

Zárójelentés

K-73093 „Víz- és szélerózió által okozott tápanyag veszteség mérése és modellezése csernozjom területeken”,

valamint az ehhez kapcsolódó

IN 83207 „Szélerózió okozta tápanyag veszteség mérése és modellezése csernozjom talajokon”

OTKA által támogatott kutatási programokhoz.

Kutatásunk során a szél és vízerózió csernozjom talajainkra, s azon belül is a tápanyag forgalomra, tápanyag elszállításra gyakorolt hatását vizsgáltuk. A kutatási tevékenységünk három szakaszra bontható:

- I. Vízerózió és az általa okozott tápanyag veszteség mérése és modellezése csernozjom területen, kisvízgyűjtő léptékben*
- II. Deflációveszélyeztetettség, valamint a defláció veszélyeztetettségi érték csökkentési lehetőségeinek modellezése nagy és közepes méretarányban*
- III. Csernozjom talajok in situ széleróziós vizsgálata terepi szélcsatornával, különös tekintettel a tápanyagtartalom áthalmozódására*

A kutatási időszak alatt elért eredményeinek is ezen hármas bontásban tárgyaljuk:

I. Vízerózió által okozott tápanyag veszteség mérése és modellezése csernozjom területen, kisvízgyűjtő léptékben

A vízerózió a föld számos területén, így hazánkban is jelentős károkat okoz, a kötöttebb talajokat is veszélyeztetheti. A mezőgazdasági károk formái lehetnek a termőtalaj veszteség, és a termőképesség csökkenés. Munkánkban a Dunántúli dombság területén, Szálka település mellett található, mintegy 2 km² nagyságú mintavízgyűjtőn modelleztük a vízgyűjtőn végbemenő eróziós folyamatokat, valamint a termőképesség-csökkenésre ható humuszfrakciók és makro tápanyagok kimosódását.

A munkánk során az alábbi célokat tűztük ki:

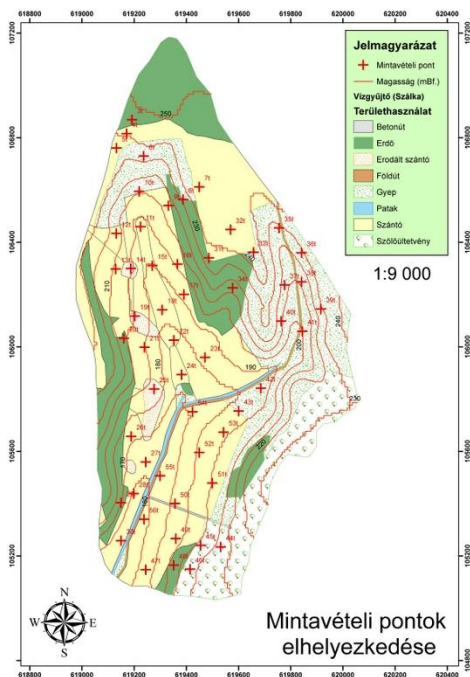
- A terület eróziótérképeinek az elkészítése Erosion3D modell segítségével.
- Az egyes mintavételi pontokban található talajok szervesanyag-tartalmának, humuszos talajréteg vastagságának a meghatározásából és a kohéziós értékekből szoftveres adatbázis, térképállományok képzése.
- A kapott adatokból és a területhasználatból adódóan a vízgyűjtő erózióval leginkább veszélyeztetett részeinek meghatározása.
- A talaj és a humuszalkotó szervesanyagok, tápanyagok erózió általi mozgásának monitoringozása, változásának nyomon követése, összefüggések feltárása.

Vizsgálati anyag és módszer

A talajtani felvételezésekkor munkatérképként a Szálka település melletti kisvízgyűjtő 1:10 000 topográfiai térképét használtuk. A művelési ágak szerinti területhasználatot 2009-ben térképeztük, ill. ez alapján a területhasználati térképet magunk szerkesztettük meg. A térkép elemzése és a terepbejárások, domborzati viszonyok alapján mintavételi ponthálózatot terveztünk.

Elkészítettük a terület digitális domborzatmodelljét az ArcGIS szoftver segítségével. 2009 márciusában 54 ponton mintáztuk meg a szálkai vízgyűjtőt (1. ábra). A talaj-felvételezéseket

Eijklkamp-féle fűrőberendezéssel és Pürkhauer-féle szűrőbottal végeztük. Mintavételre került sor a felszínről, valamint a művelt rétegből szervesanyag és humuszminőség vizsgálatokhoz. Az eróziómodellezés bemeneti paramétereként szükségünk volt a talajkohézió meghatározására, amelyet minden mintavételi pontban Eijklkamp kézi kohéziómérővel (pocket vane tester) mértünk vízzel telített talajfelszínen az ASTM Standard, D 2573-94 nemzetközi szabvány szerint. 25 db bolygatatlan talajmintát vettünk a talaj térfogattömegének meghatározásához. Két lejtő mentén üledékcsapdákat helyeztünk el az erózióval mozgó üledék csapadék eseményenkénti felfogásához. A csapadékatokat 2008-tól mértük saját helyszíni ombográfiai berendezéssel.



1. ábra: Területhasználat, mintavételi pontok

A talajerózió meghatározásához a Németországban kifejlesztett talajeróziót becsülő modellt, az EROSION 2D/3D-t használtuk. A begyűjtött mintákon laborvizsgálatokat végeztünk, és meghatároztuk azokat a talajjellemzőket, amelyek az EROSION 2D/3D bemeneti paramétereiként szolgálnak. Ezek közül a legfontosabbak a szemeloszlás, humusztartalom, térfogattömeg, nedvességtartalom.

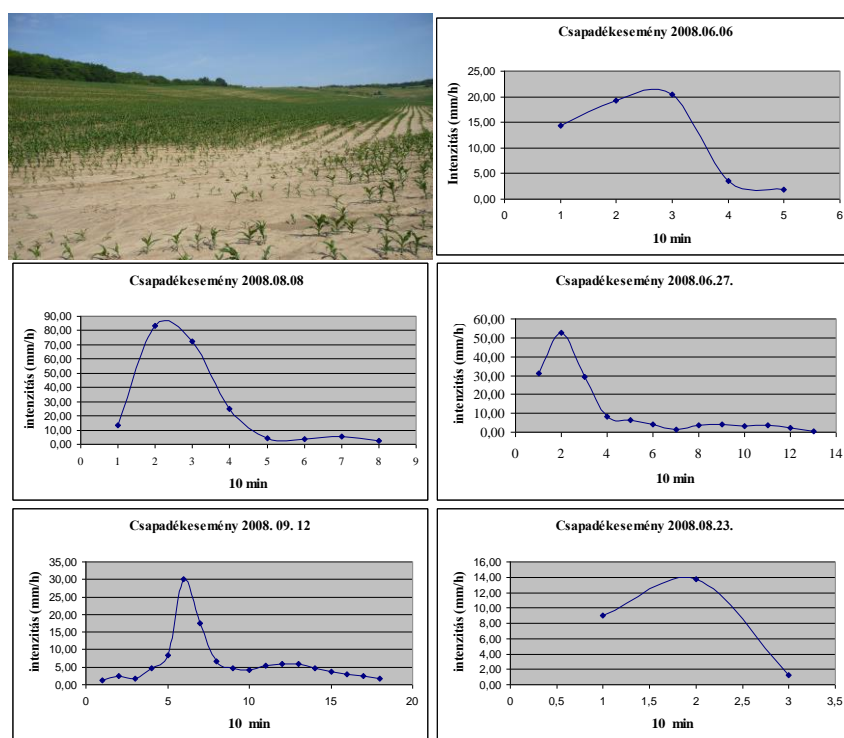
Az eróziós modell futtatásához létre kellett hoznunk azokat a digitális térképállományokat, amelyek az E3D Preprocessorának bemeneti fájljait adják. Ehhez a pontszerű mérésekből és a terepi térképezés tapasztalataiból megszerkesztettük a területhasznosítási és a talajtérképet is. A mintavételi pontok helyét GPS mérőműszerrel rögzítettük. A kapott nagyszámú adat feldolgozását Microsoft Excel szoftverrel végeztük el.

Az EROSION 3D a becslést a csapadékatok, a domborzatmodell (DDM), a területhasználat és a fizikai talajtípus alapján meghatározott talajparaméterek segítségével csapadékeseményenként végzi el, amelyet a DDM minden egyes 5x5 m-es cellájára megad, nettó erózió (érkező és távozó anyag különbsége - kg/m^2) és a távozó talajmennyiség (kg/m^2) formájában. A modell GIS környezetben működik, ezért a bemeneti adatokat ArcView és ArcGIS szoftverekkel dolgoztuk fel. A modellt 5 erózió csapadékeseményre futtattuk le (2. ábra). Erozió csapadékeseménynek tekintettük azokat a csapadékokat amelyeknél a csapadékhullás intenzitása a 10 mm/h-t meghaladta.

A humuszanyagok környezetvédelmi szerepének értékelésére *Hargitai* (1987) több mutatót is kidolgozott. A Q érték a humuszminőséget kifejező érték. Meghatározása azon alapszik, hogy

egy talajminta humuszanyagait kétféle oldószerrel, NaF-dal és NaOH-dal oldjuk ki, majd az oldatot rázás, 48 óra állás után 533 nm hullámhosszúságú fényvel fotometrállással vizsgáljuk. A NaF-oldatban a humifikáltabb, Ca-ionokkal telített nagymértékben polimerizált, a NaOH- oldatban pedig a nyersebb, frissen képződött, nem humifikált, kevésbé kedvező tulajdonságú szerves anyagok, fulvósavak oldódnak ki. Ha a $Q > 1$, azt jelenti, hogy a jó minőségű humuszanyagok vannak túlsúlyban, ha $Q < 1$, a nyers humuszanyagok túlsúlya érvényesül. A K érték az ún. humuszstabilitási koefficiens, értékét úgy kapjuk meg, ha a Q értéket osztjuk a talaj összes szervesanyag-tartalmával: $Q = E_{NaF} / E_{NaOH}$; $K = Q / H$. A K érték tehát a humuszminőséget is magában foglaló, egységnyi humusztartalomra vonatkoztatott érték. K értékével nő a humifikáció és ennek köszönhetően a kelátképzés fokozottabb. A jó minőségű humuszanyagban különösen sok a nitrogén, amely fokozza a szennyező ionnal vagy molekulával a kötés kialakításának lehetőségét (Hargitai, 1961, 1987, 1993).

Laborvizsgálatainkat az SZTE TTIK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék NAT által akkreditált Talajvizsgálati Laboratóriumában folytattuk. A statisztikai elemzést az SPSS for Windows 15.0 programmal végeztük.



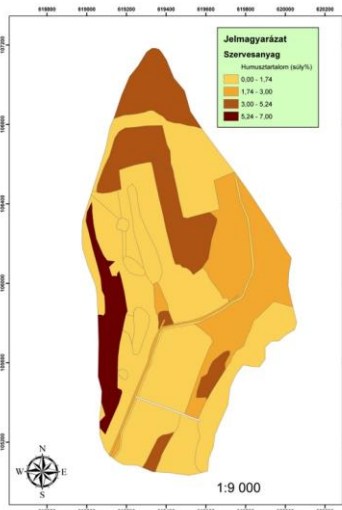
2. ábra A modellezett csapadékesemények időbeli lefutása

Vizsgálati eredmények

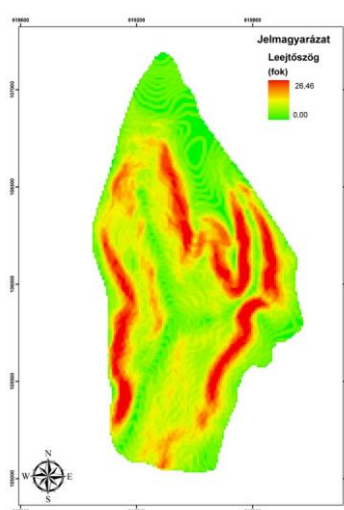
A mérési eredményeink (3., 6. ábra) szerint a talaj szervesanyag tartalma 0,77 %-7,55 % között, a vízgyűjtő termőrétegének vastagsága 10-100 cm között változik. A nagy változatosság oka nemcsak az erózióra és a depozícióra vezethető vissza, hanem a területhasználatra is. A humusztartalom szoros kapcsolatot mutat a területhasznosítással, hiszen az erdők alatt 5 % felett, gyepeken 2-3 %, szántókon 1 és 2 % között változik (3. ábra). A szántóterületeken további differenciálásra volt szükség, a térképezett erodált foltok és a domborzatmodell alapján különítettük el a talajfoltokat. A szántók legerodáltabb helyein 0,77%-1,8 % -os értékeket tapasztaltunk, itt a termőréteg vastagság is a minimum értékhez közelített. A legnagyobb szervesanyag mennyiséget egy akácerdő talajában, a 100 cm körüli ill. azt meghaladó termőréteg vastagsági értékeket pedig a depozíciós zónában, a déli völgytalpi területeken mértük. A talajban a Q értékek átlagát vizsgálva

(1. táblázat) a jó minőségű humuszanyagok ($Q > 1$) vannak túlsúlyban. A $Q = 1$ viszonyszámot meghaladó értéket a szántókon és a gyepeken, $Q < 1$ értékeket az erdők alatt mértünk. Itt a lebomlatlan, nyersebb humuszanyagok túlsúlya jellemző.

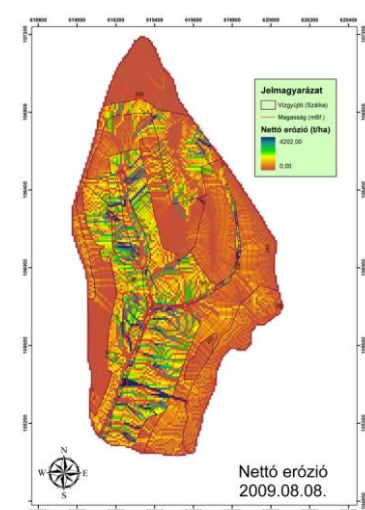
Az Erosion3D modell futtatásához ArcView és ArcGIS programok segítségével a teljes vízgyűjtőre elkészítettük a szükséges digitális alaptérképeket: digitális domborzat modell, területhasználat, felszín borítottság, érdesség, szemcseösszetétel, szervesanyag tartalom, termőrétteg vastagság (3.-4.-6. ábra). Ezek alapján modelleztük a vízgyűjtőre pixelenként és csapadékeseményenként kg/m^2 -ben az eróziót, akkumulációt, ill. a kettő eredőjeként a nettó eróziót (5. ábra). A modell kalibrálását, validálását, érzékenységi tesztek elkészítését Kitka Gergely Velencei-hegységi mintaterületekre korábban már elvégezte (Kitka, 2010). A területhasználatból adódóan a vízgyűjtő erózióval leginkább veszélyeztetett részei a szántóföldi művelés alatt álló mezőgazdasági táblák. A vízgyűjtő ÉNy-i medencéjének talpvonalában az 5 erózió csapadékesemény nettó eróziójának átlaga 255 t/ha . Ez az eredmény 4 mintavételi pontban szimulált eredmény átlaga, amely azonban mutatja, hogy a nagy kiterjedésű szántóföldi táblás művelés legalább olyan veszélyes, mint a nagyüzemi szőlőművelés a vízgyűjtő DK-i lejtőin.



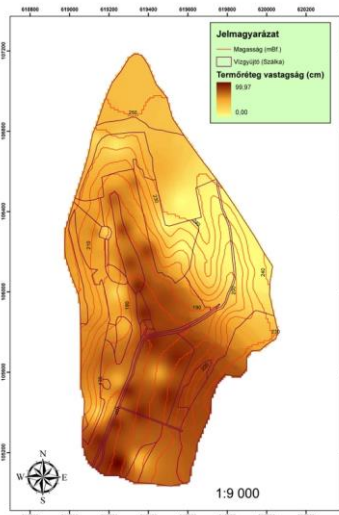
3. ábra Humusztartalom (%)



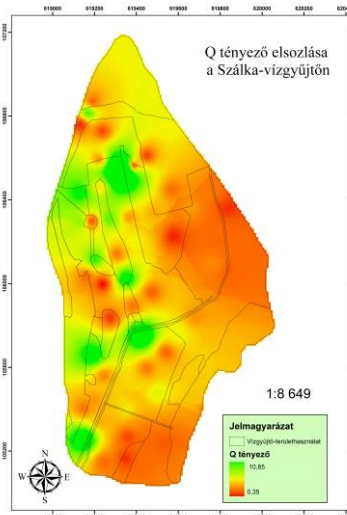
4. ábra Lejtőkategória térkép



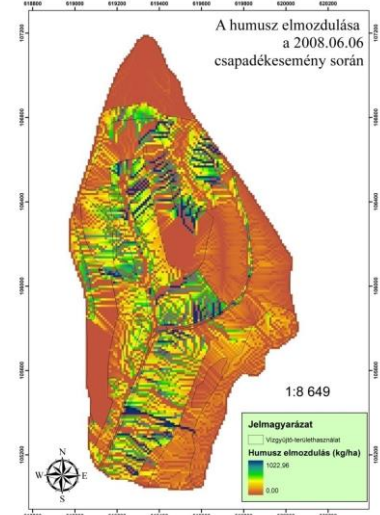
5. ábra Nettó erózió (t/ha)



6. ábra Termőrétteg (cm)



7. ábra A feltalaj humuszstabilitási (Q) értékei



8. ábra Humusz elmozdulás (kg/ha)

A vízgyűjtő alsó medencéjének völgytalpán a nettó erózió átlaga az 5 csapadékeseményre 91 t/ha. A vízgyűjtő ÉK-i medencéjének felső harmada gyeppel, legelővel borított rész, mégis viszonylag nagy eróziós értéket produkál, ami elsősorban a meredek lejtőszöggel (5-26°) magyarázható. A szőlő ültetvényről 3 pontból származtatott átlag nettó erózió 88 t/ha. Az erdővel borított területek alacsony eróziós rátákkal jellemezhetők. A legnagyobb erózióval járó csapadékesemény a 2008. augusztus 8-i volt, amely intenzitása volt a legnagyobb az összes vizsgált csapadékesemény közül. Az eróziós térképeken jól kirajzolódik a patak és az utak üledékszállító funkciója (lásd vízgyűjtő DK-i részén található betonút). A talaj nettó eróziójának nagysága jól követi a lejtők profilját (4., 5. ábra), valamint a területhasználat változásait (1. ábra).

	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás
Humusz %	0,77	7,55	2,25	1,54
K	0,09	8,92	0,99	1,37
Q	0,35	11,03	1,58	1,73
Lejtőszög (°)	0	24,26	8,76	5,09
Termőrétteg vastagság (cm)	10	100	61,18	24,89
Kohézió (kg/cm²)	0,11	3,3	0,30	0,51
Nettó erózió (t/ha)	0	355,5	39,86	57,72

1. táblázat Vizsgálati eredményeink leíró statisztikai táblázata

A modelleredmények szerint a legnagyobb mennyiségű talaj (355 t/ha) a vízgyűjtő déli részén mosódik le, ahol a lejtőszög 11,17°, a művelési ág szántó. Ez a mintaterület leginkább erózióveszélyes része. A fent említett jellemzőkön kívül számos egyéb tényező is hozzájárul a magas eróziós rátához, mint például az alacsony kohézió és az adott cellához tartozó vízgyűjtő nagysága.

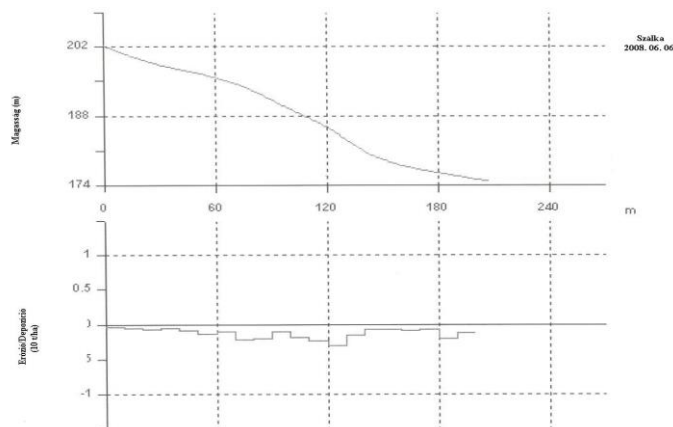
	2008.06.06.	2008.08.23.
Maximum	1023 kg/ha	338,2 kg/ha
Szórás	49,6 kg/ha	13,4 kg/ha
Átlag	28,6 kg/ha	6,42 kg/ha

2. táblázat A jellemző humusz elmozdulás értékek a vízgyűjtőn, modell eredmény két csapadék eseményre

Az erózióval elmozduló humusz mennyiségét (kg/ha) a 8. ábrán szemléltettük. A humusz elmozdulás értéke a csapadék mennyiségétől és intenzitásától erőteljesen függ (2. táblázat), egy intenzív és tartós csapadék alkalmával akár 400, ill. 1000 kg humusz elmozdulás is prognosztizálható hektáronként.

Az egy lejtőn belül zajló eróziós és humusz átrendeződési folyamatok feltárására az Erosion2D szoftvert alkalmaztuk. A 9. ábrán azon, mintegy 300 m hosszú (5°-25°) lejtő profilját ábrázoltuk, amelyre az E2D szoftverrel modelleztük a talajeróziót. A modellezett nettó erózió átlagos értéke a lejtő mentén 1,72 t/ha volt. A maximális eróziónál két nagyságrenddel kisebb érték azzal magyarázható, hogy itt csak egy oldalirányú kiterjedés nélküli lejtő jelentette a vízgyűjtőt, míg a legnagyobb erózióval jellemezhető pixeleknek 3-4 ha-os vízgyűjtő területük van. A 10. ábrán a 2008. 08. 08-i csapadékeseményt követően a két vizsgált lejtőn gyűjtött talaj- és üledékminták humusz mennyiségi és minőségi adatait ábrázoltuk. Az elmozduló üledékben a helyben található talajhoz képest a humusz tartalom dúsul, a feldúsulási faktor ($FF_{\text{humusz}} = \frac{\text{humusz}\%_{\text{üledék}}}{\text{humusz}\%_{\text{talaj}}}$) a két lejtőszegmensre és a vizsgált 5 csapadékeseményre vonatkoztatva (n=47) 1.063. Egyváltozós t próbával teszteltük, hogy a feldúsulási faktorokból számított átlag értékek szignifikánsan (95%-os szignifikancia szinten) eltérnek-e 1-től. Megállapítottuk, hogy tényleges

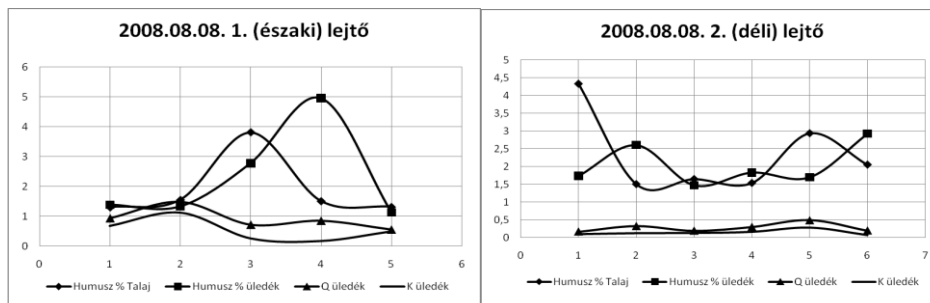
humusz feldúsulásról van szó, a feldúsulási faktor szignifikánsan nagyobb, mint 1. A humuszminőséget jellemző Q és a K értékek viszont csökkennek az üledékben, mindemellett a humusz százalékos értéke rapszodikusán változik (10. Ábra).



9. ábra A vizsgált lejtő profilja és nettó eróziós értékei (2008. 06. 06.) (t/ha)

Az erózió a nyers humuszanyagok mennyiségének lejtés irányába történő növekedését eredményezi. A kapott értékek arra hívják fel a figyelmet, hogy a vízben jól oldódó nyers humuszanyagok, fulvosavak aránya növekszik a lejtés irányában. A völgytalpakon a depozíciós zónákban a könnyen oldódó szerves vegyületek kerülnek túlsúlyba, mert ezek az esőzések hatására könnyebben elmozdulhatnak a talajban. Adatbázist hoztunk létre az 54 vizsgálati pontban mért humusz mennyiségi és minőségi adatokból, az adott pontokban mért lejtőszögéből, a vizsgált öt csapadék eseményre modellezett talajeróziós értékekből, valamint a mérési pontokban tapasztalt termőréteg vastagságából. Az erózióval leginkább érintett szántó művelési ágú területről vett mintákból (33 elemszám, 18 változó) a lehetséges összefüggéseket SPSS 15.0 szoftverrel vizsgáltuk. A 3. táblázatban a Pearson féle korreláció számítások eredményét összegeztük, a szignifikáns kapcsolattal (SZD $\leq 0,05$) rendelkező elem párok kiemelésével. Az elhelyezkedés szerint készített (völgytalp, depozíciós zóna) adatsorok elemzésénél szignifikáns kapcsolatot találtunk a humusz mennyisége és a NaOH-oldószerrel mért humuszminőségi érték között ($r^2=0,629$), a kapcsolat jól mutatja az erózió által a völgytalpra szállított nyers humuszanyagok jelenlétét.

Szignifikáns pozitív korrelációt kaptunk a lejtőszög és a humusz mennyiség között, de ebben az esetben a két változó nem tekinthető függetlennek, mivel a legmeredekebb lejtők éppen az erózióveszély miatt művelésre alkalmatlanok, azokat erdők borítják, s alattuk magasabb, akár 6-7 %-os humusztartalom is előfordulhat.



10. ábra A lejtőprofilok mentén gyűjtött talaj- és üledékminták humuszvizsgálati eredményei

Az Erosion3D modell futtatásához a teljes vízgyűjtőre elkészítettük a szükséges digitális domborzatmodellt, területhasználát, felszín borítottság, érdesség, szemcseösszetétel, szervesanyag

tartalom, termőrétég vastagság térképeket. Ezek alapján modelleztük a vízgyűjtőre pixelenként és csapadékeseményenként a nettó eróziót és meghatároztuk a vízgyűjtő erózióval leginkább veszélyeztetett részeit. Az eredmény azt mutatja, hogy a nagy kiterjedésű szántóföldi táblás művelés legalább olyan veszélyes, mint a nagyüzemi szőlőművelés.

Correlation Pearson	h (%)	T.réteg. (cm)	NaOH	NaF	Q	K	net er (t/ha) 06.06	net er (t/ha) 08.08	net er (t/ha) 09.12	üledék (kg) 06.06	üledék (kg) 08.08
h (%)	1										
Termőrétég (cm)	-0,23	1									
NaOH	-0,17	-0,27	1								
NaF	0,08	-0,27	0,76xx	1							
Q	0,31	-0,23	-0,08	0,56	1						
K	0,36	-0,25	-0,16	0,45	0,98	1					
net er (t/ha) 06.06	-0,15	0,31	0,05	-0,05	-0,14	-0,14	1				
net er (t/ha) 08.08	0,29x	0,06	0,34x	0,11	-0,19	-0,20	0,57	1			
net er (t/ha) 09.12	- 0,31x	0,08	0,13	-0,064	-0,20	-0,20	0,54	0,89	1		
üledék (kg) 06.06	-0,07	0,26	0,541xx	0,36x	-0,10	-0,15	0,51	0,68	0,54	1	
üledék (kg) 08.08	-0,05	-0,11	0,85xx	0,57xx	-0,14	-0,19	0,13	0,51	0,31	0,43	1
üledék (kg) 09.12	-0,19	0,29	0,61xx	0,32	-0,21	-0,25	0,49	0,71	0,71	0,81	0,33
lejtszög	0,44	-0,21	-0,05	0,02	0,15	0,24	-0,04	0,04	0,02	0,07	0,02

3. táblázat A vizsgált paraméterek korrelációs mátrixa

x=korreláció 0,05-s szignifikancia szinten, xx=korreláció 0,01-s szignifikancia szinten (A szignifikáns kapcsolatokat csak független változók, illetve ok-okozati kapcsolatok esetén jelöltük.)

Eredményeink közül legfontosabbnak azt tartjuk, hogy az elhelyezkedés szerint készített (völgytalp, depozíciós zóna) adatsorok elemzésénél szignifikáns kapcsolatot kaptunk a humusz mennyisége és a NaOH-oldószerrel mért humuszminőségi érték között ($r^2=0,629$). A kapcsolat jól mutatja az erózió által a völgytalpra szállított nyers humuszanyagok jelenlétét.

II. Szélerózió modellezése

A széleróziós események a talaj visszafordíthatatlan változását, degradációját eredményezhetik. A deflációval sújtott területeken csökken a feltalaj vastagsága, kedvezőtlen változások következnek be a talaj textúrájában és struktúrájában, csökken a humusz mennyisége és minősége, romlik a talaj tápanyag gazdálkodása.

Kutatásaink 2011 tavaszától két szálon folytak. Első lépésben a defláció által okozott talaj degradációt terepi körülmények között vizsgáltuk a 2010 októberében Németországból Magyarországra szállított terepi szélcsatornával. Mintaterületünk Apátfalva község határban helyezkedett el, csernozjom talajon, azon parcellán, ahonnan származó feltalaj mintákat a 2010. évi laboratóriumi szélcsatorna kísérleteknek (Debreceni Egyetem) vetettük alá. A terepi szélcsatorna vizsgálatokra 2011 júniusában és 2013 júliusában került sor.

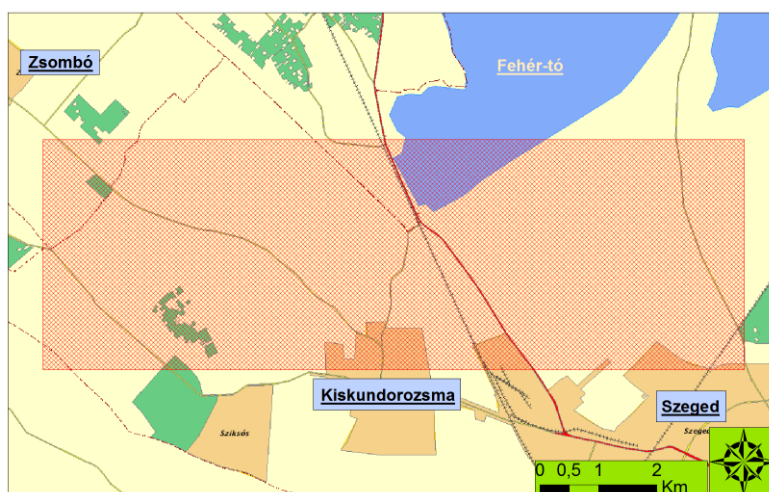
Az elmúlt évek kutatási tevékenységének másik szála mikro- és mezo- léptékű szélérozio modellezés volt a Texas Erosion Analysis Model (TEAM) segítségével, valamint a német DIN 19706-os szabvány alapján. A szélérozio érzékenység térbeli alakulását, valamint a mezővédő erdősávok talajvédő hatását különböző szenáriók esetében szintén az apátfalvi mintaterületen mikro-léptékben (parcella), valamint mezo-léptékben a Duna-Tisza köze déli részén, Szegedtől nyugatra eső 482 km² nagyságú területre vizsgáltuk.

II/A. Szélérozio becslése és modell alapú területhasználat optimalizáció a defláció veszélyeztetettség csökkentése érdekében

Munkánk folyamán egy 48 km²-es alföldi mintaterületen modelleztük talajtípus és területhasználat függvényében a terület deflációveszélyeztetettségi szintjét, valamint kidolgoztunk két módszert a defláció veszélyeztetettségi érték csökkentési lehetőségeinek modellezésére. Az általunk felépített un. MezEr- (Mezővédő Erdősáv) modell alapjait Borelli 1989-ben írt cikke és a TEAM- modell adta. A másik felépített modell, az EEBW-modell elméleti alapjait a német DIN 19706 szabványban megfogalmazottak jelentették. Kutatásunk során első lépésben meghatároztuk az EEBW-modell segítségével a vegetációmentes talaj szélérozio veszélyeztetettségét. Második lépésként az EEBW-modell segítségével megállapítottuk, mely növénykultúra csoportok alkalmazásával lehet az adott terület szélérozio veszélyeztetettségét „Alacsony szélérozio veszélyeztetettségi kategóriába” csökkenteni. Végezetül a MezEr-moddellel meghatároztuk az optimális mezővédő fasorsűrűséget (km/km²), mellyel effektív defláció elleni védelem biztosítható.

Vizsgálati anyag és módszer

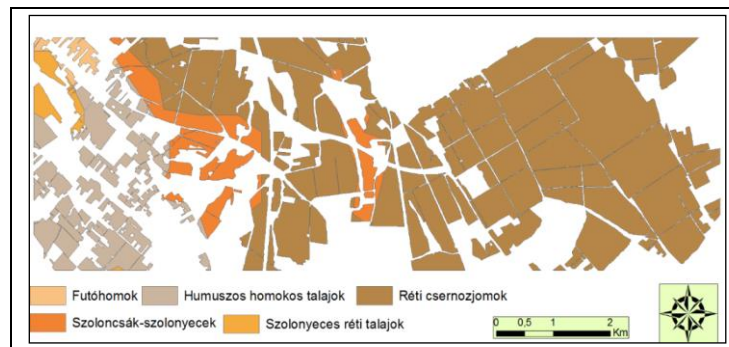
Kutatási területünk Szegedtől ÉNy-i irányban helyezkedik el. Választásunk azért is esett erre a területre, mert az uralkodó szélirány ÉNy-i, így a szélérozióból származó porterhelés Szegedet is érinti (11. ábra). A terület defláció érzékenységének csökkentésével tehát csökkenteni lehetne a 168 000 fős város porterhelésének kockázatát is. Első lépésként Google-térképeket felhasználva aktuális területhasználati térképet hoztunk létre, hogy leválogassuk a deflációnak kitett területeket. A területhasználati térkép segítségével lehatároltuk a 48 km² nagyságú területen található szántóterületeket (27 km²), mint defláció érzékeny, és az erdőket (5,1 km²), mint a szélérozio ellen védő elemeket.



11. ábra A mintaterület elhelyezkedése

Kutatásunk folyamán alkalmazott modellek bemeneti paraméterei közül a legfontosabbak a talajtani adatok, hiszen ez determinálja a szélerózió szembeni ellenállóság mértékét. A két modell különböző bemeneti talajadatokat igényelt. A MezEr-modellhez a terület talajtípusaira, az EEBW-modellhez pedig a talaj textúrájára volt szükség. A terület talajtípusait Agrotopográfiai térkép (1:100000) segítségével határoztuk meg. A talajtípusok közül leggyakoribb a réti csernozjom, mely a terület 77,4 %-án található. A humuszos homoktalaj a második (11,6 %), a szoloncsák szolonyec (8,0 %) talaj pedig a harmadik legnagyobb borítással bíró talajtípus. Ezekon felül a területen található még futóhomok (0,8 %) és szolonyeces réti talaj (1,4 %) is (12. ábra).

Az EEBW-modellhez használt széladatokat, az átlagszélsőséget és a szélirányt a Szegedi Meteorológiai állomás (WMO 12982) szinopszis adataiból határoztuk meg.



12. ábra Mintaterület szántóterületeinek talajtani változatossága (Agrotopográfiai térkép alapján)

A DIN 19706-os szabvány a 10 méter magasságban mért évi átlagos szélsőségek és szélirány adatokkal dolgozik, ezzel szemben mi csupán a márciusi és áprilisi átlagos adatokat használtuk fel. A szélsőség és a szélirány meghatározásához az elmúlt 13 év adatait használtuk fel (2000-2012). A márciusi és áprilisi hónapok átlagos szélsősége 10 méter magasságban 3,4 m/s és a leggyakoribb szélirány DK-i irányú volt (160°). Annak érdekében, hogy minél valóságűbb adatokkal dolgozzunk, csak a vizsgált időszakhoz tartozó szélsőség skála mediánjánál nagyobb (7 m/s) szélsőséggel rendelkező szélsőségek szélirányait vettük figyelembe. A szűrt szélsőségek leggyakoribb széliránya ÉNy-i volt (310°).

A MezEr-modell futtatásához a szinopszis adatok által meghatározott 310° -ot, mint legvalószínűbb szélirányt, valamint saját terepi méréseink által meghatározott szélsőség értékeket használtuk. Terepi szélsőség méréseket folytattunk Apátfalva (60 km-re Szegedtől) térségében, mely során két méteres magasságban vizsgáltuk a perces átlag szélsőséget és a szélökések nagyságát.

Az erdősávok fontos elemei a defláció elleni védelemnek, hiszen szélárnyékot képeznek, mellyel csökkenthetik a talajfelszín feletti szélsőséget. Az erdősávok fontos tulajdonságai a porozitás (%) illetve a magasság (H). A mintaterületen található erdősávok felméréséhez Google-térképek mellett terepbejárást is használtunk. A terepi bejárást során felmért erdősávokat magasságuk alapján négy osztályba soroltuk: magas-erdő (H=11,1 m); alacsony erdő (H=8,8 m) bokros-fás (H=4,7 m); nádas-bokros (H=2,5 m). A mintaterületen található erdősávok porozitását 0%-nak mértük.

A MezEr-modell egyik igen fontos bemeneti paramétere a mezővédő fasor és annak a deflációt befolyásoló tulajdonságai, mint pl. a porozitás és a fa magassága. A modellben használatos mezővédő fasornak a jegenyenyarat (*Populus Nigra Lombardica*) választottuk. A választásunk azért esett a jegenyenyárra, mert számos előnyös tulajdonsága van, mint pl. a gyors növekedés és a keskeny, magas termet. A fasor tulajdonságait terepi felméréssel határoztuk meg. A méréseket 2011

tavaszán végeztük Tiszaföldvár határában, egysoros jegenyenyár fasorokon. A vizsgálathoz mintegy 2 km hosszúságú fasort mértünk fel. A fasorokat lefényképeztük és a fényképek segítségével határoztuk meg az optikai porozitási és magassági értékeit. Az optikai porozitási értéke eltérő lehet a valós porozitási értéktől, de mivel igen keskeny fasorról van szó, így az optikai porozitást tekintettük a valós porozitási értéknek (Meroer, 2009). A fényképek elemzésével megállapítottuk, hogy a jegenyenyár fasorok átlagmagassága 19,5 méter és 65 %-os az átlag porozitási értéke március-április hónapban.

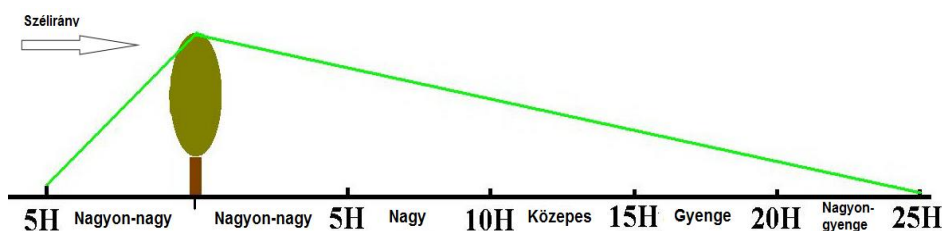
Talajtípus	Erodálhatósági kategória	Kritikus indítósebesség (m/s)
Humuszos homoktalajok	I.	6,5
Futóhomok		
Réti csernozjom	II.	9,4
Szolonyeces réti talajok	III.	9,6
Szoloncás szolonyecsek		

4. táblázat: A mintaterületen található talajtípusok kritikus indítósebességei (Lóki et al. 2005, Négyesi, Pálfai, 2008, Farsang et al. 2011 alapján)

A MezEr-modell igen fontos bemeneti paramétere a különböző fajta talajokhoz tartozó kritikus indítósebesség. A mintaterület talajait csoportosítottuk erodálhatóságuk szerint, mely csoportokra jellemző kritikus indító sebességeket az 4. táblázat tartalmazza.

EEBW-modell

Az EEBW-modell a DIN-19706-os (Ermittlung der Erosiongefährdung von Böden durch Wind) német szabványon alapszik. Bemeneti paraméterei: a talajok fizikai félesége, humusztartalma, továbbá a területhez tartozó 10 méter magasságban mért évi átlagos szélesség és leggyakoribb szélirány. Számításba veszi a mezővédő erdősávok védőhatását is (13. ábra). A modell egy többlépcsős rendszeren alapszik, ami lépésről lépésre osztályozza, majd hat különböző osztályba (Nincs-, Nagyon-kicsi-, Kicsi-, Közepes-, Nagy-, és Nagyon-nagy a szélerózió veszélyeztetettség) sorolja a terület szélerózió veszélyeztetettségét (DIN 19706).

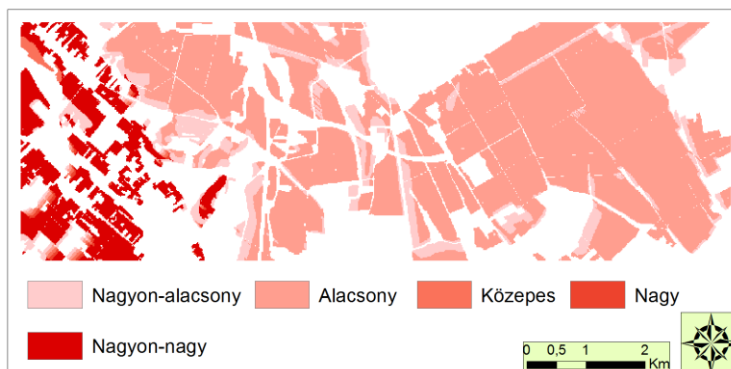


13. ábra Erdősávok szélerózió veszélyeztetettség csökkentő hatása az EEBW-modellben

Az EEBW-modell segítségével becslést adtunk a mintaterület potenciális szélerózió veszélyeztetettségére (14. ábra). A potenciális szélerózió veszélyeztetettséget a március, április hónapokra, fedetlen talajfelszínre és az erdősávok védőhatásának figyelembe vételével számoltuk ki. A mintaterület 12,2%-a esik a „Nagyon-nagy”- illetve 0,3 %-a „Nagy”-, 0,7%-a „Közepes”-, 73,7%-a az „Alacsony”-, 6,3%-a a „Nagyon-alacsony” szélerózió veszélyeztetettségű kategóriába. A területnek csupán 6,3%-a „nem szélerózió veszélyes”. A szélerózió veszélyeztetettségű

eredménytérképet összevetve a talajtani térképpel, egyértelmű az összefüggés. Az Alacsony-szélrózó veszélyeztetettségi kategória oka a területen uralkodó vályogos talajtípus. A Nagyon-nagy szélrózó veszélyeztetettségi kategóriába eső területek pedig megegyeznek a homokterületek elhelyezkedésével. Egyedüli módosító tényező az erdősávok védőhatása, melyek hatása kis területekre terjed ki.

Az EEBW-modell segítségével meghatároztuk a területek szélrózó veszélyeztetettségi szintjének csökkentéséhez szükséges növénytermesztési rendet (5. táblázat). A modellezés eredményeként kapott növénycsoport termesztési beosztás segítségével (A, B, C, D) az adott terület szélrózó veszélyeztetettségi értéke az Alacsony-kategóriába módosítható (DIN19706.).



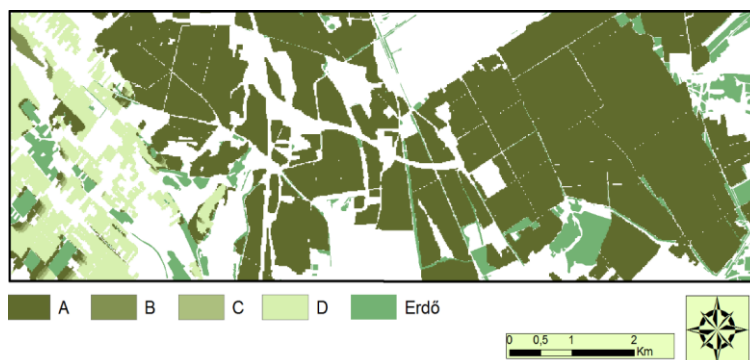
14. ábra: A mintaterület szélrózó veszélyeztetettségi térképe EEBW-modell alapján

A növénycsoportokat annak tükrében válogattuk össze, hogy a bennük található növénykultúrák milyen hatékonysággal képesek védeni a talajfelszínt a deflációval szemben. Az alkalmazott növénycsoportok közül a takarmánynövényeknek a legnagyobb, a kukoricának és a hüvelyeseknek pedig a legkisebb a defláció szembeni védelemben betöltött szerepe. Az 5. táblázatban látható, hogy az A- területen a legszabadabb, a D-területeken pedig a legkorlátozottabb a növénytermesztés a defláció elleni védelem szempontjából.

Terület	Takarmány - növények	Őszi búza	Nyári gabonák	Kukorica, hüvelyesek
A	+	+	+	+
B	+	+	+	
C	+	+		
D	+			

5. táblázat A területekhez tartozó szélrózó veszélyeztetettséget csökkentő kultúrnövény fajták, a DIN 19706 szabvány alapján (a pluszjelek jelzik, hogy mely növénykultúra csoportok tartoznak az adott növény csoporthoz)

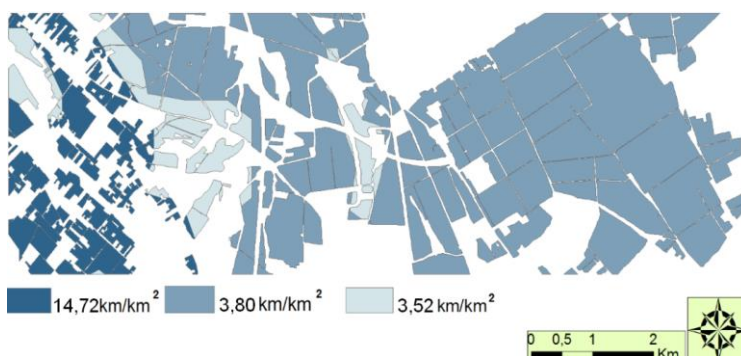
A 15. ábrán a szélrózó kockázatát csökkentő növénycsoportok termesztési térképe látható. A terület legnagyobb részén (86,7 %) szabadon gazdálkodhatnak a tulajdonosok anélkül, hogy a szélrózó veszélyeztettség kilépne az alacsony kategóriából. A terület többi részén viszont már bizonyos növények ültetésével növelnék a defláció kockázatát. A gazdák a terület 0,7%-án termeszthetnének bármit, a kukorica és a hüvelyesek kivételével. Ezen felül a terület 0,3 %-án korlátozható a nyári gabona termesztése, míg a terület 12,2%-án lehetne csupán takarmánynövényeket termeszteni, mely részek dominánsan a homok területekre esnek.



15. ábra Szélerózió kockázatát csökkentő növénykultúrák termesztési térképe EEBW-modell alapján

MezEr-modell

A MezEr-modell felépítése Borelli munkásságán (Borelli, Gregory, Abtew, 1989.) és a TEAM-modellen (Texas Tech Wind Erosion Model) alapszik (Gregory et al. 2004). A MezEr-modell segítségével ki lehet számolni egy adott területre azt a mezővédő erdősáv sűrűséget, mely megszünteti adott szélességen a szélerózió kockázatát. A modell figyelembe veszi a terület talajtípusához tartozó kritikus indítósebességet, a területet érintő jellemző szélességet, a mezővédő fasor porozitását, magasságát és irányultságát. A mezővédő erdősáv sűrűség alatt azt értjük, hogy hány km-nyi fasor szükséges 1 km²-nyi terület védelméhez azon feltevésben, hogy a fasorok a szélirányra merőlegesen állnak. A modellben használatos mezővédő fasornak a már korábban leírt jegyenyarat választottuk. A három különböző szélességre (20-, 25-, 30 m/s) kiszámolt eredmények alapján létrehoztunk három eredménytérképet, melyek közül a 16. ábrán látható a 30 m/s-os szélességre kiszámolt mezővédő fasor sűrűség térkép. Az ábrán látható, hogy e szélesség esetén már az egész területen szükséges a szélerózió elleni védelem. A korábban meghatározott három erodálhatósági osztálynak megfelelően itt is három különböző mezővédő erdősáv sűrűségű területet lehet megkülönböztetni. Az I. erodálhatósági osztályba tartozó területeken (2,5 km²) 14,72 km/km², a II. erodálhatósági osztályba tartozó területeken (21,2 km²) 3,8 km/km² és a III. erodálhatósági osztályba tartozó területeken (2,4 km²) pedig 3,52 km/km² mezővédő erdősáv sűrűség szükséges a defláció kialakulásának megakadályozására.



16. ábra Szélerózió kockázatát csökkentő mezővédő erdősáv sűrűség 10m magasságban mért 30m/s-os szélesség esetén, MezEr-modell alapján

A kutatásunk során felépítettük a MezEr- és az EEBW-modellt a szélerózió veszélyeztettség becslésére és annak csökkentési lehetőségeinek vizsgálatára. Az EEBW-modell alapján meghatároztuk, hogy a mintaterület 12,2%-a esik a Nagyon-nagy- illetve 0,3 %-a Nagy-, 0,7%-a Közepes-, 73,7%-a az Alacsony-, 6,3%-a Nagyon-alacsony szélerózió veszélyeztetettségi

kategóriába. A területnek csupán 6,3%-a nem szélerózió veszélyes. Az EEBW-modellt használtuk az optimális kultúrnövény termesztési térkép megalkotásához, mely segítségével csökkenteni lehet az adott terület szélerózió veszélyeztetettségi értékét. A modell eredményeként kiderült, hogy a terület 86,7 %-án bármely kultúrnövény termeszthető a szélerózió kockázat növelése nélkül. Azonban a területnek 12,2%-án csupán takarmánynövényeket lehetne termeszteni. A MezEr-modell segítségével meghatároztuk a szélerózió veszélyeztetettség csökkentéséhez szükséges mezővédő fasor (egysoros, jegenyenyár) sűrűséget. Megállapítottuk, hogy 10 méter magasságban mért 30 m/s-os szélesebséggel szemben a homokterületeken legalább 14,72 km/km² sűrűségű mezővédő fasor szükséges annak érdekében, hogy a szélerózió kockázata minimális legyen. Ugyanezzel a szélesebséggel szemben a csernozjom talajt 3,8 km/km² a szolonyeces talajt pedig 3,52 km/km² sűrűségű mezővédő fasor védi meg.

II/B. Csernozjom talajok in situ széleróziós vizsgálata terepi szélesatornával

Kutatásunk során Magyarország dél-alföldi csernozjom talajú területeit vizsgáltuk azon céllal, hogy *in situ* körülmények között kvantifikáljuk a különböző szélesemények által okozott talajvesztés mértékét, a feltalaj agronómiai szerkezetében bekövetkező változásokat, valamint az ezzel együtt járó humusz és tápanyag áthalmozás nagyságrendjét.

Vizsgálati területünk Békés megyében, Makótól K-re mintegy 10 km-re, Apátfalva külterületén helyezkedik el (17. ábra).



17. ábra A széleróziós vizsgálatban érintett mintaterület elhelyezkedése és jellemző területhasználata

A terület a Csongrádi-sík kistáj része, mely egy 79,5 és 107,6 m közötti tengerszint feletti magasságú tökéletes síkság. Az agyagos-iszapos felszínközeli üledékeket különböző vastagságú infúziós lösztakaró fedi. A kistáj meleg, száraz éghajlatú. Az évi középhőmérséklet 10,3 °C, a tenyészidőszak középhőmérséklete pedig 17,5 °C. Az éves csapadék 560–570 mm körül alakul. A deflációérzékenységre is utaló ariditási index 1,3 körüli. Az uralkodó É-i mellett gyakoriak a DK-i irányú szelek is. Az átlagos szélesebség megközelíti a 3 m/s értéke).

A kistáj jellemző talajtípusa a csernozjom, mely a terület 80%-át borítja. Ezen belül a legnagyobb gyakorisággal a vizsgálati területünkre is jellemző réti csernozjom fordul elő. A fűjatasi vizsgálatokkal érintett feltalaj fizikai félesége vályog, agyagos vályog, humusztartalma magas (4,5–4,8%), mésztartalma 4–12% közötti. A vizsgálat időpontjában a talaj száraz volt, az aktuális

nedvességtartalmat 7–8 v/v% körülnek határoztuk meg. A vizsgált parcellán kukoricát termesztettek. A kukorica növények magassága 25–30 cm volt.

Terepi és laboratóriumi vizsgálati módszerek

Az in situ szélcsatornás kísérleteinket (18. ábra) 2011. június 2–4. között két különböző talajfelszínen végeztük.



18. ábra A hordozható terepi szélcsatorna

Az „A” mérési sorozatot növényborítás-mentes, bolygatatlan szerkezetű talajon, míg a „B” sorozatot kb. 25–30 cm magas kukoricasoron (19. ábra) végeztük.



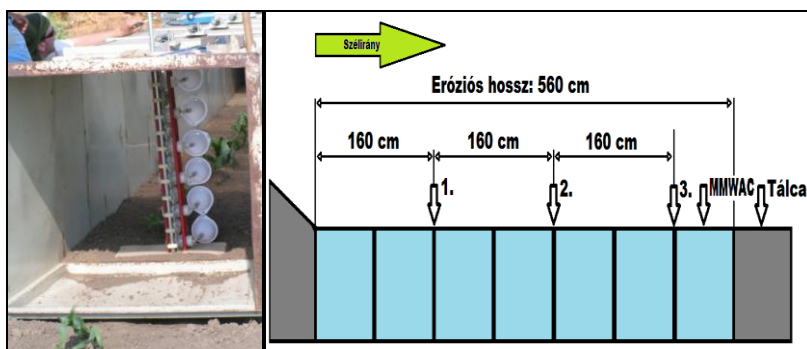
19. ábra Az egyes fűtési kísérletekre jellemző talajfelszínek (bal oldal A sorozat, jobb oldal B sorozat)

Mindkét sorozat 3 párhuzamos, 10 perc hosszú fűtési kísérletből állt. Kísérleteinket 5100-as fordulatszámon, mintegy 15 m/s-os (30 cm magasan mért) szélsébségen végeztük.

Méréseinkhez a kellő sebességű szelet egy 1,2 m átmérőjű turbina szolgáltatotta, melyet egy 7,5 kW-os villanymotor hajtott meg. A kellő nagyfeszültségű áramot aggregátor szolgáltatotta. A turbina egy flexibilis csövön keresztül csatlakozott a szélcsatorna laminátor elemébe, melyből egy szűkítő elem vezette az immár egyenes vonalú légáramlatot az 5,6 m hosszú, alul nyitott szélcsatornába (2–3. ábra). A szélcsatorna által megfűjt talajfelszín összesen 3,36 m² nagyságú.

A szélsébség mérését minden fűtás során horizontális és vertikális profilokban is elvégeztük. A mérés Lambrecht Jürgens 642 típusú anemométer segítségével történt. Mindkét kísérletsorozat esetében a küszöbsebesség 13 m/s-nak adódott.

Minden kísérlet előtt és után mintáztuk a talajfelszínt (0–5 cm) a turbinától távolodva három ponton (E1, E2, E3, U1, U2, U3) (20. ábra).



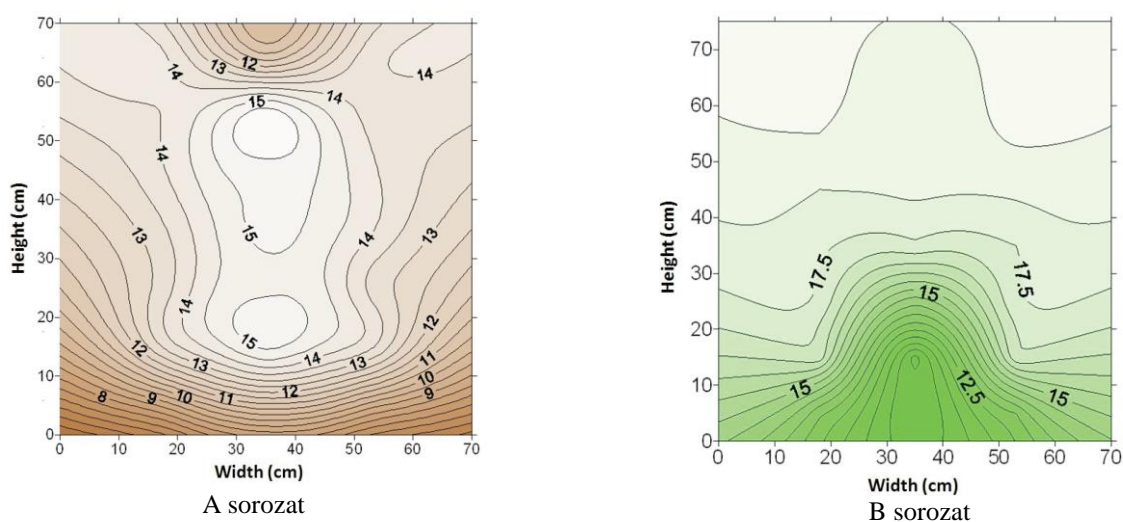
20. ábra A talaj és a csapdázott talajanyag mintavételi helyei. Az elmozduló talajanyag csapdázása süllyesztett tálca, valamint tölcésréekkel ellátott MWAC fogók segítségével történt

A fűtési kísérleteket követően mintáztuk a görgetve szállítódó frakciót, mely a szélcsatorna végénél elhelyezett süllyesztett peremes ládában gyűlt össze, valamint ürítettük a szélcsatorna végénél 5, 15, 25, 35, 45, 55 cm magasságokban elhelyezett MWAC (Modified Wilson and Cook) csapdasorozatot (4. ábra).

A mintákat 25 °C-on légszárásra szárítottuk, majd a megfelelő előkészítést követően a következő talajtani paraméterek kerültek meghatározásra: aggregátum méreteloszlás szitálással, Arany-féle kötöttségi szám az MSZ-08-0205:1978 szabvány szerint, pH(H₂O), karbonáttartalom MSZ-08-0206/2:1978 szerint, a szervesanyag-tartalom pedig az MSZ 21470/52:1983 szabvány szerint.

Eredmények és értékelésük

Az egyes fűtési kísérletek során végzett szélprofil vizsgálataink alapján megállapítható, hogy a növényborítás-mentes és a kukorica sorral végzett kísérleteink szélprofilja jelentősen eltér (21. ábra). Az "A" sorozat szélprofilja alapján elmondható, hogy az eredeti morzsás szerkezet, az abból adódó érdes talajfelszín az áramló levegő sebességét a felszínközeli lefékezi, mintegy 10 cm magasságban éri el a 13 m/s-os, majd 20 cm magasan a 15 m/s-os szélességet. A "B" sorozat szélprofilja alapján azonban szembejövő, hogy a 25–30 cm magas kukoricasorok a szél erősségét, s így a talajfelszín defláció-veszélyeztetettségét nem fékezik, hanem az egyes növények környezetében örvénylő mozgásokat generálva, a szél sebességét 16–17 m/s-ra növelve a talajfelszín közelében a defláció-veszélyeztetettségét is növelik.



21. ábra Az "A" és a "B" mérési sorozatok jellemző szélprofiljai

- A: a szélesség (m/s) izovonalas ábrázolása a szélcsatorna keresztmetszetében a csupasz talajfelszín felett
- B: a szélesség (m/s) izovonalas ábrázolása a szélcsatorna keresztmetszetében a kukorica sor felett

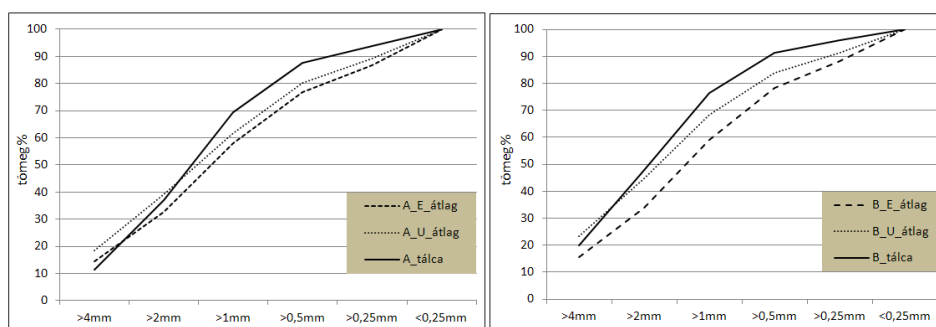
A 10 perces szélesemények hatására a feltalajban az aggregátum méretek százalékos aránya jelentősen módosult (6. táblázat, 22. ábra). A porfrakció elszállítódik, a nagyobb aggregátumok aránya megnő a talaj felső 5 cm-ében. Különösen a „B”kísérlet sorozatnál szembevetendő, hogy a nagyobb, 1–4 mm-es aggregátumok aránya a kísérlet után 5–10 %-kal megnőtt a feltalajban a kiindulási talajhoz képest (22. ábra). A nagyobb szaltációs mozgást a kukoricaborítás okozta szélesebbesség-növekedés eredményezte.

Az eredeti talajfelszín és a tálcákban összegyűlt talajanyag aggregátum-összetételét (tömeg%, n=3) összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy az „A” sorozat 15 m/s-os 10 perces széleseményeit követően az 1 és 2 mm átmérőjű aggregátumok a süllyesztett tálcában csapdázott talajanyag 58%-át tették ki (6. táblázat). Az eredeti talajfelszín aggregátum-összetételével összevetésben ezen átmérőjű morzsák aránya jelentősen (7–7%-kal) megnőtt a csapdázott talajanyagban. A „B” sorozat 16–17 m/s-os szélesebbesége nagyobb arányban mozdította el a 4 mm, ill. annál nagyobb aggregátumokat is. A tálcában csapdázódott talajanyag átlagosan 20%-át a 4 mm-nél nagyobb átmérőjű aggregátumok tették ki.

A csapdákban felhalmozódott talajanyagban a humusztartalom dúsul (23. ábra). Az MWAC csapdák anyagának humusztartalmát osztva az eredeti talajfelszín humusztartalmával, szélerősségtől függően a 15 és 25 cm magasan elhelyezett csapdákra 1,1–1,2-s feldúsulási faktorokat kapunk. A 15-55 cm között elhelyezett csapdák anyagában 0,6–1,0 %-kal magasabb H% mérhető, mint az eredeti talajban (24. ábra, 6. táblázat).

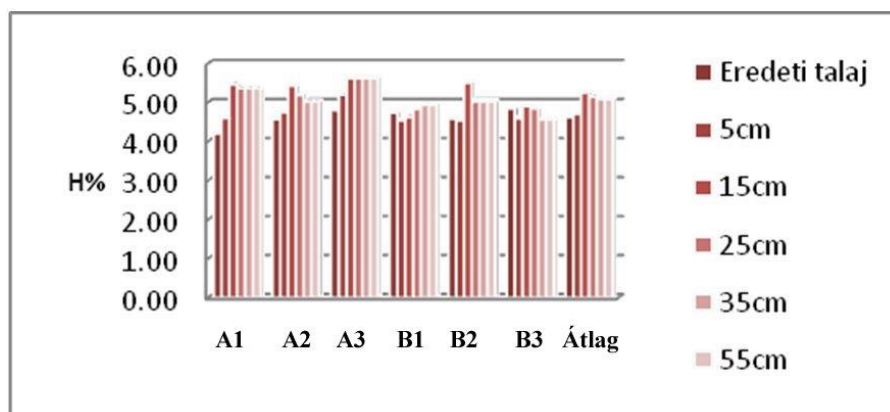
mm	„A”sorozat felszín m/m%	Szórás	„A”sorozat tálca m/m%	Szórás	„B”sorozat felszín m/m%	Szórás	„B”sorozat tálca m/m%	Szórás
>4	14,4	3,9	11,3	0,2	15,4	1,7	19,9	9,2
2–4	18,4	1,7	25,7	1,5	18,3	0,5	27,8	3,6
1–2	25,1	1,2	32,3	1,8	25,4	1,04	28,8	4,9
0,5–1	19,0	1,4	18,2	0,6	19,3	0,6	14,7	1,6
0,25–0,5	9,7	1,3	6,3	0,5	9,8	0,6	4,8	0,5
<0,25	13,4	2,6	6,1	0,9	11,8	0,9	3,9	0,2

6. táblázat Az eredeti talajfelszín és a tálcákban összegyűlt talajanyag aggregátum összetétele (tömeg%, n=3)

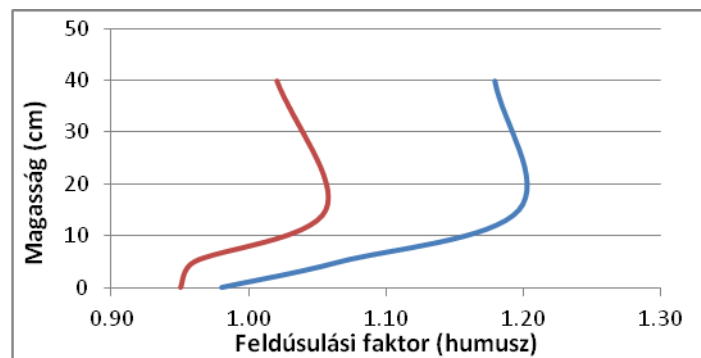


22. ábra A talajfelszín aggregátum összetételének (%) változása (bal oldal: „A” mérési sorozat, jobb oldal: „B” mérési sorozat, „E”: fűjtási kísérlet előtt, „B”): fűjtási kísérlet után

A 10 perces szélesemények hatására bekövetkező talajelmozdulás számszerűsítését a csapdáknál felhalmozódott talajanyag mennyiségének mérésével, a fűjtött felszín nagysága, valamint az MWAC csapdák bemeneti felszínének ismeretében végeztük (2. táblázat). Az átlagosan 1-1,1 t/ha talajelmozdulás döntő többségét a görgetve szállított talajanyag teszi ki. A tálcákban felhalmozódott talajanyag alapján a két fűjtési sorozat (borítás nélküli és kukorica sorral borított felszín) jelentős különbség nem mutatkozik, az "A" sorozat esetében 970 kg/ha, a "B" sorozat esetében 950 kg/ha görgetve történő talajelmozdulást regisztráltunk. Az MWAC csapdáknál elsősorban a porfrakció gyűlt össze, melynek mennyisége a teljes talajmozgáshoz viszonyítva az "A" sorozat esetében 10,7 %, a "B" sorozat esetében pedig 17,4 %. A talajelmozdulás átlagos értéke az "A" mérési sorozat esetében 1,07 t/ha, a "B" mérési sorozat esetében pedig 1,15 t/ha. Ezen talajanyagból nagyobb távolságra azonban csak az MWAC csapdáknál összegyűlt, lebegtetve szállított finom frakció jut, ami egy 15 m/s-os, 10 perces szélesemény alkalmával átlagosan 150 kg/ha-t tesz ki.



23. ábra A humusz mennyiség a csapdák talajanyagában (H%)



24. ábra A humusfeldúsulási faktorok alakulása a különböző magasságban elhelyezett csapdák anyagában (A-sorozat: jobboldali görbe, B-sorozat: baloldali görbe)

A széleseményenként elmozduló talajanyag mennyiségének, valamint a csapdáknál felhalmozódó üledék humusztartalmának ismeretében kalkuláltuk a humuszelmozdulás mértékét. A defláció okozta humuszveszteség (görgetve és lebegtetve szállított) az „A” mérési sorozat esetén 48,5 kg/ha, a „B” sorozat esetében pedig 51,7 kg/ha (10 perces, 15 m/s-os szélesemény).

	Áthalmazódó talajmennyiség (átlag) (kg/ha)	Humusz (%)		Feldúsulási faktor $H\%_{\text{erodált/eredeti talaj}}$	Összes erodált humusz (kg/ha)
		átlag	szórás		
Görgetve szállított talajanyag tálcás fogó alapján					
A - tálca	970,0	4,47	0,08	0,98	43,37
B - tálca	950,0	4,44	0,17	0,95	42,18
Lebegtetve szállított talajanyag MWAC csapdák alapján					
A - 5 cm	55,3	4,86	0,31	1,07	2,69
A - 15 cm	23,5	5,45	0,12	1,20	1,28
A - ≥25 cm	21,2	5,37	0,12	1,18	1,14
B - 5 cm	85,1	4,56	0,03	0,96	3,88
B - 15 cm	52,4	5,01	0,45	1,06	2,63
B - ≥25 cm	62,5	4,85	0,11	1,02	3,03

7. táblázat Az elmozduló talajanyag, a humuszfeldúsulási faktorok, valamint az elmozduló humuszanyag mennyiségének alakulása az "A" és a "B" kísérlet sorozatok alkalmával (15 m/s szélességen, 10 perces fújatással)

	Áthalmazódó talajmennyiség (átlag) (kg/ha)	P (%)		Feldúsulási faktor $P_{\text{erodált/eredeti talaj}}$	Összes erodált P (kg/ha)
		(átlag)	szórás		
Görgetve szállított talajanyag tálcás fogó alapján					
Box	960,0	1004,2	249	1,07	0,96
Lebegtetve szállított talajanyag MWAC csapdák alapján					
5 cm	55,3	887,8	63,2	0,95	0,05
15 cm	23,5	903,3	107,5	0,97	0,02
≥25 cm	21,2	861,6	63,4	0,92	0,02
Összes áthalmazódó P/kísérlet: 1,06 kg/ha					

8. táblázat Az elmozduló talajanyag, a P feldúsulási faktorok, valamint az elmozduló P mennyiségének alakulása kísérlet sorozatok alkalmával (15 m/s szélességen, 10 perces fújatással)

	Áthalmazódó talajmennyiség (átlag) (kg/ha)	K (%)		Feldúsulási faktor $K_{\text{erodált/eredeti talaj}}$	Összes erodált K (kg/ha)
		(átlag)	szórás		
Görgetve szállított talajanyag tálcás fogó alapján					
Box	960,0	15018	2072	1,00	14,42
Lebegtetve szállított talajanyag MWAC csapdák alapján					
5 cm	55,3	16167	1916	1,06	0,89
15 cm	23,5	16374	2204	1,08	0,39
≥25 cm	21,2	16493	929	1,09	0,35
Összes áthalmazódó K/kísérlet: 16,05 kg/ha					

9. táblázat Az elmozduló talajanyag, a K feldúsulási faktorok, valamint az elmozduló K mennyiségének alakulása kísérlet sorozatok alkalmával (15 m/s szélességen, 10 perces fújatással)

	Áthalmozódó talajmennyiség (átlag) (kg/ha)	Ca (%)		Feldúsulási faktor	Összes erodált Ca (kg/ha)
		(átlag)	szórás	Ca erodált/eredeti talaj	
Görgetve szállított talajanyag tálcás fogó alapján					
Box	960,0	26961	5925	0,9	25,88
Lebegtetve szállított talajanyag MWAC csapdák alapján					
5 cm	55,3	29253	5862	0,97	1,62
15 cm	23,5	31753	5900	1,04	0,75
≥25 cm	21,2	31983	1848	1,08	0,68
Összes áthalmozódó Ca/kísérlet: 28,93 kg/ha					

10. táblázat Az elmozduló talajanyag, a Ca feldúsulási faktorok, valamint az elmozduló Ca mennyiségének alakulása kísérletsorozatok alkalmával (15 m/s szélességen, 10 perces fújatással)

A talaj makroelemei (P, Ca, K) nem mutatnak feldúsulást a szélerózióval mozgatott talajfrakcióban, a feldúsulási faktoruk 0.95 és 1.09 között változik (8-9-10. táblázat.). A 10 perc hosszúságú, 15 m/s szélességű fújatói kísérletek során mintegy 1.05 kg/ha P, 16.05 kg/ha K és 28.9 kg/ha Ca elmozdulását regisztráltuk.

Kutatásunkban terepi szélcatornás méréseket végeztünk dél-alföldi réti csernozjom talajon. A két különböző felszínfedettség mellett 3-3 ismétlésben elvégzett fújatói kísérletek eredményei rávilágítottak arra, hogy legnagyobb gazdasági kincsünket jelentő termőföldjeinken egy 10 perces, 15 m/s-os szélesség esetén is már hektáronként 1 tonnánál nagyobb talajmennyiség mozdul el. Ennek döntő többsége görgetve szállítódik a felszínen, és kb. csak 10–15%-a mozog lebegtetve. Ez utóbbi anyagmennyiség jóval nagyobb távolságokra is eljuthat, s így végleg elveszik a mezőgazdaság számára az eredeti talajnál lényegesen nagyobb arányban megtalálható humusztartalma is.

A kutatási eredmények gyakorlati hasznosíthatósága

A kis- és közepes vízgyűjtő méretarányban végzett talajeróziós kutatásaink, az Erosion3D modell alkalmazásával elért eredményeink, valamint az általunk kidolgozott csapadék eseményekhez kötődő P és humusz átrendeződés térképezés módszertana segítséget jelenthet a vízgyűjtő gazdálkodási tervek készítésében, valamint a precíziós tápanyag gazdálkodás tervezésében.

A kutatás kereteiben kifejlesztett két széleróziós modell a talajvédelmi stratégiák fejlesztésében lehet jelentős. Az EEBW modell a nagy- és közepes méretarányban készülő szélerózió veszélyeztetettségi térképek elkészítését segíti, a MezEr modell pedig a szélerózió elleni talajvédelemben végzett döntés előkészítést szolgálhatja a létesítendő mezővédő erdősáv optimalizáción keresztül.

Kutatási eredményeinket 16 publikációban tettük nyilvánossá és 8 konferencián előadás keretében mutattuk be.