters give the boundaries of modell applicability, so defining them is an important issue.

11.3. During modell calibration results of sediment trap measurement (of both cathcments) of 3 years (2004-2007) were used selecting 3 precipitation events. Calibration was carried out for two representative land uses, ploughland and vineyard. Representative sampling results were used as input values. One of the 3 precipitation events was selected for the calibration of the modell for sensitive parameters, in which correlation between correction factor and initial soil moisture was determined. Function of the correlation of bulk density and initial soil moisture was determined based on calibration simulations. As bulk density and cover influences initial soil moisture, during the elaboration of final correction factor table the function of the correlation of bulk density and initial soil moisture was modified. In case of vineyard the correlation of bulk density and initial soil moisture is directly proportional, in case of ploughland hatvány jellegű. In the final correction factor tables correction factors are given in the function of of bulk density and surface cover for initial soil moisture.

11.4. In the neighbouring cathchments (3. and 4.) of Cibulka watershed sediment trapping measurements were carried out in 1998. During validation 3 precipitation events were selected for 1998 and the tables were applied to catchments 3 and 4. Average difference between measured and modelled erosion rate was 22,4 %. Based on the validation correction factor tables were adjusted to precipitation intensity. In the correction factor tables correction factor intervals were given to the initial soil moisture values. When selecting correction factor the lower or upper value of the interval should be selected based on precipitation intensity.

11.5. As a final result a table was obtained which considers both sensitive parameters and precipitation intensity. Table should be used as a supplement of the Parameter Catalogue prepared for the catchment.

The model can be applied for clay loam and sandy loam soil types

11.6. With the help of the model land use of Cibulka watershed was changed to decrease erosion to reach TA1 and TA2 intervention levels of the Watershed Management Plan. Modeling was carried out in scenarios, considering the original land use of 1998-2007 as a reference. During simulation extreme precipitation events of the 9 years were processed. Original land use was divided to 3 periods. Each period represents a different land use type.

1. 1998-2000.
2. 2000-2005.

3. 2005-2007.

Results of the simulation of the original historical land use represents the erosion rate of a catchment of an intensively cultivated vineyard and farmland. In 9 years it gives 26681 kg removing sediment, the average net erosion is 6.31 t/year.

The result of worst case scenario is extremely bad: 646742 kg and 296 t/ha.

In the case of optimal land use water and soil protection measures were integrated into the scenario, which decreased the removing sediment to 17363.7 kg, and the average net erosion to 2.7 t/ha respectively.

11.7. As a result of simulations the erosion hazard map of the Cibulka watershed was created highlighting the most hazardous zones.

According to the erosion hazard map the 3 industrialized lots and a hill covered with meadow are highly hazardous. The average slope on the ploughland is $3,6^{o}$ on the vineyard $2,7^{o}$ on the meadow $8,9\ ^{o}$. Largest erosion occured on the vineyard during the 07.12.1999 precipitation event: 97872 kg.

11.8. Simulation proved that application of grassy buffer stripes on selected locations, planting wooded stripes and changes in land use can effectively reduce erosion.

Simulation runs with the Erosion 3D software proved that the software can be applied within the Hungarian environment in the 10-20 km^2 catchment with the use of the supplemental tables elaborated for the model. The model can be a useful tool to define strategic steps of erosion prevention measures within the Watershed Management Plan.

12. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Mindenek előtt szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Farsang Andreának, aki az elmúlt években folyamatos figyelemmel kísérte előrehaladásom, emberi és szakmai segítséget nyújtott számomra. Lelkiismeretes munkájával, hasznos szakmai tanácsaival jelentősen hozzájárult e munka létrejöttéhez.

Tanulmányaim és kutatásom során a már egy évtizede nyújtott folyamatos segítséget köszönöm az SZTE Természet Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék minden munkatársának, különösen Barta Károlynak a modellezés terén és Tobak Zalánnak a terepi mérések során nyújtott segítségéért.

A szükséges laborvizsgálati mérések elvégzésekor kapott gyakorlati segítséget és a sok hasznos tanácsot nagyon köszönöm Tápai Ibolyának és Fekete Istvánnak.

Seretnék köszönetet mondani a Fejér Megyei Növény és Talajvédelmi Szolgálat (Velence) munkatársának Kele Gabriellának a szíves együttműködéséért a szolgáltatott adatok terén, illetve a az Agromark 200 Rt. és az EDECK Kft-nek, hogy rendelkezésünkre bocsájtották az üledékcsapdás mérésekhez a területüket.

Szeretnék egyúttal Mindenkinek, barátoknak és kollegáknak is köszönetet mondani, mert sokan voltak még, akik segítettek abban, hogy ezt a disszertációt meg tudjam írni.

13. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1]*Thyll Sz. (szerk.)1992:* Talajvédelem és vízrendezés dombvidéken. Mezőgazda Kiadó Bp.o.350.

[2] *Kerényi A., 1991.:* Talajerózió. Térképezés, laboratóriumi és szabadföldi kísérletek. Akadémiai Kiadó. Budapest. o. 219.

[3]*Dowdeswell, E. 1998:* Extent and impacts of Soil Degradation on Worldwide Scale. XIV-XV. In:Towards Sustainable Land Use. Furthering Cooperation Between People and Institutions. Selected papers of the 9th Conference of the ISCO (ed.:Blume, H. – P. – Eger, H. – Fleischauer, E.). Catena Verlag Reiskirchen, Germany, pp. 44 – 53.

[4]*Stefanovits P. 1975:* Talajtan, Mezőgazdasági kiadó, Budapest,1975 o..

[5]*Schmidt, R.G. 1979:*Probleme der Erfassung und Quantifizierung von Ausmass und Prozessen der aktuellen Bodenerosion (Abspülüng) auf Ackerflachen, Physiogeographica 1, Basel

[6]*Kerényi A, 1991:* Talajerózió. Akadémiai kiadó Bp., p

[7]*Barta K., 2004:* Talajeróziós modellépítés a EUROSEM modell nyomán. Doktori (PhD) értekezés Szeged p.4.

[8]*Magyar Közlöny – 2004/102. szám*: Magyar Közlöny Lap-és Könyvkiadó, Bp. o. 9429.

[9]*Farsang A., Kitka G., Barta K., 2006:* A talajerózió szerepe a talaj foszforháztartásában In: Kiss A, Mezősi G, Sümeghy Z (szerk.)Táj, környezet és társadalom: ünnepi tanulmányok Keveiné Bárány Ilona professzor asszony tiszteletére. Szeged: Szegedi Tudományegyetem, 2006. pp. 179-191. Könyvfejezet

[10]*2000/60/EK, 2000*: Az Európai Parlament és a Tanács 2000. október 23-i 2000/60/EK Irányelve az európai közösségi intézkedések kereteinek meghatározásáról a víz politika területén.

[11]*221/2004.(VII.) Kormány rendelet a vízgyűjtő-gazdálkodás egyes szabályairól, 3. paragrafus (1) bekezdés.*

[12]*Mucsi L., 1997.*: A területhasznosítás értékelése távérzékeléssel - in: A geoökológiai térképezés elmélete és gyakorlata (szerk.: Mezősi G. - Rakonczai J.) JATE Természeti Földrajzi Tanszék, Szeged, pp. 113-122.

[13]*Szalma E., Kitka G., 2009:* Magyarországi vízgyűjtők biológiai aktivitás értékei. Kézirat

[14] *Barta K, 2004* **:** Talajeróziós modellépítés a EUROSEM modell nyomán. Doktori (PhD) értekezés Szeged o.5.

[15]*Bork H.R., .Schröder A,1996:*Quantifitierung des Bodenabtrages anhand von Modellen. In: Blume H-P, Felix-Henningsen P, Fischer WR, Frede H-G, Horn R, Stahr K (eds) Handbuch der Bodenkunde, I. Erg Lfg 12/96:1-43.

[16]*Wischmeier W. H., Smith D. D., 1978:* Predicting Rainfall Erosion Losses. Agricultural Research Service Handbook No. 282. United States Department of Agriculture, Washington. P. 58.

[17]*Kirkby M.J., Morgan R.P.C., 1980: Soil Erosion, Wiley – Interscience Publication, pp.*

[18]*Centeri Cs. 2002b:* A talajerodálhatóság terepi mérése és hatása a talajvédő vetésforgó kiválasztására. Növénytermelés. 51(2): 211-222.

[19]*Wischmeier W. H., Smith D. D., 1978:* Predicting Rainfall Erosion Losses. Agricultural Research Service Handbook No. 282. United States Department of Agriculture, Washington. P. 58.

[20]*Barta, 2004* **:** Talajeróziós modellépítés a EUROSEM modell nyomán. Doktori (PhD) értekezés Szeged o. 8.

[21]*Williams J.R., Berndt H.D., 1977:* Sediment yiled prediczion based on watershed hydrology. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 20 1100-1104

[22]*Renard K.G., Foster GR, Weesies GA. – Porter JP.,1991:* RUSLE – Resived universal soil loss equtation. Journal of Soil and Water Conservations. 46.pp.30-33.

[23]*Hensel, H., Bork, H. R., 1988.* : EDV-gestützte Bilanzierung von Erosion und Akkumulation in kleinen Einzugsgebieten unter Verwendung der Modifizierten Universal Soil Loss Equation. Landschaftsökologisches Messen und Auswerten. 2. (2/3) 107--136.

[24]*Schwertmann U., Vogl V.,Kainz M., 1987:* Bodenerosion durch Wasser – Vohersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmassnahmen. – Ulmer, Stuttgart, pp 64.

[25] *Flacke W., Auerswald, K., & Neufang, L., 1990.:* Combining a modified Universal Soil Loss Equation with a digital terrain model for computing high resolution maps of soil loss resulting from rain wash. Catena. 17. 383-397.

[26]*Rusle2:* http://fargo.nserl.purdue.edu/rusle2_dataweb/RUSLE2_Index.htm

[27]*Knisel W. G., 1980*:A field scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management system. USDA Conservation Research report 26.

[28]*Schmidt J. 2000:* Soil Erosion – Application of Physically Based Models (Enviromental Science), Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York pp. 165.

[29]*Williams J.R, Dyke P.T., Jones C.A, 1983. EPIC:* a model for assessing the effects of soil erosion on soil productivity. In: Laurenroth WK et al. (eds) Analysis of ecologocal systems. State-of-the-Art in Ecological Modeling pp. 555-572, Amsterdam.

[30]*Williams J.R., Berndt H.D., 1977:* Sedimet yield prediction and utilization of rangelands. Documentation and User Guide. US Department of Agriculture, ARS 63, Washinton DC.

[31]*Onstad CA., Foster GR., 1975*:Erosion modelling on a watershed. Transaction of the Amerivcan Society of Agricultural Engineers.18/2.pp.288-292.

[32]*Williams J.R., Arnold J.G., Srinivasan R.., Ramanarayanan, 1997*: APEX: A nwe toolfor predicting the effects of climatich changes and CO_2 changes on erosion and water quality. In: Modeling Soil Erosion by Water NATO-ASI Global Change Series. Eds. J. Boardman and D. Favis-Mortlock. Heidelberg Germany. Springer pp.

[33]*Lane LJ. , Nearing M.A., 1989*: USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP): hillslope profile version. Profile model documentation. NSERL Report 2. West Lafayette, USDA-ARS, pp. 269.

[34]*Renschler, C.S.,D.C. Flanagan, B.A. Enge, J.R. Frankenberger, 2002*. GeoWEPP – The Geo-spatial interface for the Water Erosion Prediction Project. Paper Number: 022171 An ASAE Meeting Presentation at the 2002 ASAE Annul International Meeting /CIGR XVth World Congress Sponsored by ASAE and CIGR Hyatt Regencey Chicago, Illinois, USA, 2002.

[35]*Beasley and Huggin,s 1982* : A modell for watershedplanning Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 23.pp.938-944.

[36]*Young RA, Onstad CA, Bosch DD, Anderson WP, 1994*: Agricultural Non-Point –source Pollution Modell (AGNPS). User Manuel, USDA, Agricultural Research Service, Washington. V4-03.

[37] *Arnold, J.G., J.R. Williams, R. Srinivasan, K.W. King, R.H. Griggs, 1995:* SWAT – Soil and Water Assessment Tool: Draft UsersMAnual, USDA-ARS, Temple TX.

[38]*www.brc.tamus.edu/swat*

[39]*Woolhiser DA, Smith RE, Goodrich DC, 1990:* A kinematic runoff and erosion modell:documentation and user manual. U.S.D.A., Agricultural Research Service ARS – pp.77.

[40]*Elwell,H. A., 1981:* A soil loss estimation technique for southern Africa. In:Soil conservation: problems and prospects (ed:Morgan, R.P.C.). Chichester, Wiley.pp.281-292.

[41]*De Root APJ., Van Dijk PM., Ritsema CJ., Offersman RJE., Cremers NHDT., Kwaad FJPM., Stolte J., 1995:* Soil Erosion Normalisation Project South Limburg , The Netherlands (in Dutch). Winand Staring Centre, Wageningen, Report. pp. 364.1:234.

[42]*Morgan R.P.C., Quinton J.N., Rickson R.J.,1992:* EUROSEM: Documentation manual. Silsoe College.p.84.

[43]*Morgan R.P.C., Quinton J.N., Smith R.E.,Govers G, Poesen JW.A., Auerswald K., Chisci G., Torri D, Styczen M.E., 1998a*: The Europen Soil Erosion Modell (EUROSEM): a dinamic Approach for Predicting Sediment Transport from fields and Small Catchments. Earth Surface Processes and Landforms 23.pp. 527-544.

[44]*Bennet J.P., 1974:* Concepts of mathemathical modeling of sediment yield. Water Resources Research 10 (3) pp. 485-492.

[45]*Kirkby M. J., 1980:* Modeling water erosion processes. In: Kirkby MJ, Morgan RPC (eds)Soil Erosion, Wiley, Chichester, pp.183-216.

[46]*Woolhiser D.A., Smith R.E., Goodrich D.C., 1990:* KINEROS a kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual. US Department of Agriculture, ARS 77, Washington DC.

[47]*Richter G., Kertész Á., Márkus B., 1995:* Assessment of soil erosion in a small watershed covered by loess. Geojournal 36/2-3.pp.285-288.

[48]*Huszár T., 1999:* Talajerózió-becslés az EPIC-ERÓTÓP módszerrel. Földrajzi Értesítő 48/1-2.pp.189-198.

[49]*Deinlein R., Boehm A., 2000*: Modelling Overland Flow and Soil Erosion for a MilitaryTraining Area in Southern Germany. In: J. Schmidt, (Ed.): Soil Erosion – Application of Physically Based Models. Berlin, Heidelberg, New York, pp 163-178.

[50]*Herzig A., 2008*: A GIS-based for the Multiobjective Optimization of Areal Resource Allocation. 11th AGILE International Conference on Geoghraphic Information Scinece 2008, University of Girona, Spain. pp1-17. http://plone.itc.nl/agile_old/Conference/2008-Girona/PDF/105_DOC.pdf

[51]*Schmidt J., Werner M. Von, Michael A.,1999:* Application of the Erosion 3D model to the CATSOP watershed, The Netherlands. In Catena 137 (1999) S. pp. 449-456.

[52]*EU ENV4-CT97-0687:* www.itc.nl/lisem/container_lisem_gullies

[53] *Thornes J.B., Brandt C.J.,, 1996:* Brandt, C.J. , Thornes, J.B. (Eds),Mediterranean Desertification and Land Use, John Wiley & Sons, New York, NY, pp.1–11.

[54]*WSM300, 2005:* Verbesserte Ansatzte für Wasser- und Stoffstrommanagement in intensiv genutzten kleinen Einzugsgebieten auf der Grundlage von integrierten Nutzen- und Risikowertungen. Sachsise Landesanstalt für Landwirschaf, Dresden, 2005. november, pp. 75-76.

[55]*Van Rompaey A. J.J., Krasa J., Dostal T., Govers G., 2003/A:* Modelling sediment supply to rivers in Eastern europe during and after the collectivisation period. Hydrobiologia 494 (1-3).

[56]*Kazó B., 1966:* A talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak meghatározása mesterséges esőztető készülékkel. Agrokémia és Talajtan 15/2.pp. 239-252.

[57]*Kazó B., 1967*: Új módszer a talajpusztulás térképezésre mesterséges esőztetés útján. Földrajzi értesítő 16/3.pp.375-386.

[58]*Erődi B., Horváth V., Kamarás M., 1965*: Talajvédő gazdálkodás hegy- és dombvidéken. Mezőgazdasági Kiadó, Bp.p.403.

[59]*Kiss A., Prímás A., Regős F., 1972:* Irányelvek lejtős területek üzemi meliorációs tervezéséhez. OMNI bp.p.170.

[60]*Máté F., 1974:* Eróziós veszélyeztetettségi térképezés. In: Az MTA TAKI 25 éve. MTA TAKI Bp.pp.29-32.

[61]*Stefanovits P., 1966:* Talajvédelmi tervek talajtani megalapozása. Agrokémia és Talajtan. 15 p. 215 -228.

[62]*Kertész Á., Richter G., Márkus B., 1997:* Field work, experiments and methods. Erotope mapping as a basis for the application ont he USLE on watershed scale. In: The Balaton project. ESSC Newsleter 1997. 2-3. Bedford. European Society for Soil Conservation. Pp. 22-26.

[63]*Centeri Cs., 2002b:* A talajerodálhatóság terepi mérése és hatása a talajvédő vetésforgó kiválasztására.Növénytermelés. 51(2): 211-222.

[64]*Dezsényi Z., Lendvai Z., 1986:* A Zala vízgyűjtőjének eróziós viszonyai és hatásuk a felszíni vizek minőségére. Agrokémia és Talajtan 35/3-4.pp.363-382.

[65]*Dezsényi Z., 1982:* A Balaton részvízgyűjtőinek összehasonlító vizsgálata az erózióveszélyeztetettség alapján . Agrokémia és Talajtan 31/3-4.pp.405-425.

[66]*Jolánkai G., 1982:* Tapasztalatok a nem pontszerű terhelések modellezésével kapcsolatban a Balaton vízgyűjtőjén. VITUKI Közlemények 36. pp. 148-156

[67]*Jolánkai G., 1984:* Talajerózióból és bemosódásból származó tápanyagterhelés vizsgálata – VITUKI, Budapest

[68]*Mezősi G., Bárány Kevei I., Mucsi L., Balogh I.,1993:* First results of GIS based geoecological mapping. Acta Geographica Szegediensis 31. Szeged.pp.71-82.

[69]*Farsang A., 1997:* In - Mezősi G., Rakonczai J., 1997 - A geoökológiai térképezés elmélete és gyakorlata, JATE Természeti Földrajzi Tanszék, Szeged, o. 37-42.

[70]*Vörös H. 1996:* A talajerózió számításának néhány módszere. Szakdolgozat. Szeged. p.50.

[71]*Richter, G., Mezősi G., 1990:* Bodenerosion, Winderosion und Bodenfruchtbarkeit – eine quantitative Naherung mit EPIC Model. ACTA Geographica Szegediensis 28-30. Szeged.pp.67-81.

[72]*Mezősi G., Richter G., 1991:* Az EPIC (Erosion productivity Impact Calculator) modell tesztelése. Agrokémia és Talajtan 40/3-4. Bp.pp. 461-468.

[73]*Kertész Á., Huszár T., 1996:* Talajerózióbecslés az USLE és az EPIC modellek alkalmazásával – összehasonlítás – In: A termőföld védelme (135 p.) OMÉK '96 Kísérő rendezvény – Gödöllői Agrártudományi Egyetem, Gödöllő pp. 57-65.

[74]*Tóth A., Szalai Z., Jakab G., Kertész Á., BádonyiI K., Mészáros E., 2001:* Talajpusztulás modellezése MEDRUSH modell alkalmazásával. Földrajzi Értesítő 50//1-4.pp.127-136.

[75]*Kertész Á., 1995*: Soil erosion in Lake Balaton Catchment. MEDALUS Papaer No 69, London. 13 p.

[76]*Kertész Á., Richter G., 1997:* Results. Soil loss int he Örvényesi watershed. In:The Balaton project. ESSC Newsletter 1997.2-3. Bedford. European Socity for Soil Conservation. Pp. 28-29.

[77]*Huszár T., 1998*: A talajerózió térképezése magyarországi mintaterületeken térinformatikai módszerekkel. PhD értekezés tézisei. Budapest.

[78]*Kertész Á., Huszár T., Tóth A., 2000:* Soil Erosion Assessment and Modelling. In: Physicogeographical Research in Hungary (ed.:Kertész Á. Et. al.) Studies in Geographical Research Inst. HAS, Budapest.pp.63-74.

[79]*Barta K., 2004* **:** Talajeróziós modellépítés a EUROSEM modell nyomán. Doktori (PhD) értekezés Szeged o.

[80]*Verőné W. M., 1996*: Távérzékelés alkalmazása a talajerózió becslésben Pázmándi mintaterületen.

[81]*Barta K., 2004* **:** Talajeróziós modellépítés a EUROSEM modell nyomán. Doktori (PhD) értekezés Szeged o.

[82]*Csató SZ., Barta K., Farsang A., 2000:* Az elmúlt 20 év tájhasználati változásai és azok hatásai velencei-hegységi mintaterületen. In: A táj változásai a Kárpát medencében a történelmi események hatására (szerk.: Füleky Gy.). Budapest-Gödöllő.pp.222-227.

[83]*Rácz P., Bódis K., Farsang A., 2002:* Study ont he element – movements int he Velence mountains. In: A Faz, R Ortiz, A. R. Mermut (ed.) International symposium on sustainable use and management of soils and semiarid regoins, Murcia, Spanyolország, 2002.09.22-2002.09.26.

[84]*Farsang A., Barta K., 2004:*A talajerózió hatása a feltalaj makro- és mikrpelem tartalmára, TALAJVÉDELEM különszám: 268-276 (2004).o.

[85]*Kitka G., Farsang A., Barta K., 2006:* A talajerózió modellezés a vízgyűjtő menedzsment szolgálatában. In: Kertész Á, Dövényi Z, Kocsis K (szerk.) III. Magyar Földrajzi Konferencia: absztrakt kötet. Budapest, Magyarország, 2006.09.06-2006.09.07. Budapest: MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, pp. 124

[86]*Dezsény Z., 1982:* A Balaton részvízgyűjtőinek összehasonlító vizsgálata az erózióveszélyeztetettség alapján. Agrokémia és Talajtan 31. No 3-4. pp. 405-421.

[87]*Tóth A., Jakab G., Huszár T., Kertész Á., Szalai Z., 1997:* Soil erosion measurements int he Tetves Catchment, Hungary. In: Jambor, P – Sobocka, J. (eds) Proceedings of the Trilateral Co-operation Meeting on Phsycal Soil Degradation. Bratislava. Pp. 13-24.

[88] *Sisák I., Szabó K., Szabó J.*, 2007 : Eróziós alkalmazás fejlesztése ESRI ArcIMS felületre. ESRI Magyarország Felhasználói Konferencia. 2007. október 25. Budapest CD kiadvány

[89]*Van Oost K., Verstraeten G., Van Rompaey A., Govers G., Poesen J., 2002:* Evaulating an integrated approach to catchment management to reduce soil loss and sediment pollution trhough modelling. Soil Use and Management, 18, pp. 386-394

[90]*Jordán Gy., Rompey v A., Szilassi P., Csillag G., Mannaerts C., 2004:* Historical land use changes and their impact on sediment fluxes in a small catchment. Kézirat.

[91]*Smith J., 1996*: Entwicklung und Anwendung eines physikalisch begründeten Simulationsmodells für die Erosion geneigter, landwirtschaftlicher Nutzflachen. Berliner Geographische Abhandlungen 61, Berlin, Institut für Geographische Wissenschaften, pp. 148.

[92]*GeoGnostics, www.bodenerosion.com*

[93]*Rácz P., 2003:* Az Erosion 3D talajeróziós modell paramétereinek előkészítése, Diplomamunka, Gödöllő, Szent István Agrártudományi Egyetem o. 21-22

[94]*Erosion 3D, Ver. 3.1.1., 2006 © 2006 Geognostics Software (CD)*

[95]*Von Werner M., 2003:* Erosion 3D Version 3.1.1,Benutzerhandbuch, Geognostics Software, Berlin 86 S

[96]*Deumlich D., Mioduszewski W., Kocmit A., 1999*: Analysis os niutrients entering rivers with surface flow int he Odra cacthment. – Journal of Water and Land Development (3): 33-45.

[97]*Seidel N., Weigert A., 2006:* Impact of Landuse on Runoff and Erosion int he Weisseritz catchment – Soil and Water Conservation Unit TU Bergakademie Freiberg – BMBF - Verbundprojekt
http://www.webjschmidt.de/Workshop%202005/Impact%20of%20landuse%20on%20runoff%20and%20erosion.pdf

[98]*Unterseher E., Ceaser R., Hölscher T.H., Müller-Samann K., 2006:* Anwendung des Modells „EROSION-3D" in badischen Lössgebieten
http://www.zalf.de/dbg/bodenerosion/unterseherDBG2006.pdf

[99]*Rüters S., 2006:* Biotopverbund und Abflussretention in der Agrarlandschaft. Modellanalytische Untersuchungen am Beispiel des sachsischen Lössügellandes.

http://www.umwelt.uni-hannover.de/fileadmin/institut/BzrP_Nr87.pdf

[100]*Schröder A., 2006:* Landuse and flood protection – assessing the effect of land use change on runoff and sediment yield using the EROSION 3D simulation model. Saxonian State Agency for Enviroment and Geology – Research Period:11/2004 – 12/2006.

[101]*Kitka G., Farsang A., .2005:* Talajerózió modellezés a vízgyűjtő menedzsment szolgálatában In: & (szerk.),„A környezettudomány elmélete és gyakorlata. Környezetgazdálkodás európai keretben.” Tudományos Konferencia. Szeged, Magyarország, 2005.04.20-2005.04.22. o.

[102]*Farsang A., Kitka G., Barta K., 2005:* Modelling of soil erosion and nutrient transport to serve watershedmanagement: case study in a subwatershed of Lake Velence in Hungary In: Europen Geosciences Union Geophysical Research Abstracts, Volume 7.. Bécs, Ausztria, 2005.04.24-2005.04.29. pp.

[103]*Kitka G., Farsang A., Barta K., 2006:* Erosion modelling with E3D to serve of watershed management in the Velence Mountains: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft ***MITT DEUTSCH BODENKUND GES*** 108: 67-68 (2006) Folyóiratcikk

[104]*www.web-jschmidt.de/WorkshopRepublic.pdf*

[105]*Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft:*
http://www.smul.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/10182_10239.htm
http://www.smul.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/6764_6765.htm

[106]*Jadczyszyn J., et. al. 2003: Expert Meeting on Soil Erosion and Soil Biodiversity Indicators* 25–28 March, 2003 in Rome, Italy)

[107]*Karászi K., 1984*: A Velencei-tó rekreációja. Vízügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató, Budapest. P. 145.

[108]*Mucsi L., 1995*: Investigation of reed development on the Lake Velence. Proceeding of ERDAS Users Group Meeting. Atlanta pp. 41-46.

[109] *Barta K., 2004***:** Talajeróziós modellépítés a EUROSEM modell nyomán. Doktori (PhD) értekezés Szeged

[110] www.kdtvizig.hu

[111]*Marosi S., Somogyi S., 1990:* Magyarország kistájainak katasztere I-II. Budapest,.

[112]*Fömi, Földmérési és Távérzékelési Intézet Központi Adat- és Térképtár,* 1149 Budapest, Bosnyák tér 5. 2000, 2005.

[113]*Kitka G., 2003*: A Tisza-tó környezeti hatásainak vizsgálata geoinformatikai eszközökkel, Diplomamunka SZTE o.

[114]*Bódis K., 2003:* http://www.geo.u-szeged.hu/~bodis/gis-paper/arcinfo.html

[115] www.trimble.com

[116] *Szatmári J., 2006:* Geoinformatikai módszerek és folyamatmodellzés alkalmazása széleróziós vizsgálatokban. P. 129.

[117] *Keveiné Bárány I., Farsang A., 2002:* Labor- és terepvizsgálati módszerek a földrajzban: II. átdolgozott, bővített kiadás Szeged: JATE Press, 2002. 115 p.

[118] *Stefanovits P., Filep Gy., Füleky Gy., 1999:* Talajtan, Mezőgazda Kiadó, Budapest, o. 177.

[119] *Barczi A.,Csákiné Michéli E., Fekete J., Kónya K., Leszták M., Stefanovits P., Várallyay Gy. 1991.:* Talajtani gyakorlatok, Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar, Gödöllő 1991. 44 o., 80 o.

[120] *MSZ 21470/52:1983:* Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Talajok szervesanyag-tartalmának meghatározása.

[121] *MSZ-08 0206/1 – 78, 1978:* A talaj egyes kémiai tulajdonságainak vizsgálata. Általános előírások. A talajminta előkészítése

[122] *MSZ0-80-02051978*

[123] *Stefanovits P., Filep Gy., Füleky Gy., 1999:* Talajtan, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 139. o.

[124] www.boreas.hu

[125] *Quinton, 1997:* Reducing predictive uncvertainty in model simulations: a comparison of two methods using the European Soil Erosion Model (EUROSEM). Catena 30.pp. 101-117.

[126] *Barta K., 2004,* Talajeróziós modellépítés a EUROSEM modell nyomán. Doktori (PhD) értekezés Szeged, o.40.

[127] *Barta K., 2004***,** Talajeróziós modellépítés a EUROSEM modell nyomán. Doktori (PhD) értekezés Szeged, o. 26.

[128] *Barta K., Kitka G., Farsang A., 2008:* Talajeróziós szcenáriók a kisvízgyűjtők tájhasználati tervezésében In: Szabó V, Orosz Z, Nagy R, Fazekas I (szerk.) IV. Magyar Földrajzi Konferencia. Debrecen, Magyarország, 2008.11.14-2008.11.15. Debrecen: Debreceni Egyetem, pp. 25-34.

[129] *Farsang A., Kitka G., Barta K., 2008:* Tápanyag-elmozdulás modellezése a fenntartható mezőgazdaság szolgálatában. In: & Csorba P, Fazekas I (szerk.) Tájkutatás – tájökológia. Debrecen: Meridián Alapítvány, 2008. pp. 285-293. Könyvfejezet

[130] *Schob A., 2005:* Derivation of site-related measures to minimise soil erosion om the catchment scale int he Saxonian loess bel tusing the modell EROSION 3D. Results of current research project. Technical University Freiberg.

[131]*Kitka G., Farsang A., Barta K., 2006:* Optimális területhasznosítás tervezése eróziós modellek segítségével kisvízgyűjtőn In: & (szerk.) Településrendezés-birtokfejlesztés konferencia: Agárd város, Magyarország, 2006.11.09-2006.11.10.pp. & Konferenciacikk

[132]*Kerényi A., 1991.:* Talajerózió. Térképezés, laboratóriumi és szabadföldi kísérletek. Akadémiai Kiadó. Budapest. o.

[133]*Kitka G., Farsang A., Barta K.,2006:* Modelling of soil erosion to serve watershedmanagement. In: & (szerk.) AG Bodenerosion und der Komission VIII Workshop: „Bodenerosion durch Wasser und Wind – Modelle, Gegenmassnahmen und Nachweismöglichkeiten". Leipzig, Németország, 2006.05.10-2006.05.12. pp. 24

[134]*Farsang A., Kitka G., Barta K., 2006:* Talajerózió és foszforátrendeződési folyamatok térképezése kisvízgyűjtőn In: Bidló A, Varga B (szerk.) Talajtani Vándorgyűlés. Sopron, Magyarország, 2006.08.23-2006.08.25. pp. 39

[135]*Farsang A., Kitka G., Barta K., 2006:* Tápanyag elmozdulás modellezése a fenntartható mezőgazdaság szolgálatában In: Fazekas I (szerk.) II. Magyar Tájökológiai Konferencia. Debrecen, Magyarország, 2006.04.07-2006.04.09. pp. 45

[136]*Farsang A., Kitka G., Barta K., 2006:* Talajerózió és foszforátrendeződési folyamatok térképezése kisvízgyűjtőn ***TALAJVÉDELEM*** Különszám: 170-184 (2006) Folyóiratcikk, Talajvédelmi Alapítvány Kiadó

[137]*MSZ 1397:* Lejtős területek vízerózió elleni védelme. Általános irányelvek. Magyar Szabvány, 1998. o. 8-9.

[138]*www.vizeink.hu*

[139]*FVM, 2004*: 4/2004. (I.13.) FVM rendelet, a Helyes Gazdálkodási Gyakorlat előírásai. 2. számú melléklet – 7. Talajerózió - 5. pontja

MELLÉKLETEK