Szegedi Tudományegyetem Természettudományi Kar
Földtudományok Doktori Iskola

Geoinformatikai módszerek és folyamatmodellek alkalmazása a széleróziós vizsgálatokban

Doktori (PhD) értekezés

Szatmári József

Témavezetők:
Dr. Mezősi Gábor
egyetemi tanár
Dr. Mucsi László
egyetemi docens

Szeged, 2006

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés 3

2. Irodalmi áttekintés 5

2.1 Széleróziós kutatások 5
2.1.1 A széleróziós kutatás aktualitása, fontossága 5
2.1.2 A szélerózió folyamata 6
2.1.3 A széleróziós tudományos kutatás módszerei, irányai 7
2.1.4 Szélerózió a mezőgazdasági területeken 8
2.1.5 A szélerózió becslése, modellek 9
2.1.6 A geoinformatika alkalmazása a széleróziós térképezésben 13
2.1.6.1 Távérzékelési alkalmazások 13
2.1.6.2 Széleróziós adatok feldolgozás GIS-ben 15
2.1.7 Hazai kutatások rövid áttekintése 16

2.2 A por dinamikája és mérése 17

3. A mintaterület bemutatása 20

3.1 A mintaterület morfológiája 20
3.1.1 A DDM előállítása 21
3.1.2 A domborzat modellezése 22
3.1.3 A domborzatmodell ellenőrzése 22
3.1.4 A domborzat morfológiai elemzése 23

3.2 Homokmozgások a későglaciális és holocén időszakban 25

3.3 Meteorológiai viszonyok 27

3.4 Talaj 30

3.5 A szélerózió dinamikája és a földhasználat összefüggései 30
3.5.1 Az első és a harmadik katonai felmérés időszaka 31
3.5.2 A kollektív gazdálkodás évtizedei 34
3.5.3 Az elmúlt 15 év tapasztalatai 36

4. Mérőcölöpös terepi mérés a kísérleti parcellán 38

4.1 A kísérleti parcella kialakítása 38

4.2 A műszerkert 39

4.3 A méréssorozatok 40

4.4 Az adatok feldolgozása 40

4.5 Az eredmények értékelése 41
4.5.1 Az 1997 évi homokviharok vizsgálata 44
4.5.1.1 Az áthalmozott homokmennyiség mérése a kísérleti parcellán 45
4.5.1.2 A talajminták vizsgálati módszerei 45

5. Szélerózió mérése mikrofonos szemcsebecsapódás-számlálóval 50

5.1 A hordozható terepi mérőállomás kiépítése, műszerei 50
5.1.1 Mikrofonos szemcsebecsapódás-számláló 51
5.1.2 Szélirány, szélsebesség mérése 54
5.1.3 Talajnedvesség érzékelő 54
5.1.4 Adatgyűjtő 55

5.2 Mikrofonos mérések szélcsatornában 56
5.2.1 A becsapódási szemcseszám és a mozgási magasság kapcsolata 56

5.2.2 Homokszemcsék indítási küszöbsebességének mérése ... 58
5.2.3 A szélsebesség és a becsapódási szemcseszám kapcsolata ... 58
5.3 Homokszemcsék indítási küszöbsebességének és becsapódásszámának vizsgálata a mintaterületen ... 60
6. Modellvizsgálatok ... 65
6.1 RWEQ (Revised Wind Erosion Equation) eróziós szubmodell futtatási eredményei ... 65
6.2 WEPS (Wind Erosion Prediction System) ... 66
6.2.1 WEPS időjárási adatbázis feltöltése ... 67
6.2.2 A WEPS Erosion szubmodell alkalmazása ... 70
6.2.2.1 Verifikáció ... 71
6.2.2.2 Számítási háló ... 71
6.2.2.3 Paraméterek megadása ... 71
6.2.2.4 Érzékenységi vizsgálat és kalibráció ... 72
6.2.2.5 Validáció ... 75
6.2.2.6 Szimuláció ... 76
7. Integrált széleróziós geoinformatikai rendszer létrehozása és alkalmazása ... 79
7.1 Műholdfelvételek klasszifikációja és interpretálása ... 79
7.2 Integrált széleróziós geoinformatikai rendszer ... 82
7.3 Szélerózió-veszélyeztetettség értékelése a Duna-Tisza közén ... 85
7. 4 Települési porszennyezettség és a szélerózió kapcsolata ... 87
7.4.1 A poremisszió mértékének becslése ... 87
7.4.2 A települési porterhelés mérésének rövid áttekintése ... 89
7.4.3 A szálló por kapcsolata a széleróziós periódusokkal ... 92
7.4.3.1 A Duna-Tisza közi adatok értékelése az 1997 tavaszi időszakra ... 92
7.4.3.2 A szegedi monitorállomás 2004 évi PM10 adatainak értékelése ... 94
8. Összefoglalás ... 96
8.1 Az elért eredmények összefoglalása ... 96
8.2 A széleróziós kutatás folytatásának irányai, lehetőségei ... 97
9. Summary ... 99
9.1 Methods, results and conclusions ... 99
9.2 Prospects and tendencies in further wind erosion research ... 102
Köszönetnyilvánítás ... 104
Felhasznált irodalom ... 105
Mellékletek ... 111

A címlapon: Homokvihar a szántóföldön és belvízfoltok a laposokban a kiskunmajsai határban, 2000. márciusban

1. Bevezetés

" A nation that destroys its soils, destroys itselfs.
Forests are the lungs of our land, purifying the air
and giving fresh strength to our people."
(F.D. Roosevelt)

A szélerózió és hatásai, legyenek azok mezőgazdasági, közegészségügyi vagy bármilyen más következményei, nem tartoznak a legmegrázóbb, a híradásokban mindennapos hírként tárgyalt globális környezeti problémák közé, mint például a fölmelegedés, az őserdők pusztítása, vagy az ózonlyuk növekedése. Ráadásul természetes, terepi körülmények között történő vizsgálata számos alapvető problémát vet fel, kezdve onnan, hogy van-e egyáltalán olyan mérési módszer, amellyel korrekt, a valóságos ható folyamatoknak legalább tendenciáiban megfelelő adatokat lehet nyerni. Leküzdhetetlen akadályt és a téma művelőjének nagy fájdalmat jelent az a tény is, hogy a hosszú és fáradságos munkával kiépített és karbantartott mérőállomás eszközei, műszerei hónapokig, nemritkán évekig semmiféle értékelhető adatot nem rögzítenek, hiszen ehhez a talajszemcséket mozgásba hozó munkaképes szelek, a száraz talajfelszín, a mérőműszerek, valamint kivételesen szerencsés esetben azok kezelője is szükségszerűen egyszerre és egy helyen kell, hogy legyenek.

A mezőgazdaságilag hasznosított területeken fellépő széleróziós folyamatok tudományos kutatása, akárcsak a vízeróziónál, komoly munkaszervezési feladat. Két kérdés vetődhet fel. Az első a szélerózió fellépésének nagy tér- és időbeli változékonysága, például az éves eróziós tevékenység legnagyobb része egy-két rövid, néhány órás, gyakorlatilag előre nem jelezhető, viharosan szeles periódus eredménye. Másodszor a folyamat alattomossága, hiszen a homokfodrok kivételével (M–K melléklet), eltérően a vízeróziótól, általában nem maradnak egyértelmű és nyilvánvaló jegyek a felszínen – nincsenek eróziós barázdák, vízmosások – a szélerózió pusztítása után. Nagy mennyiségű talaj kifúvása, a felszín több centiméteres elhordása és általában nem sokkal távolabb az anyagmennyiség lerakása jellemzi a folyamatokat, de ezeknek a változásoknak a feltárása, a nagy és látszólag véletlenszerű térbeli változékonyság miatt, csak hosszú évekig tartó, rendszeres monitoringgal lehetséges. Így könnyen érthető, hogy sokkal kisebb a széleróziós munkák száma a vízerózióval foglalkozó tudományos publikációk mennyiségéhez viszonyítva és kevesebb helytálló becsléssel rendelkezünk a szélerózió folyamatát és hatását illetően. Az ismeretek előzőekben említett hiánya jelentősen hozzájárul a probléma világszerte általánosan felismerhető, nem megfelelő kezeléséhez.

Az előző gondolatok alapján és a kutatómunka során fölvetődött kérdések, amelyekre az értekezésben keresem a választ, a következők:

1. Van-e olyan, általunk is alkalmazható, terepi széleróziós mérési módszer, amellyel a széleróziós folyamat dinamikájáról, az anyagáram mennyiségi jellemzőiről valóságközeli adatokat kaphatunk?
2. Alkalmazhatók-e – és ha igen, milyen feltételekkel – az eltérő éghajlati körülmények között készült széleróziós folyamatmodellek a hazai kutatásokban?
3. Melyek azok a geoinformációs technikák, amelyek alkalmazásával – a parcella szintű mérési eredményekre és modellszámításokra támaszkodva – becsléseket adhatunk nagy kiterjedésű területek szélerózió-veszélyeztetettségének mértékére?
4. Kimutatható-e szignifikáns kapcsolat a tavaszi és őszi szélerózió okozta poremisszió és a települési porterhelés növekedése között a Duna-Tisza közén?

A kutatás és a válaszadás során, a kezdetben kisebb, később egyre növekvő nehézségek, nemegyszer kudarcok miatt gyakran felmerült a kérdés, hogy miért ragaszkodom makacsul ehhez a témához? A válasz összetett és tartalmazza azokat az információkat, amelyek az elvégzett munka főbb ismérveit jelentik.

Elsősorban említem a méréstervezés, műszerbeszerzés izgalmát és gyötrelmeit és a Duna-Tisza köze vizsgált területein (3. fejezet) végzett terepi munka szépségét. Két – alapjaiban eltérő – mérési módszert dolgoztunk ki, amelyekhez az alapötlet már kezdetben adott volt, de a megvalósításban teljesen önálló utat kellett járnunk. Az első a szél által mozgatott homoktömeg meghatározása mérőpálcák alkalmazásával, amelyről a 4. fejezet szól, a másik a homokmozgást kiváltó szélsebességek mérésére, és a szemcsemozgás dinamikájának vizsgálatára szolgáló terepi mobil mérőállomás kiépítése és tesztelése szélcsatornában és a kísérleti parcellán (5. fejezet). Mérési adataink birtokában hozzáláthattam két számítógépes, széleróziós szimulációs modell teszteléséhez, amelynek eredményeit a 6. fejezet tartalmazza. A széleróziós méréseket, modellbecsléseket és távérzékelt adatokat egy komplex, geoinformatikai rendszerbe integrálva előállítottam a Duna–Tisza köze körülbelül 6500 km^2-es területének széleróziós térképét (7. fejezet).

E vizsgálat során statisztikailag kimutatható kapcsolatot kerestem a szántóföldi eredetű poremisszió és a Duna-Tisza köze nagyobb településein mért jelentős porterhelés között (7. fejezet). Továbbá áttekintést ad a dolgozat az újabb, főként európai és hazai kutatásokról a 2. fejezetben, valamint a 8. fejezetben összefoglalom az elért eredményeket és a továbblépés lehetséges irányait.

2. Irodalmi áttekintés

2.1 Széleróziós kutatások

2.1.1 A széleróziós kutatás aktualitása, fontossága

Az eolikus geomorfológiai folyamatok káros hatásainak kivédésére szerte a világon jelentős beruházások történtek (LIVINGSTONE, I. – WARREN, A. 1996): így történik ez már több ezer év óta a szaharai és az arab sivatagi oázisokban, a dán homokterületeken a XVIII-XIX. századtól, a holland partokon és a délnyugat francia Landesen a XIX. századtól, az Egyesült Államokban az 1930-as évek „Dust Bowl"[1]-ja óta, az izraeli partokon az állam megalakulásától, az orosz és közép-ázsiai sztyeppéken a sztálinizmus kezdete óta. Az 1950-es évektől az olajban gazdag közel-keleti sivatagi országokban, a Szahel-övezetben Észak-Afrikában, a 70-es évek kezdetétől Indiában és Kínában (SHI, P. et al. 2004) és még sok más területen történtek kevésbé intenzív, de jelentős beavatkozások (COOKE R. et al. 1993). Mindezek eredményeként az alkalmazott eolikus geomorfológia és művelői jelentékeny presztízsre és gyakorlati tapasztalatra tettek szert az utóbbi évszázadban.

Ezek a tapasztalatok két döntő tényt tárnak elénk. Először is a beruházásokat ritkán motiválják csupán pénzügyi-gazdasági meggondolások, a legtöbb esetben a szimbolikus komponens meghatározó a döntésekben. Például a hollandok számára az eolikus geomorfológiai beavatkozás a természeti folyamatokba a nemzeti túlélés egyik legfontosabb feltétele volt. Bár nem ennyire akut általában a probléma a többi területen, de szinte mindenütt hatásos szimbóluma lett a természet legyőzhetőségének, például a SZU-ban a „tudományos szocializmus győzelme a barbár sztyepp fölött". A kevésbé fejlett országokban az alkalmazott eolikus geomorfológia az elsivatagosodás elleni harc jelképe. A gazdag Arab-félszigeten dollármilliókat költenek fasorokra és dísznövényekre, hogy az országutakat megvédjék a homoktakaróktól, holott gyakran elegendő lenne egy-egy egyszerű sövény is erre a célra.

A por, a mozgó homok és a dűnék – a fentiek is bizonyítják – mélyen gyökerező aggodalmat okoznak, melyeket csak ritkán oszlathatják el egyedül a tudományos tények és a gazdasági érvek.

Második tanulsága az alkalmazott eolikus geomorfológia történetének az, hogy a siker, avagy a sikertelenség nem csak önmagában a tudományos módszer jóságán múlik, hanem

[1] Dust Bowl: Az USA középnyugati (főként Nebraska és Dakota államok), félig száraz mezőgazdasági területein az 1930-as évek elején a szélerózió hatalmas pusztítást okozott, 1933 novemberében a kifújt por 1500-2000 km-re, New York államba is eljutott.

azon is, hogy mennyire ágyazható be a tudományos módszer az adott kultúra vagy ország földművelési, területhasznosítási hagyományaiba (WARREN, A. 2002).

2.1.2 A szélerózió folyamata

A szél által mozgatott szedimentum eróziója, elszállítódása és lerakódása világszerte felismert és kutatott környezeti probléma. Különböző mechanizmusok hatására a durvább és finomabb részecskék a felszínen mozgásba jönnek, valamint felemelkedve a felszínről az atmoszférába jutnak és ezáltal káros fizikai és kémiai folyamatokkal terhelik az embert és természeti környezetét. A részecskék által kifejtett hatás függ a szemcsék összetételétől, nagyságától, koncentrációjától és a röppályájuk megtételéhez szükséges időtartamtól, amely folyamatok fizikai hátterét az amerikai BAGNOLD, R.A. 1941-es könyvében a mai kor tudományos követelményeinek is szinte tökéletesen megfelelően feltárta.

A levegő finom részecskéinek környezetünkre gyakorolt hatásait a lég-, víz- és talajszennyezéssel foglakozó számos kutatás vizsgálja (GOOSSENS, D. 2002, 2004a, 2004b; HRADEK, M. et al. 1995; WARREN, A. 2002). Az ásványi aeroszolok jelentősen befolyásolják a levegőminőséget lokális, regionális és (inter)kontinentális méretekben is. A finom atmoszférikus por emberi egészségre gyakorolt hatásának is számos aspektusa van, melyek közül napjainkban a légzőszervek károsodása a leginkább vizsgált negatív hatás (MENSINK, C. 2003; RIKSEN, M. 2004).

Az aeroszoloknak a talajok minőségére gyakorolt hatását ugyancsak széleskörűen vizsgálják, hiszen főként a szemiarid és arid területeken a leülepedő és fölhalmozódó finom részecskék a talajok fontos tápanyagforrásai (COOKE, R. et al. 1993). Az akkumulálódott eolikus homok és por a talajképződési folyamatokat is befolyásolja, továbbá nem elhanyagolható a szél által mozgatott szemcséknek a növényzetre gyakorolt egyéb fizikai hatása sem (STEFANOVITS P. 1992).

Az 1970-es évekig a széleróziós és a hozzá kapcsolódó eolikus kutatások elsősorban az „on-site", azaz a jelenség közvetlen környezetében lejátszódó folyamatokra és hatásokra irányultak. Az 1980-as évek elejétől az „on-site" folyamatok tanulmányozása mellett az „off-site" (térben távolabbi, közvetett) hatások vizsgálata egyre inkább előtérbe került (GOOSSENS, D. 2002; RIKSEN, M. 2004). Az elmúlt évtizedben a kutatások tárgyának ez irányú eltolódása még intenzívebb lett, melynek magyarázata a fenntartható és egészségesebb környezet kialakításának, a társadalom részéről a tudománnyal szemben támasztott, egyre erőteljesebb igényével magyarázható. Mivel a szélerózió „off-site" hatásai sokkal inkább a finomabb részecs-

kék (pl. por) dinamikájával vannak kapcsolatban, így e terület kutatása is nagyobb fontosságra tett szert az utolsó 10-15 évben (WARREN, A. 2002).

2.1.3 A széleróziós tudományos kutatás módszerei, irányai

A szélerózió tudományos megközelítésének három típusa a következő (LIVINGSTONE, I. et al. 1996):

1. Terepi kísérletekkel és mérésekkel követhetőek nyomon legérzékenyebben a változások.
2. A lejátszódó folyamatok aprólékos modellezése szélcsatornában lehetséges, ahol tetszés szerint változtatható a szélsebesség, a talajparaméterek, a felszín érdessége és nedvességtartalma és még sok egyéb tényező, viszont nagy a hibalehetőség a folyamatok túlzott leegyszerűsítése miatt, valamint jelentős a kísérletek költségigénye.
3. A legkevésbé megbízható módszer a talajveszteség terepen mért és becsült értékeinek statisztikai összevetése a környezeti paraméterekkel (csapadékmennyiség, szélsebesség, szélirány, talajállapot, művelés). Ez a megközelítés, bár széleskörűen alkalmazott és folyamatosan fejlődik az elméleti széleróziós modellezési technikákkal párhuzamosan, gyakran vezet kétes eredményekhez és elvi formulákhoz, amelyek használhatósága enyhén szólva bizonytalan. Minden hibája ellenére ez a módszer, kombinálva más technikákkal, sokszor ad valós megoldást a technikai kérdésekre, különös tekintettel a szélerózió által veszélyeztetett területeken gazdálkodó farmerek gyakorlati kérdéseire (HAGEN, L.J. 1991b).

Igényes tudományos munkák sokasága készült és készül az Egyesült Államok Mezőgazdasági Minisztériumának (USDA) Széleróziós Kutató Csoportjában (WERU)[2] Manhattanban (Kansas állam). Kutatásaik eredménye látható és tapasztalható a középnyugati területeken, de még sok más államban is. Az új módszerek alkalmazásával, az intézet kutatói szerint, ki lehet védeni egy második „Dust Bowl" fenyegetését. Igaz, hogy a porviharok gyakorisága még a negyedét sem érte el az utóbbi évtizedekben az 1930-as évekre jellemző gyakorisági értékeknek, más szakemberek azonban óvatosabbak, hiszen becslések szerint $2x10^6$ hektár területet károsít a szélerózió évente (1935-1985 évek átlagában) az USA-ban. A szélkár ebben az összefüggésben azt jelenti, hogy a talajveszteség látható, vagyis több, mint 33 t/ha évente vagy a vertikális kifújás 2–4 mm. A károsított terület nagysága az aszályos években növek-

[2] http://www.weru.ksu.edu

szik, mint mutatja ezt az 1954-55-ös és az 1975-76-os évek csúcsa, amikor $6x10^6$, illetve $3.2x10^6$ hektárt sújtott a szélerózió (LYLES, L. 1985).

2.1.4 Szélerózió a mezőgazdasági területeken

A széleróziós folyamatok legfőbb hatásterületei az észak-amerikai préri, vagy az orosz, ill. közép-ázsiai sztyeppek, bár károkozása még az 1000 mm fölötti évi csapadékmennyiséggel rendelkező West Midland (Anglia) területén is megfigyelhető (LIVINGSTONE, I. et al. 1996). A károkozás formái:

- Elsősorban, mivel a szél a talajt elhordja, a talaj víztartó-képessége csökken, amely tényező a szemiarid területeken a terméshozamok szempontjából rendkívül kritikus.
- A szél támadásainak kitett felső talajréteg tartalmazza az összes agyagtartalom és szerves anyag legnagyobb százalékát (amelyek együtt a természetes és a hozzáadott tápanyagokat kötik meg a lefelé szivárgó víz kilúgozó hatása ellen is), valamint közel az összes magot.
- A szélerózió kitakarhatja a gyökereket is. Kísérletek alapján (ZOBECK, T. et al. 1988) tudjuk, hogy minden 2 cm-nyi talajveszteség a terméshozamok 6 %-os csökkenéséhez vezet (LYLES L. 1975).
- További károsodást szenvedhet a növény, ha a lerakódó szediment megsérti a levélzetét, termését, illetve betakarja, eltemeti a vegetatív részeit.
- A szél által áthalmozott anyag tápértéke lényegesen kisebb, mint az eredeti talajé, hiszen tápanyagtartalma a szállítás közben kirostálódik.
- Az eolikus szediment a közlekedésben okozhat továbbá fennakadásokat, mivel a homokleplek beteríthetik az utakat és eldugíthatják a csatornákat, amelyek megtisztítása komoly összegekbe kerül. Az Egyesült Államokban 1989-ben a szélerózió okozta mezőgazdasági károkozás elhárításának költségeit 188 millió $-ra becsülik (HUSZAR, P.C. et al. 1986).
- Végezetül a szélerózió terméke a szálló por is, amelynek hatásterülete az egyébként nem közvetlenül veszélyeztetett területekre is kiterjed. Így nagy szükség van a folyamatok tudományos vizsgálatára, megértésére.

Az Erosion Control 1998-as november-decemberi számában jelent meg a 2.1 táblázat, mely szerint az USA-ban a szélerózió évi teljes károkozása és a kár elhárítása megközelíti a 10 milliárd dollárt, a teljes (víz- és szél-) eróziós károkozás évi értékét 44 milliárd dollárra

becsülik, a védekezés egyszeri, alapvetően szükséges összegét pedig 8,4 milliárd dollárra. Érdemes megfigyelni, hogy a teljes károsszeg több, mint a felét az egészség-károsodással kapcsolatos költségek teszik ki!

2.1 táblázat Az USA-ban a szélerózió károkozása és a károk becsült évi elhárítási költségei (Forrás: Erosion Control, 1998 11/12. Cornell University tanulmánya alapján)

Széleróziós kár éves értéke	
Kár / kárelhárítás típusa	**Érték (millió $)**
Egészségkárosodás, gyógyítás	5 371,0
Tájrehabilitáció, parkosítás	2 894,0
Település, épület belső szennyeződése, tisztítás	986,0
Település, épület külső szennyeződése, festés	18,5
Rekreáció	223,2
Gépjárművek javítása	134,6
Útjavítás	1,2
Védett területek, vízbázisok tisztítása	0,1
Egyéb gazdasági, üzleti károk, elmaradt haszon	3,5
Teljes költség	**9 632,1**

Az utóbbi idők kutatásai sok új momentummal gazdagították a széleróziós folyamattal kapcsolatos ismereteinket. Például szoros kapcsolatot tártak föl a víz- és a szélerózió között (LYLES, L. et al. 1972): az esőcseppek föllazítják a részecskéket (aggregátumokat), amelyeket aztán a szél könnyebben mozdíthat ki a felszínről akár egyidejűleg a zivatarral, akár később, amikor a talajfelszín már kiszáradt. Az eső által lehordott és a kisebb vízmosásokban, árkokban fölhalmozott laza hordalékot, amelynek a szemcsefrakciója is általában éppen megfelelő a szélerózió számára, a szél könnyebben mozgatja meg. A talajkéreg (ZOBECK, T. et al. 2006) tekinthető sok esetben az eróziós folyamat legkritikusabb momentumának: ennek kialakulása a felszín legfelső rétegében a szélerózióval szembeni ellenállást 10-5000-szeresére is megnövelheti. Kialakulásukat elősegítik a heves csapadékok, a magas agyag- és szervesanyag-tartalom.

2.1.5 A szélerózió becslése, modellek

Az USDA szakemberei már a tudományos kutatások kezdeti szakaszában megfigyelték, hogy a mezőgazdasági területeken fellépő szélerózió együttesen függvénye a klimatikus tényezőknek (erozivitás - erosivity) és a felszín tulajdonságait meghatározó tényezőknek

(erodálhatóság - erodibility) (KARÁCSONY J., 1992). Követve a vízeróziós kutatás[3] lépéseit létrehoztak egy eljárást, amelynek segítségével megadható a szélerózió nagysága egy megművelt parcellán (ZOBECK, T. et al. 2003). Ez volt a Széleróziós Egyenlet (WEQ - Wind Erosion Equation):

$$E = f(C,I,L,K,V)$$

ahol E a tényleges éves eróziós veszteség tonnában, hektáronként; C a lokális klimatikus index; I a talaj erodálhatósági indexe; L olyan tényező, amely függ a parcella uralkodó szélirányból tekintett alakjától (szélút = fetch); K a barázdaérdességi faktor és V a növényzetborítottsági tényező (WOODRUFF, N.P. et al. 1965).

A WEQ tényezőit sorra véve érdekes megvizsgálni LIVINGSTONE, I. és WARREN, A. 1996-os tanulmánya alapján, hogy mely tényezőket lehetséges befolyásolni, megváltoztatni a széleróziós folyamat szempontjából? Nyilvánvaló, hogy a klimatikus faktor (C) csak hatalmas befektetések árán változtatható meg, de a parcellahosszt (L), a felszín érdességét (K) és a növényzettel való fedettség mértékét (V) általában a gazdálkodók hatékonyan képesek befolyásolni. A WEQ sikere ott mutatkozott meg, hogy a figyelmet ezekre a tényezőkre irányította és segítségével, egyszerűen megvalósítható eszközökkel - az erózió mértéke radikálisan csökkenthetővé vált.

A klimatikus tényező (C) az évi átlagos szélsebességnek és a nedvességi indexnek az egyszerű kombinációja volt. Ez a már addig is teljesen nyilvánvaló kapcsolatot mutatta meg, vagyis azt, hogy a száraz, szeles felszínek a leginkább veszélyeztetettek. A talaj erodálhatóságának (I) vannak folyamatos és efemer alkotóelemei. A többé-kevésbé permanens minőségi mutató a felszínen lévő talaj elsődleges szemcseeloszlása, hiszen a küszöbsebesség - amelynél megindul a homokmozgás - a szemcseméret függvénye. Bár az elemi szemcseméret vizsgálata fontos, de a valós folyamatok az aggregátumokon hatnak. Az USDA módszerében az „I" faktor meghatározásához a „száraz szitálás" eljárását alkalmazták a természetes állapotú talajszemcsékre. Kutatások során erős korrelációt találtak a száraz szitálás eredményei és a homok-, vályogtartalom százalékai; a homok/agyag arány, a karbonáttartalom; valamint a talaj szervesanyag-tartalma között (FRYREAR, D.W. et al. 1994). A homokos és vályogos talajok jobban erodálhatóak, hiszen nem tartalmaznak agyagszemcséket, amelyek viszont elengedhetetlenek a nagyméretű és stabil aggregátumok kialakulásához és összetartásához. Az aggregátumok kialakulása - amellett, hogy növeli a szemcseméretet - érdesebb felszínt eredményez (K faktor) és ha elég sűrűn helyezkednek el az aggregátumok, akkor védhetik a közöttük lévő finomabb szemcséket is.

[3] http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/weppmain

A parcellahossz (L) egy további könnyen változtatható faktor. A széltörő sövényekkel és mezővédő erdősávokkal tagolt felszíneken kisebb a munkaképes szelek sebessége, mint a csupasz, nagyméretű táblákon. Már a kutatások korai szakaszában felismerték a kapcsolatot a szélsebesség csökkentésére hívatott gátak luv és lee oldalán fellépő turbulens jelenségek és ezen széltörő objektumok alakja, likacsossága (szélateresztő képessége), rugalmassága és szezonalitása (a növényzet sűrűségének periodicitása) között. Azt is kimutatták, hogy a szélirányra nem megfelelően telepített széltörő gátak mögött örvények keletkezhetnek, amelyek pusztító hatása még erősebb, mint az akadálytalan szélé. A széltörőknek egyéb funkciói is lehetnek, mint a szélerózió elleni védekezés. Ilyenek például a talajnedvesség megőrzése (a gátak mögött), hóakadályként és por elleni védekezésre is szolgálhatnak, valamint hasznot hozhatnak a faanyag kitermelésekor (pl. karácsonyfa). A fasorok telepítésekor azonban mindig nagyon körültekintően kell eljárni, hiszen a telepítés nem mindig gazdaságos, legalábbis a gazdálkodók túlnyomó többségének rövid távú gondolkodása és számítása szerint. A fasorok helyet vesznek el termőföldből és vizet vonnak el a termesztett növényektől.

A szél hordalékszállító képességének növekedése szélirányban, egy laza szedimentumból álló homokfolton, több okra vezethető vissza. GILLETTE, D.A. et. al. (1996) összegezték ezt a folyamatot „fetch effect" (szélút mentén fellépő hatások) néven, amely a következő részfolyamatok kombinációja:

- Chepil által bevezetett „avalanching=alázúdulás", vagy más terminusban „cascading =zuhogás",
- a belső határréteg kifejlődése és növekedése során megváltozó aerodinamikai jellemzők,
- a folt szélétől számított távolság növekedésével változó indítási küszöbsebesség.

Chepil modelljében a szél által a parcella széléről elmozdított szemcsék újra a felszínre érkezve további szemcséket mozdítanak ki („kibombáznak"), amellyel tovább növelik a szállított hordalék mennyiségét. Gillette hozzáteszi még, hogy a becsapódó részecskék az aggregátumokat is szétbontják, valamint kitöltve a felszín egyenetlenségeit (barázdáit) szinte lesimítják azt, amelynek folytán tovább fokozódik a „cascading". Chepil kísérleteivel kimutatta, hogy az a távolság, amely alatt a munkaképes szél a maximális mennyiségű szedimentum mozgatásához elérkezik, lehet 60 m (a legerodálhatóbb talajoknál) és akár 1,5 km is (a gyengén erodálható talajoknál). A parcellák mérete így az uralkodó szélirányban megfelelően keskeny kell legyen és ajánlott a védtelen talajfelszínű parcellákból és tarlókból álló mozaikszerű, változatos felszínt kialakítani (mint ahogyan a Prérin, az erózió elleni védelmet szem előtt tartó farmerek már meg is valósították). Evvel nem csak a „cascading" folyamata fékezhető,

hanem a kimozdított homokszemcsék a tarlóban csapdázhatóak és csökkenthető a felszínközeli szélsebesség is. Értelemszerűen a tarlótáblák szélesebbek kell legyenek a homokos talajokon, valamint ha a tarló alacsonyabb.

A felszínérdességi tényezőre (K) kísérletek alapján azt találták, hogy minél érdesebb a felszín (legalább kb. 0,06 m-es mikrorelief-különbséget, vagy barázdamagasságot feltételezve), annál kisebb a felszíni szélsebesség. A sebességcsökkentő hatás abban az esetben maximális, ha a barázdák az uralkodó szélirányra merőlegesek. A felszín érdességét az aratás után a szántóföldön hagyott növényi szármaradványokkal is lehet növelni. Különösen értékes terményeknél talajstabilizáló anyagokat is alkalmaznak, de nagy területeken és kevésbé értékes szántóföldi növényeknél általában nem gazdaságos ezek használata.

A vegetációs faktorral (V) kapcsolatos tanulmányok szintén igen egyszerű ajánlásokat eredményeztek a farmerek számára, azonban éppen ez a tényező a legkritikusabb a szélerózió folyamat szempontjából. Magyarországon - éppen úgy, mint az USA, Ausztrália, vagy Oroszország hatalmas termőterületein – a termesztett növények megkövetelik a földek fölszántását és mindig van egy olyan időszaka az évnek, amikor a növényzet még gyenge ahhoz, hogy megvédje a felszínt a szélveréstől. Általában pontosan ezekben a hetekben, hónapokban pusztítanak a legerősebb szelek ezeken a területeken.

A tényezők számítási eljárásai kiterjedt tapasztalati értékekre és elméleti kutatásokra alapultak. Az egyenlet és annak továbbfejlesztett változata alapján a RWEQ (Revised Wind Erosion Equation) elnevezésű számítógépes szimulációs folyamatmodellt hozták létre a texasi Lubbock kutatói a 90-es évek közepén, amely az első interneten elérhető, ingyenes és parcella szintű szimulációkra alkalmas program volt[4].

Minden előnye ellenére a WEQ/RWEQ-val kapcsolatban számos probléma merült fel. Elsősorban ez az eljárás az USA szárazabb klímájú, középnyugati kísérleti területein szerzett tapasztalatokon alapult (sok tényezőjét Kansas keleti részének környezeti paraméterei alapján, tapasztalati úton normalizálták); nem vette kezdetben figyelembe a vegetáció és a talaj egy éves perióduson belüli változását; nem tudta kezelni a vegetáció, az időjárás, a talaj és az erózió komplex rendszerének kölcsönhatásait, sokkal inkább a szélviszonyokban bekövetkező változásokkal számolt (TATARKO, J. et al. 1995b).

Az előzőekben röviden fölvázolt problémákra, kritikákra válaszolva az USDA a 80-as évek második felében egy új módszer, a WEPS[5] kifejlesztésébe kezdett, amelyhez további

[4] http://www.csrl.ars.usda.gov/wewc /rweq/ readme.htm
[5] http://www.ars.usda.gov/weps

terepi méréseket, empirikus kutatási eredményeket használt fel, valamint a modellt modul rendszerben, személyi számítógépre írták meg (HAGEN, L.J. 1991a; TATARKO, J. et al. 1995a).

Az USA-ban dolgozták ki – ugyancsak a texasi Lubbock Műszaki Egyetemén - a TEAM (Texas Tech Erosion Analysis Model) folyamatmodellt, amely a szél- és széleróziós paraméterek közötti fizikai-matematikai összefüggések alapján ad becslést a deflációra, akkumulációra, valamint a kiporlás mennyiségi mutatóira. A modellt főként oktatási célokra dolgozták ki (GREGORY, J.M. et al. 2004).

Európában az évtized elején német kutatók hozták létre a WEELS (Wind Erosion on European Light Soils) modellt, mellyel angol és német adatbázisok felhasználásával szélerózió-veszélyeztetettségi szimulációkat végeztek (BÖHNER J. et al. 2003).

2.1.6 A geoinformatika alkalmazása a széleróziós térképezésben

A geoinformatikai módszerek közül a műholdas- és légitávérzékelés (jelen áttekintésben nem foglakozom a közelfotogrammetria kínálta lehetőségekkel, bár alkalmazása az eolikus morfológiában és a szélerózió kutatásában is perspektivikusnak tűnik) a széleróziós folyamatokkal kapcsolatos talajfizikai, felszínborítottsági vizsgálatokban, míg a térinformatika a veszélyeztetettségi térképek, kártérképek és a hozzájuk tartozó adatbázisok előállításában és kezelésében alkalmazható, de lényegében a szimulációs modellezést (2.1.5 fejezet) is ide sorolhatjuk, hiszen a széleróziós modellek implementálhatók a GIS rendszerekbe (THIERMANN, A. et al. 2002).

2.1.6.1 Távérzékelési alkalmazások

A különböző talajok különböző spektrális reflektancia görbékkel jellemezhetők, amelyek lefutása számos talajtulajdonságtól függ (MULDERS, M.A. 1987; MUCSI L. 2005). Ezek közül a legfontosabbak a következők: Thornthwaite-index által definiált nedvességi zóna, alapkőzet, talajművelés, lejtőszög, nedvességtartalom, szerkezet, szín, szervesanyag-tartalom, vas-oxidok.

A spektrális reflektancia görbék típusai megkülönböztethetők a görbék alakja, az elnyelési sávok hiánya, vagy megléte és a domináns szervesanyag, valamint vas-oxid összetétel alapján. Fontos szerepe van a csupasz talajfelszínekről történő visszaverődésben a talajfelszín érdességének, a textúrának és a talajnedvességnek, amely tulajdonságok vizsgálatára főként

az aktív távérzékelő radarrendszerek használhatók (MULDERS, M.A. 1987; TANSEY, K. et al. 1997).

Az erózió tanulmányozásánál fontos kérdés, hogyan tudjuk meghatározni a távérzékelt adatok segítségével a növényzet által egyáltalán nem, vagy csak kis mértékben borított talajok szél elleni védettségének fokát. Ehhez először a következő két kérdést kell megválaszolni:

- hogyan lehet a fedetlen talajfelszínt felismerni, valamint
- hogyan lehet a gyér növénytakarót azonosítani a felvételeken?

A felszínfedettség növekedésének a vizsgálatához a 0,58-0,72 μm-es klorofill elnyelési és a 0,72-1,30 μm-es közeli-infravörös sáv relatív reflektancia-értékeinek hányadosát használhatjuk. A felszín spektrális reflektanciáját befolyásolja a fedetlen talajfelszín nagysága, a talaj színe, nedvességtartalma és a talajművelési módszer. HUETE, A.R. (1988) kifejlesztett egy indexet (SAVI) a zöld vegetáció és az alatta lévő talajfelszín tulajdonságainak elkülönítésére. A vegetációs indexek, vagy zölderősség mérések két osztályba sorolhatók: a különböző sávok hányadosaival kifejezett indexek, illetve az ún. ortogonális indexek osztályába.

1. Hányados indexek: a vegetáció mérésére leggyakrabban használt hányadosok a NIR és a R sávok lineáris kombinációiból állnak elő, mint pl. az NIR/R, az NDVI=(NIR-R)/(NIR+R), vagy a TNDVI=$((NIR-R)/(NIR+R)+0.5)^{1/2}$. A két dimenziós NIR-R síkon ezek az indexek az origóból kiinduló növekvő meredekségű egyenesekként ábrázolhatók grafikusan.
2. Ortogonális indexek: legismertebb a kétdimenziós "merőleges vegetációs index" (PVI) és a négy- ill. n-dimenziós "zöldvegetáció index" (GVI), valamint talajnedvességi (SWI) index (CRIST, E.P. et al. 1986).

Műholdas adatokat (Landsat TM és SPOT felvételeket) arid és szemiarid területek degradációs és talajeróziós vizsgálatához alkalmazott többek között DE JONG, M.S. et al. (1992, 1994), valamint SMARA, Y. et al. (1995). Multispektrális adatok és talajadatok statisztikai vizsgálata és klasszifikációs eljárások alapján előállított adatbázis segítségével értékelte a talajpusztulási folyamatokat Egyiptomban GOOSSENS, E.M. et al.(1993).

A légi távérzékelési lehetőségeknél elsősorban az ún. SFAP (small format aerial photography) említendő, hiszen a módszerrel a kutatók a felmérendő, erózió által veszélyeztetett terület nagyságának, a konkrét kutatási feladat kívánalmainak megfelelően tervezett (műszaki paraméterek, felvételező eszközök, kamerák, műszerek) légifelvételekhez juthatnak. HENNEMANN, G.R. és kollégái (2004) tanulmányukban elemzik a hagyományos távérzékelési adatok felhasználásának műszaki (kis térbeli és nem megfelelő spektrális felbontás), valamint

gazdasági (költséges beszerzés) akadályait és egy afrikai példán bemutatják a kis költségvetésű, nagy térbeli fölbontású és időben többször megismételt, monitoring jellegű SFAP alkalmazás előnyeit. Megállapítják, hogy a nagy méretarányú, jó minőségi jellemzőkkel rendelkező légifelvételeken a szél által erodált foltok, ezek mintázata, az uralkodó szelek által formált szélbarázdák a kifújási és akkumulációs jegyekkel kiválóan azonosíthatók.

2.1.6.2 Széleróziós adatok feldolgozás GIS-ben

A térinformatika alkalmazása a széleróziós adatok kezelésében, térképezésében igen széleskörű, hiszen napjainkban már a deflációval foglalkozó kutatók, talajvédelmi szolgálatok, a táj- és területi tervezés intézetei, statisztikai hivatalok, stb. szinte kivétel nélkül valamilyen földrajzi információs rendszerben tárolják és dolgozzák fel adataikat. Néhány, a geoinformatika szolgáltatta lehetőségek szofisztikáltabb kihasználására mutató példát inkább a modellek, mint külső alkalmazások, illetve az implementált modellek és GIS ugyancsak igen kiterjedt témaköréből említek.

ZOBECK, T. és kollégái 2000-ben publikált tanulmányukban nagyon fontos alapkérdésekre mutatnak rá. A széleróziós mérések, modellezések általában parcella szintűek, jellemzően legfeljebb néhány hektáros mintaterületekre vonatkoznak. Amennyiben nagyobb regionális egységekre, táj nagyságrendű dimenziókba akarjuk adatainkat emelni, a következő problémákkal szembesülünk:

(1) definiálni kell a még homogénnek tekintett tájelem kiterjedését (mérési parcella szint, modell alapfelbontási szintje);
(2) meg kell határozni az attribútum adatok származtatására és elemzésére alkalmazott számítási módszereket, és azok optimális pontossági követelményeit;
(3) a különböző felbontású, pontosságú és struktúrájú adatok együttes kezelésének, horizontális és vertikális összeillesztésének elkerülhetetlensége;
(4) a széleróziós modellek által megkívánt és az adott területre elérhető adatok, mint input paraméterek skála- és felvételezési méretarány-eltéréseiből adódó nehézségek.

A kutatók célja az volt, hogy feltárják egy parcella szintű modell (RWEQ) felhasználásának lehetőségeit és korlátait két regionális szintű, összesen több száz km^2 nagyságú területre, valamint összevessék a különböző méretű számítási hálókra kapott, összesített elhordási értékeket.

Az USDA kutatói (COEN, G.M. et al. 2004) a WEPS modell és mezőgazdasági térinformatikai talajadatbázis (AGRASID) kombinációjával állítottak elő szélerózió-érzékenységi

térképeket Alberta állam területére, ahol a 27 ezer km^2 mezőgazdasági terület jelentős része szélerózió-veszélyeztetett.

A WEELS projekt részeként BÖHNER, J. (2003), valamint THIERMANN, A. (2002) és kollégáik az önállóan fejlesztett 5x5 km-es számítási hálóval rendelkező széleróziós modellt az ArcInfo GIS-be építették be és veszélytérképeket generáltak angol, német és svéd mintaterületekre. Alaptérképként felhasználták az 5-25 ha felbontású CORINE és ATKIS felszínborítási adatbázisokat. FUNK, R. és kollégái (2004) térinformatikai alkalmazást dolgoztak ki Németország Brandenburg tartomány szélerózió-veszély térképének generálására, amelyben a talaj-paramétereken kívül figyelembe vették a szélsebességet és a tájalkotó elemek közül az erdősávokat és sövényeket, amelyek a talajelhordást akadályozzák, vagy nehezítik.

2.1.7 Hazai kutatások rövid áttekintése

Magyarország mezőgazdaságilag művelt területének (6,15 millió hektár) közel negyede, 1,45 millió hektár szélerózióval veszélyeztetett (PETRASOVITS, I. – KARÁCSONY, J. 1990). A szél pusztító tevékenységének leginkább kitett laza futóhomokos felszínek a legnagyobb kiterjedésben a Duna-Tisza közén és a Nyírségben terülnek el, de az erózió elleni védelem rendívül fontos az értékesebb - löszös - termőtalajjal rendelkező DK-i országrészben is (BAUKÓ T. et al. 1990). A homokterületeken fellépő széleróziós tevékenység mennyiségi és minőségi vizsgálatával foglalkozott - terepi mérési adatok felhasználásával - többek között BODOLAY I. (1966a,b), BORSY Z. (1972a, 1972b), DIKKEH M. (1991), HARMATI I. (1989), KIRÁLY M. (1970), LÓKI J. (1994, 2003). KARÁCSONY J. 1992-es munkájában a széleróziós folyamat fizikai törvényeivel foglalkozik, bevezeti és értelmezi az erozivitás és erodálhatóság fogalmakat, valamint megépíti és teszteli a Werotest nevű, a szemcsemozgás laboratóriumi vizsgálatára szolgáló szerkezetet.

Szegedi kutatók tanulmányaikban az Alföld és ezen belül elsősorban Csongrád megye szélerózióval veszélyeztetett területeinek geomorfológiai és klimatológiai vizsgálatával (JAKUCS L. 1989; KEVEINÉ BÁRÁNY I. - MEZŐSI G. 1991; MUCSI L. 1993; MEZŐSI G. et al. 1996, 1998; MUCSI L. et al. 1998), agrogeológiai értékelésével (ZENTAY T. 1989), a védekezés agrotechnikai módszereivel (HARMATI I. 1989), valamint a védekezés erdészeti lehetőségeivel (RÉDEI K. 1989) foglakoztak. Az EPIC talajeróziós modell tesztelését Szeged környékén, egy mezőgazdasági termelés alatt álló területen végezte el MEZŐSI G. és RICHTER, G. (1990, 1991), ahol a széleróziós folyamatot befolyásoló mért és számított meteorológiai paramétereket vetették össze a modell által becsült értékekkel. KOVÁCS F. és kollégái (2006a,b) egy sajá-

tos, síkvidéki víz- és széleróziós jelenség, a szikpadka-erózió vizsgálatára, a padkahatárok idő- és térbeli hátrálási folyamatainak meghatározására alkalmaztak távérzékelési, geodéziai és digitális sztereo-fotogrammetriai módszereket.

LÓKI J. 1994-es és 2003-es értekezéseiben a szélerózió folyamatának laboratóriumi, szélcsatornás vizsgálatait foglalja össze, Magyarország talajait reprezentáló több, mint száz talajminta indítási küszöbsebességének meghatározása alapján térinformatikai eszközökkel megszerkeszti hazánk potenciális széleróziós térképét. Különböző felszíni védekezési eljárásokat dolgoz ki és vizsgál terepi, valamint laboratóriumi körülmények között.

Tekintsük át, hogyan kezeli az állam a szélerózió kérdését. Az 1994. évi LV. Törvény a termőföldről VI. fejezete (A talaj védelme) a szélerózió elleni védekezési eljárásokat, beavatkozásokat és létesítmények kiépítését előírja, szabályozza az állam feladatait és a földhasználó kötelezettségeit. Ennek keretében, az FM felügyeletével, az 1990 évek elejétől a Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer (TIM, 1995) keretében kialakításra került 9 mérőhely, amelyek szélerózionak kitett területeken találhatók, és az adatbázisban a „Speciális mérőhelyek / degradálódott területek" címszó alatt találhatók a mérési adatok.

A Földvédelmi Alap[6] 1996-tól anyagi eszközöket biztosít "a termőföld minőségének védelmével összefüggő feladatok végrehajtásához, az erodált vagy erózióra hajlamos területen a víz- és szélerózió elleni eljárások és létesítmények megvalósításához". Magyarország uniós csatlakozásával az OECD/EUROSTAT rendszereknek megfelelő részletezettségű kétévenkénti adatszolgáltatást követel meg az EU, amelyen belül "kidolgozandó a víz- és szélerózió által okozott talajdegradáció becslésének koncepciója, kiépítendő az országos eróziós monitorozó hálózat". A távérzékelési és térinformatikai eszközökkel támogatott térképezési és változáskövetési eljárások megfelelőnek bizonyulhatnak e feladat megoldásában[7].

Az Európai Unió 2003-ban adta ki a mezőgazdasági szakirányítás és a politikusok számára készült összefoglalóját, amely meghatározza széleróziós kutatások, a döntéshozás és az agrármenedzsment jövőbeli európai irányát és szerepét (WARREN, A. 2002; RIKSEN, M. et al. 2003).

2.2 A por dinamikája és mérése

A legtöbb széleróziós munka a folyamatban részt vevő durvább szemcsék mozgásával és az általuk keltett hatásokkal foglalkozik (GOOSSENS, D. et al. 2001). A felső talajréteg fi-

[6] http://www.1000ev.hu/index.php?a=3&param=9184
[7] http://www.terport.hu/doctar/public/eu/esdp_200012.doc

nomszemcsés alkotóinak, a porfrakciónak vizsgálata azonban sokkal nagyobb figyelmet kíván, hiszen főként eredetük távolabbi környezetére gyakorolt (off-site) hatásai az egyik legjelentősebb levegő- és környezet-minőségi problémát okozhatják.

Az on-site folyamatok között a talajpusztulás mellett geomorfológiai jelentőséggel is bír az a tény, hogy a finom szemcsék a felső talajrétegből eltávoznak és a durvább frakcióktól eltérően nem az érintett területen, illetve annak határán halmozódnak fel, azaz a finom frakció hiányzik a szélbarázdák peremeit alkotó formák (maradékgerincek, garmadák) összetételéből. Kiemelkedő jelentőségű a finom szemcsékhez kötődő és adszorbeálódó tápanyag, szerves anyag és egyéb talajrészecskék (pl. permetszerek és szennyezőanyagok) szerepe és vizsgálata (GOOSSENS, D. 2002; ZOBECK, T. et al. 2006). A mezőgazdasági területekről erodálódott por a legkülönbözőbb mikroszkopikus organizmusokat is magával szállítja jelentős távolságokba is, mint pl. vírusokat, baktériumokat, spórákat (RIKSEN, M. 2004).

Európában, főként a mezőgazdaságilag intenzíven hasznosított talajokban a vályog- és agyagfrakció aránya jelentős (pl. glaciális, fluviális eredetű és lösztalajok). Erős, de már közepes szélsebességek esetén is jelentős poremissziót figyeltek meg Európa különböző országaiban és hazánkban is (GOOSSENS D. et al. 2001; BARRING, L. et al. 2003; BAUKÓ T. – BEREGSZÁSZI P. 1990).

A szélerózión túl a helytelen talajművelésnek van nagy szerepe a poremisszióban. Egyes szerzők (GOOSSENS, D. et al. 2001) kimutatták, hogy miután a munkaképes szelek évente csak néhány napig mozdítják meg talajfelszíni szemcséket, addig az őszi és tavaszi szántás időtartama több hétig is elhúzódik, így méréseik szerint a szántásból származó kiporlás 6-szor több porszemcsét juttatott a légkörbe a vizsgált területen, mint a szélerózió. Általában ez a terület kevéssé kutatott, mint a korábban említett aspektusok, bár a szárazodási folyamatok erősödésével feltételezhetően egyre érdekesebb és jelentősebb iránya lesz ez a kutatásoknak. Hasonlóan a többi kutatási területhez itt is az észak-amerikai szakemberek járnak az élen, de eredményeik pl. az eltérő talajok, klíma, parcellaméret miatt nem, vagy csak nehezen alkalmazhatóak az európai viszonyokra, ahol többek között a PODSIADLOWSKI, S. – HAGEN, L. (2000) és GOMES L. et al. (2003) végeznek ilyen irányú kutatásokat.

Magyarországon a defláció és a porszennyezés közvetlen kapcsolatára GÁL J. 1974-es publikációjában hívta fel a szakemberek figyelmét, amelyben mezővédő erdősávok ültetését és alapvetően az erdősítést ajánlotta az emberi egészségre ártalmas és egyéb, pl. közlekedési veszélyhelyzeteket (látástávolság csökkenése) is okozó porterhelés mértékének csökkentésére. Az elmúlt 15 év erdőtelepítéssel kapcsolatos hangzatos ígéreteiről és a megvalósítás elmaradásáról értekezik BARNA T. 1999-es dolgozatában. Külön felhívja a figyelmet az Alföld er-

dősültségének nagyon alacsony fokára, s ennek következményeként fellépő porviharok okozta gazdasági károkra. Az ökológiai adottságok miatt nem zárt erdők létrehozását, hanem összefüggő erdősávrendszerek telepítését és kialakítását javasolja.

Szegeden a települési porterhelés mérésével és értékelésével PASINSZKI J. (1990, 1996) foglakozott publikációiban, melyekben a por közlekedési eredetű toxikus komponenseit vizsgálta és megállapítja, hogy a szegedi levegő leginkább porral szennyezett. Mérései szerint az ülepedő por mennyisége folyamatosan az egészségügyi határérték közelében tartózkodik.

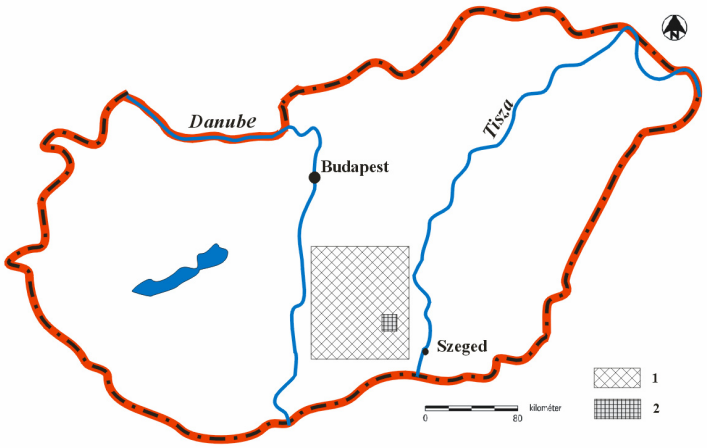
A 2000-es évek elejétől publikált megyei, kistérségi és települési környezetvédelmi programokban RAKONCZAI J. és kollégái (2000a, 2000b, 2005) a hatástanulmányokban és helyzet-értékelésekben kiemelt súllyal kezelik a levegőtisztasággal kapcsolatos problémákat, ezen belül a szélerózió, a szántóföldi kiporlás kapcsolatát a magas porimmisszióval, valamint rendre felhívják a figyelmet a közegészségügyi hatásokra, a lehetséges kezelési, megoldási alternatívákat is fölvázolva.

2003-ban elindult a LAWINE projekt (Land degradation by Wind induced desertification – an INtegrated assessment approach to European soils), amelyben 8 európai ország egyetemei – így hazánkból az SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszéke – és kutatóintézetei vesznek részt, melynek során részfeladatként kaptuk a szélerózió emberi egészségre gyakorolt hatásának vizsgálatához kutatási módszertan kidolgozását (MENSINK, C. et al. 2003).

3. A mintaterület bemutatása

3.1 A mintaterület morfológiája

Modellszámítások és műholdas adatok feldolgozásával előállított, a dolgozat 7. fejezetében bemutatásra kerülő, szélerózió térkép a Duna-Tisza közi homokhátság jelentős kiterjedésű területére készült, míg a részletesebb feldolgozások a Dorozsma-Majsai homokhát északi részére vonatkoznak, amelyet ebben és a későbbi fejezetekben "mintaterületként" használok. Kísérleti területnek nevezem azokat a parcellákat (a mintaterületen belül), amelyeken a műszeres méréseket végeztük (3.1 ábra). Ebben a fejezetben, főként a történeti vonatkozású tárgyalásoknál, gyakran a mintaterület tágabb környezetére vonatkozó adatokat is összegyűjtöttem, amennyiben a konkrét területre nem állt rendelkezésre, vagy nem találtam a felszínfejlődésre, területhasználatra vonatkozó használható információkat.



3.1 ábra A mintaterületek elhelyezkedése. 1: Duna-Tisza köze távérzékelt adatok alapján vizsgált területe; szélerózió-veszélyeztetettségi térkép által lefedett terület; 2: mintaterület és kísérleti parcella a Dorozsma-Majsai homokháton

A Dorozsma-Majsai homokhát jellemzően futóhomokos felszíne összefüggő területi elterjedésben nyomozható a Tisza folyó jobb oldali alluviális ártéri síkságának nyugati peremvonalától és szerves része a Duna-Tisza közi homokhátságnak. A szél által szállított és akkumulált futóhomok vastagsága 10-30 méterre tehető. A legkarakterisztikusabb felszínformák az uralkodó széliránnyal párhuzamos, általában erdővel borított maradékgerincek és az ugyancsak ÉNY-DK-i tengelyű hosszanti völgyek, jobbára vízállásos laposok: semlyékek (JAKUCS L. 1989). A mintaterületen különösen az alacsonyabb homokformák és a deflációs

mélyedések feltűnőek, míg a homokhátság nyugatabbra eső területein a nagyobb akkumulációs formák (parabolabuckák, homokdűnék) váltak jellemzőbbekké (3.2 ábra).

3.2 ábra A fülöpházi (balra) és orgoványi homokbuckák

A következőkben a mintaterület alaki tulajdonságainak mérése, vagyis a geomorfometria (KERTÉSZ Á. 1974) számítógépes módszerei közül mutatunk be néhányat (BÓDIS K. – SZATMÁRI J. 1998). A feladat különlegességét az adja, hogy rendkívül kicsiny, néhány méteres relatív relieffel rendelkező felszín digitális domborzatmodelljét állítottuk elő, valamint ezen DDM alapján számított morfometriai paraméterek ”jóságát” kellett megvizsgálnunk. A végeredményül kapott információk értéke önmagában nem áll arányban a DDM létrehozásába befektetett munkával, azonban, ha nagyságrendekkel nagyobb, elsődlegesen a szél munkája által formált felszínekre alkalmazzuk ezeket a módszereket (vagyis rendelkezésre állna pl. az 1:10 000-es méretarányú digitális térkép szintvonalas fedvénye a teljes Duna-Tisza közére), akkor az eolikus formakincs kialakulásával, fejlődésével foglalkozó kutatások jelentős geoinformatikai támogatást kapnának.

3.1.1 A DDM előállítása

A domborzatmodellezést hosszadalmas, de nélkülözhetetlen és nagy pontosságot igénylő adatbevitel előzte meg, majd az így nyert adatbázis – földrajzi feldolgozását lehetővé tevő – átalakításra, szerkesztésre volt szükség. A domborzatmodell forrásául a területet lefedő 1:10 000-es méretarányú topográfiai térképek szolgáltak. A műveletek eredményei:

1. a vizsgált területet lefedő térképek magassági vonalait követő, a magassági adatokat leíró adatként tartalmazó, *line* topológiával rendelkező fedvény (és nem szintvonalas térkép);

2. a vizsgált terület jellemző magassági értékkel bíró pontjait értékeikkel együtt tartalmazó, *point* topológiával rendelkező fedvény.

3.1.2 A domborzat modellezése

Földünk változatos felszínének digitális ábrázolására leggyakrabban használt adatmodell egy olyan szabályos rácsháló, amely metszéspontjainak magassági értékével jellemzi a felszínt. A metszéspontok közötti pontok *z* értékének meghatározására kétféle közelítő eljárás van. Az első eljárás szerint egy pont magasságát a szomszédos metszéspontok – tehát ismert magassággal rendelkező pontok – *z* értékéből interpoláció útján kapjuk. A másik eljárás úgy tekinti a rácsháló minden egyes elemét (cella), mintha azon belül a magasság állandó, a cella középpontjának magasságával megegyező érték volna. Az így felépülő, szerkezetileg és adattárolásában azonos modell két – az alkalmazott eljárásra utaló – elnevezése a LATTICE és a GRID.

A modell pontossága a metszéspontok távolságától, illetve a cella méretétől függ. Minél több pont magasságát ismerjük annál pontosabb lesz a modell, annál kevesebb – a felület változására jellemző – pont értéke marad ki a modellből, de a felbontás növelésének vannak határai, mégpedig a magassági adatok forrásának függvényében.

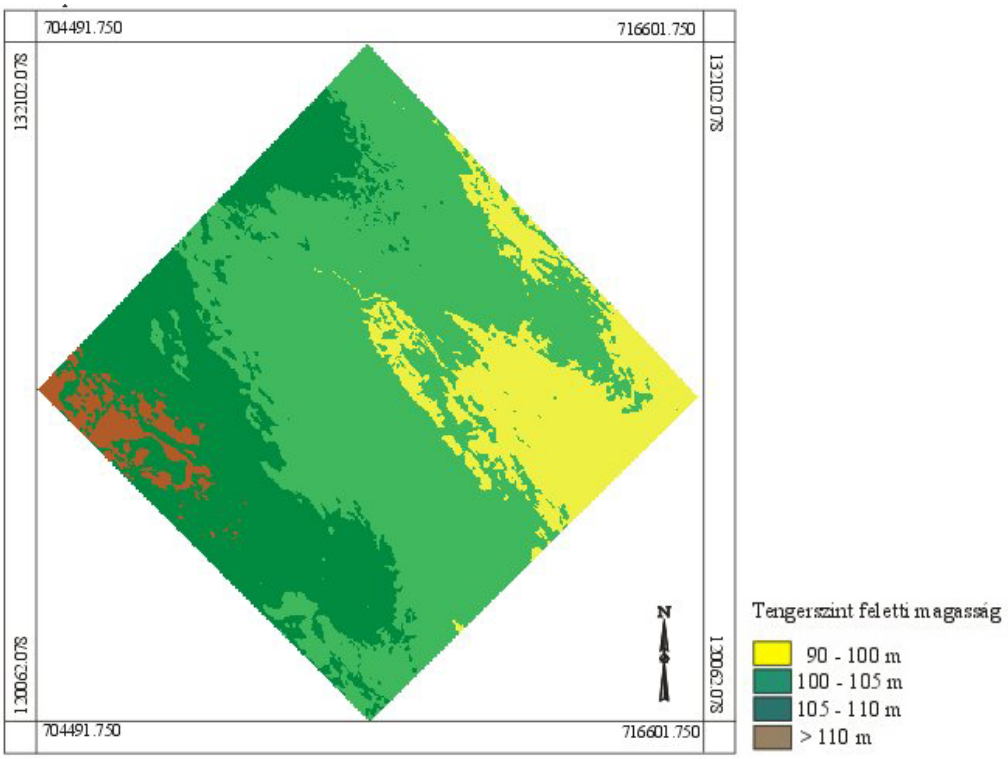
Az általunk használt Arc/Info 7.0.3. szoftveren belül a TOPOGRID modul a legalkalmasabb arra, hogy a rendelkezésre álló, digitalizált szintvonalakból domborzatmodellt készítsünk (ESRI, 1994). A TOPOGRID a modell létrehozásakor különböző paraméterekkel dolgozik, amelyek megadásánál a számunkra forrásként szolgáló topográfiai térkép adataitól függő toleranciaértékeken belül mozoghatunk.

3.1.3 A domborzatmodell ellenőrzése

A LATTICECONTOUR parancs izovonalakat hoz létre a domborzatmodell alapján, amelyet a kiindulási, szintvonalakat tartalmazó fedvénnyel összehasonlítva következtethetünk a modellalkotó eljárás helyességére és figyelemmel követhetjük a toleranciaértékek értékhatárokon belüli változtatásának eredményeit. Az ellenőrzés során legmegfelelőbbnek tartott domborzatmodellt kiválasztva megkezdhetjük a felület morfológiai elemzését.

3.1.4 A domborzat morfológiai elemzése

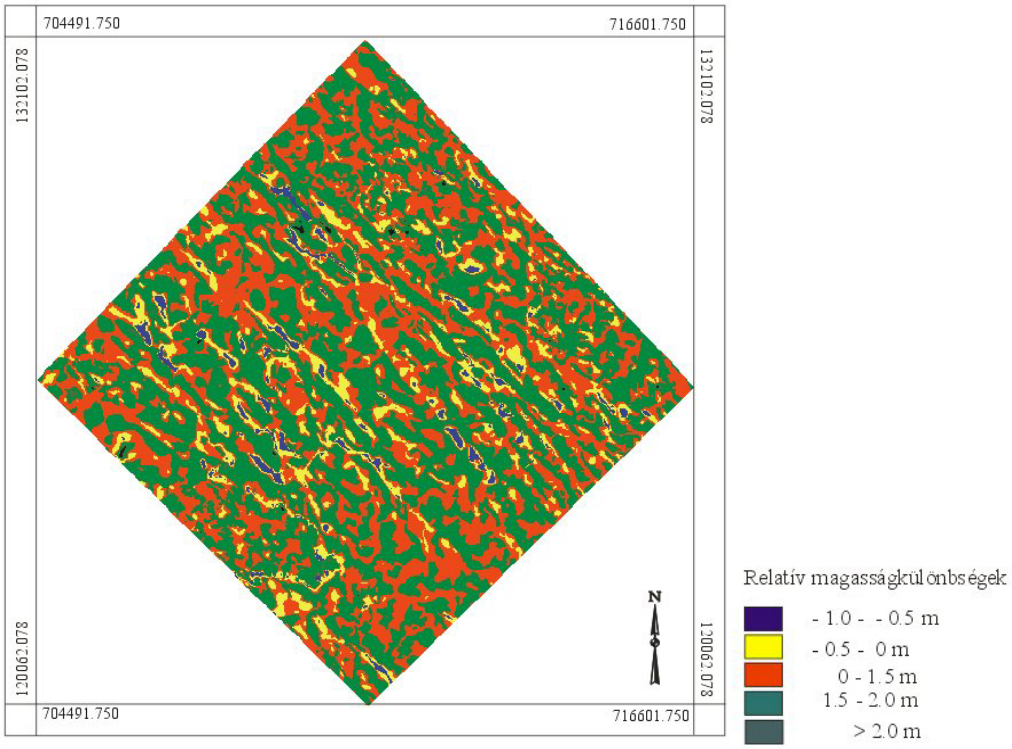
A domborzatmodellt felhasználva, a magassági adatok alapján készült a terület magassági viszonyait értékelő 3.3 ábra. A felület minden további vizsgálata során ez a grid – vagy lattice – lesz a kiindulási alap. A domborzatmodellből származtatott térképek a domborzatmodell celláinak szomszédsági viszonyait – közvetlen vagy tágabb környezetükben – különféle szempontok szerint vizsgálják.



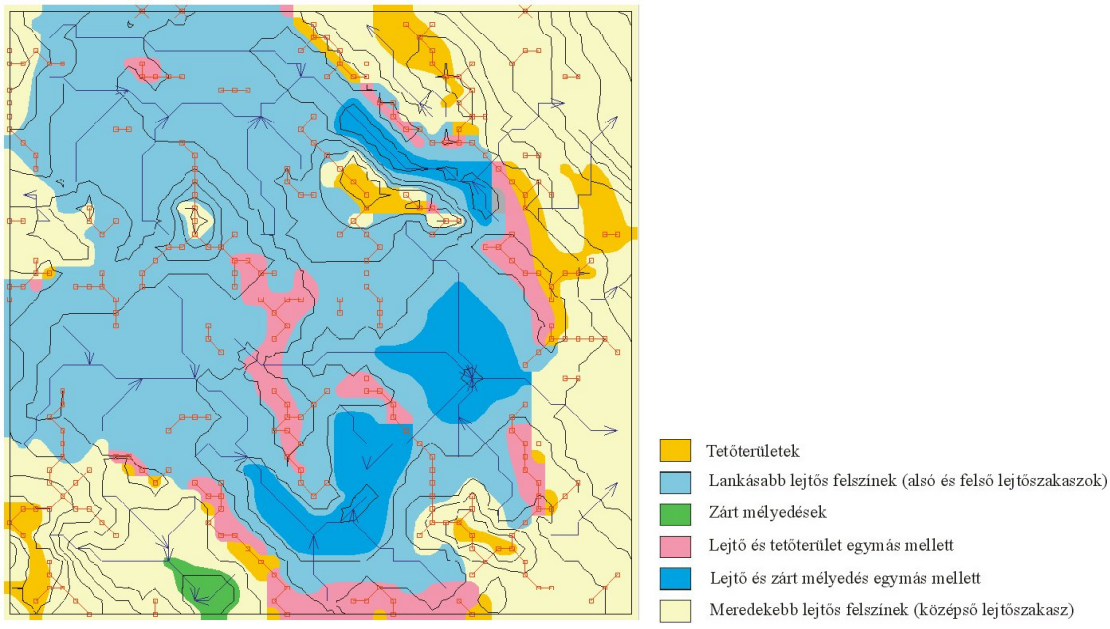
3.3 ábra A kömpöci mintaterület digitális domborzatmodellje

A magassági- és felszíntagoltsági viszonyokra lehet következtetni a relatív magasságkülönbségeket elemző térkép alapján (3.4 ábra). A térkép az Arc/Info GRID moduljának FOCALMEAN függvényével készült, cellánként 250 m-es körben vizsgálva a környező cellák átlagmagasságát és azt viszonyítva az aktuális cellaértékhez. A kapott eredmények –3 és +3 méter közöttiek a kömpöci mintaterület esetén.

A függőleges görbültség (3.5 ábra) klasszifikálásával a különböző lejtőformák egymásmellettiségét határoztuk meg, amely utal a lejtő fejlődésbeli állapotára. Szabályos lejtő esetén a tetőfelszínt meredekebb lejtő, majd lankásabb követi. Ez a sorrendiség a buckák északias kitettségű oldalát jellemzi.



3.4 ábra Relatív magasságkülönbségek a kömpöci mintaterületen

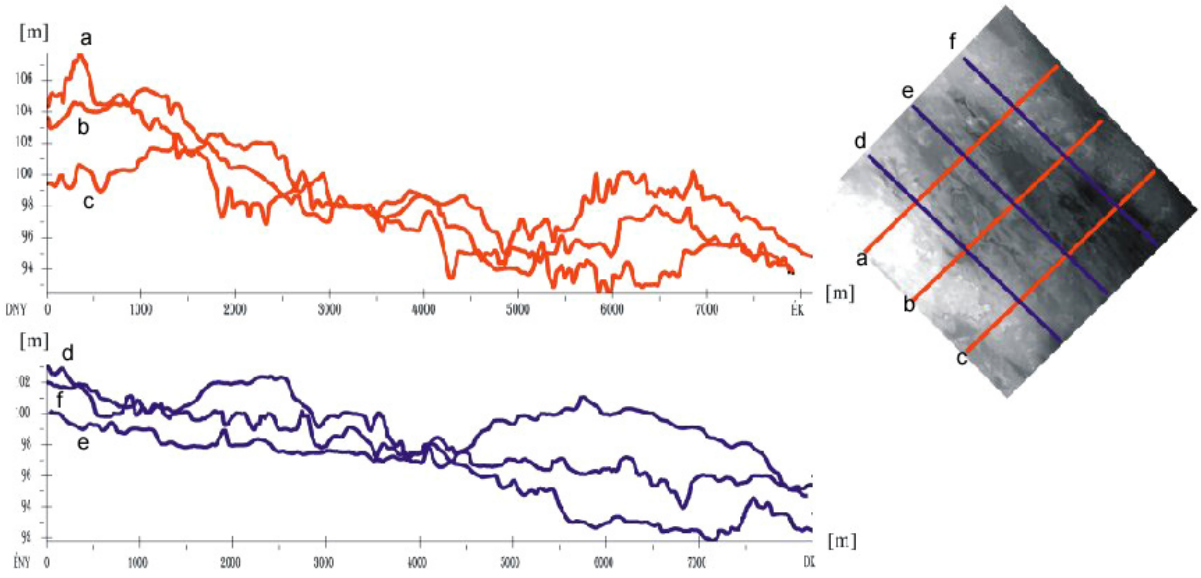


3.5 ábra Klasszifikált függőleges görbültség

A DNY-ÉK-i és ÉNY-DK-i irányú keresztmetszeteken (3.6 ábra) a mintaterület domborzati elemeinek irány szerinti formája rajzolódik ki. Az DNY-ÉK-i irányú metszetek görbéi kis távolságon viszonylag nagy különbségekkel vesznek fel értékeket (1 kilométeren 4 méternél nagyobb szintkülönbség), valamint a helyi minimum- és maximum értékekre kör-

nyezetük bizonyos szimmetriát mutat, amelynek magyarázatát az ábra jobboldali részén látható szürkeárnyalatos domborzatmodell jól szemlélteti. A metszetvonalak szinte pontosan merőlegesen vágják el a fő domborzati formákat jelentő két akkumulációs felszínt (hosszanti világos foltok) és köztük a deflációs mélyedést. A lokális szimmetriák pedig a homokbuckák magassági viszonyait jelzik.

Az ÉNY-DK-i irányú metszetgörbék lényegesen kisebb magassági változást és változatosságot mutatnak a teljes metszethosszra és lokálisan is, valamint az előbbihez hasonló szimmetria ezeken a metszeteken nem figyelhető meg: a deflációs mélyedés laposabb, elnyújtottabb formái a jellemzők.



3.6 ábra A kömpöci mintaterület DNY-ÉK-i és ÉNY-DK-i irányú metszetei

3.2 Homokmozgások a késő glaciális és holocén időszakban

A Duna-Tisza közén 0,5-2 m vastagságban nyomozható lepelhomok képződésének idejére vonatkozó pontos adatot a lakiteleki föltárásból ismerünk (LÓKI J. 1994, 2006), ahol a futóhomok alatt 11770±250 BP éves korú löszréteget találtak. A késő glaciálisból ez az ismert utolsó koradat, a későbbi homokmozgásokról fosszilis talajok hiányában nincsenek radiokarbon kormeghatározásból származó adatok.

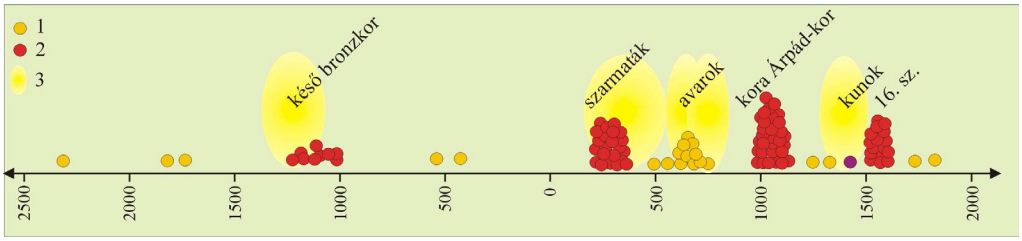
A holocén melegebb, csapadékosabb éghajlattal köszöntött be, amely kedvezett a homokfelszíneket megkötő növényzet kialakulásának (BORSY Z. et al. 1982). Újabb vizsgálatok szerint a boreális és az atlanti fázis utolsó, melegebb és szárazabb időszakaiban ismét mozgott a futóhomok (GÁBRIS GY. 2003). Az atlantikum után – a homokfelszínt védő vegetáció

megerősödésének következtében – homokmozgást már csak antropogén tevékenység indíthatott el (LÓKI J. 1994). A Duna-Tisza köze az ország egyik legszárazabb területe volt már abban az időben is, a száraz időszakokban többször megmozgathatták a munkaképes szelek a homokfelszínt, azonban ezek a mozgások a táj korábban kialakult morfológiai képét jelentősen nem változtatták meg.

Egyes 11-13. századi történeti források alapján valószínűsíthető, hogy a Kolon-tó környezetében elterülő magasabb futóhomoktérszínek határai jelentősen nem mozdultak el, valamint a területen a 19. században térképezett három kis tó is ugyanott található, mint ahol az Árpád-korban írták (GYÖRFFY GY. et al. 1994). Ezt az időszakot a korábbi formák szétdarabolódása, a szélbarázdás felszínekre jellemző formák (szélbarázda, garmada, maradékgerinc) kialakulása uralta (BORSY Z. 1977).

Hozzávetőlegesen az utolsó kétezer év kisebb homokmozgásairól, talajképződési periódusairól adatokat nyerhetünk a vizsgált területtől délre, kb. 12 km-re Bordány község határában talált szarmata telep és temető, valamint K-re 10 km-re, Balástya mellett – az M5-ös nyomvonalán – kiásott késő bronzkori és kora újkori leletek régészeti és ősföldrajzi vizsgálatából (MÓRA F. MÚZEUM 1999*)*. A legrégebbi leleteket kb. 1,5 méteres mélységből emelték ki, azaz a futóhomok akkumulációja ezt az értéket ezeken a területeken nem haladhatta meg az utolsó két évezredben.

A mintaterület ÉK-i részén, a csengelei Bogárhátnál létesített homokbánya régészeti kutatásai és lumineszcenciás kormérések alapján NYÁRI D. és kollégái (2006) azt találták, hogy a területen túllegeltetés következtében többször is mozgásba lendült a homok: Csengele területén az i.e. 1200-1500-ban a késő bronzkor elején, az i.sz. 3-4. században a szarmaták, majd a 6-8. században az avarok idején, végül a 14. században a kunok letelepedésekor (3.7 ábra). Az utóbbi 1800 évben keletkezett futóhomokos rétegsorok vastagsága méréseik szerint meghaladja a 2,5 m-t.



3.7 ábra A csengelei minták OSL kora és a területről előkerült lelőhelyek száma. 1:lelőhely; 2. településre utaló lelőhelyek; 3. homokmozgás OSL adatok alapján (NYÁRI D. et al. 2006)

3.3 Meteorológiai viszonyok

A terület évi átlagos csapadékmennyisége kevesebb, mint 550 mm. A havi adatok hosszabb száraz, csapadékmentes időszakot mutatnak a kora tavaszi időszakban és július-október hónapokban. Az év második felében a csapadékmentes periódus valószínűsége lényegesen nagyobb, mint Magyarország más tájain. A vizsgált terület kontinentális jellegű, meleg, forró nyarú klíma-térségnek tekinthető. A melegebb években az évi középhőmérséklet 11,5°C fölött van. Az evapotranspiráció értékei azt mutatják, hogy a terület jelentős vízhiánnyal küszködik. Május-augusztus hónapokban a csapadékhiány olyan nagyfokú, hogy a talajfelszín teljesen kiszárad és így a szél a homokot szabadon mozgatja, áttelepíti.

A Dorozsma–Majsai-homokhát keleti határán elhelyezkedő mintaterület szélviszonyainak vizsgálatához az 1963–1981 közötti időszakra, a hidrometeorológiai állomás műszerkertjében 2 m magasságban elhelyezett szélíró műszer által regisztrált szélsebesség és szélirány adatokat használtam fel. A széleróziós mérés időszakában – 1995–1999 közötti években – ugyancsak a műszerkertben 1,2 m magasságba, majd 1999-től közvetlenül a széleróziós parcellára, 1 m magasságba kihelyezett Thies Clima típusú szélíró műszer szolgáltatta az adatokat (3.8 ábra).

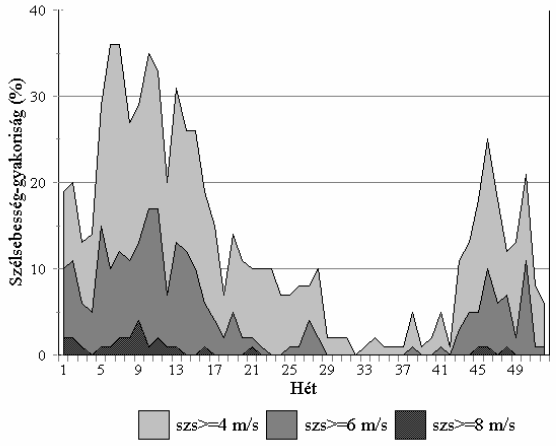
3.8 ábra A hidrometeorológiai állomás műszerkertje és a kísérleti parcellán elhelyezett Thies Clima típusú szélíró műszer

A rendelkezésre álló adatbázisok különböző típusú adatfeldolgozást tettek szükségessé az 1963-1973-ig, az 1972-1981-ig és az 1995-1999-ig terjedő időszakokra. Az első vizsgálati szakaszban a VITUKI munkatársai által összeállított, szerkesztett formában megjelentetett adatbázist használtam (KIENITZ G. 1974). Ebben a napi átlagos szélsebességeket közölték, uralkodó szélirány megjelölése nélkül. Ebből a 4 m/s-nál nagyobb napi szélsebességek havi és heti gyakoriságát számítottam és ábrázoltam (3.1 táblázat, 3.9 ábra).

A 3.1 táblázat adatsorai és a 3.9 ábra alapján a napi átlagsebességek heti és havi gyakorisági értékeire a következő megállapításokat tehetjük: legnagyobb az átlagsebesség február, március és április hónapokban, magas értéket mutatnak még a január és november-december hónapok, míg a nyárvégi és kora őszi időszakban a legkisebb az átlagos szélsebesség és legnagyobb a szélcsendes napok száma.

3.1 táblázat Az 1963 és 1973 között mért napi átlagos szélsebesség-gyakoriságok (%) havi bontásban

Szélsebesség (m/s)	jan.	feb.	már.	ápr.	máj.	jún.	júl.	aug.	szep.	okt.	nov.	dec.
0-4	81,2	67,4	66,4	72,0	86,6	90,8	93,5	98,4	98,3	96,5	79,4	83,9
4-5	9,4	20,1	17,2	16,9	9,9	8,1	5,1	1,6	1,4	2,7	14,2	9,9
5-6	5,9	8,0	9,7	8,9	2,2	0,8	1,1	0	0,3	0,5	3,1	3,5
6-7	1,3	2,7	4,3	1,1	0,5	0,3	0,3	0	0	0,3	2,2	2,4
7-8	1,9	0,6	1,6	0,8	0,8	0	0	0	0	0	0,8	0,3
8-9	0,3	0,6	0,5	0,3	0	0	0	0	0	0	0,3	0
9-10	0	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



3.9. ábra Az 1963 és 1973 között mért napi átlagos szélsebesség(szs) -gyakoriságok (%)

A hidrometeorológiai állomás adattárában föllelhető szélszalagok kiértékelésével az 1972-1981-ig terjedő időszakra az összes 5 m/s-nál erősebb széllökést és ezek irányát kaptuk meg. A széleróziós vizsgálat számára az ily módon fölépített adatbázis a legjobban használható, de 1982-től a szélíró kevésbé megbízhatóan működött, így folyamatos adatsor csak eddig állt rendelkezésünkre.

Az 1996 év március és december közötti időszakaiban a Thies Clima mechanikus szélmérő berendezéssel óránkénti átlagszélsebességet és szélirányt mértünk. Az 1.sz. mellék-

letben (M-1) negyedévenkénti bontásban ábrázoltam a 3 m/s-nál erősebb óránkénti átlagos szélsebesség értékeit, hozzárendelve a szélirányokat. A legnagyobb szélsebességeket március végén (4-6 m/s óránkénti átlag), május végén és júniusban (4-4,7 m/s), valamint november-december hónapokban (3,8-4,8 m/s) mértük. Az uralkodó szélirány ÉNY-i, jellemző még főként a tavaszi és őszi hónapokra a D-DNY-i szélirány is, a kördiagramok a 3 m/s-nál erősebb szelek irányainak gyakoriságát mutatja, valamint az irányonkénti átlagos szélsebességeket (M-2).

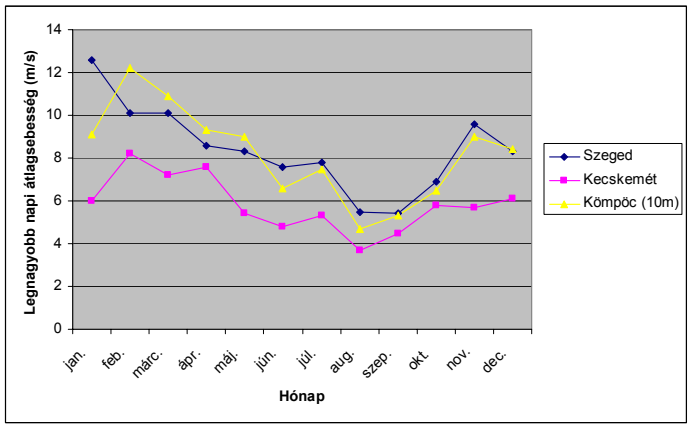
A későbbi modellvizsgálatokhoz (6. fejezet) a rendelkezésre álló legrészletesebb széllökés-adatokra volt szükség, amelyek mérésére közvetlenül a mintaterületen nem volt lehetőségünk, így TAR K. (1991) által közölt adatok alapján összehasonlítottam Szeged és Kecskemét állomások OMSZ által mért széladatait a kömpöci állomáson mért adatokkal (3.2 táblázat, 3.10 ábra). A kömpöci értékeket átszámítottam 10 m-es szélsebességmérő-magasságra a következő összefüggés alkalmazásával (MEZŐSI M. - SIMON A. 1981):

$$v_h = v_{10}\,[0{,}233 + 0{,}656\,\lg(h+4{,}75)]$$

ahol v_h a h, v_{10} pedig a 10 m magasan mért szélsebesség.

3.2. táblázat Legnagyobb napi átlagsebesség (m/s)

	jan.	feb.	márc.	ápr.	máj.	jún.	júl.	aug.	szep.	okt.	nov.	dec.
Szeged	12,6	10,1	10,1	8,6	8,3	7,6	7,8	5,5	5,4	6,9	9,6	8,3
Kecskemét	6	8,2	7,2	7,6	5,4	4,8	5,3	3,7	4,5	5,8	5,7	6,1
Kömpöc (10m)	9,1	12,2	10,9	9,3	9	6,6	7,5	4,7	5,3	6,5	9	8,4



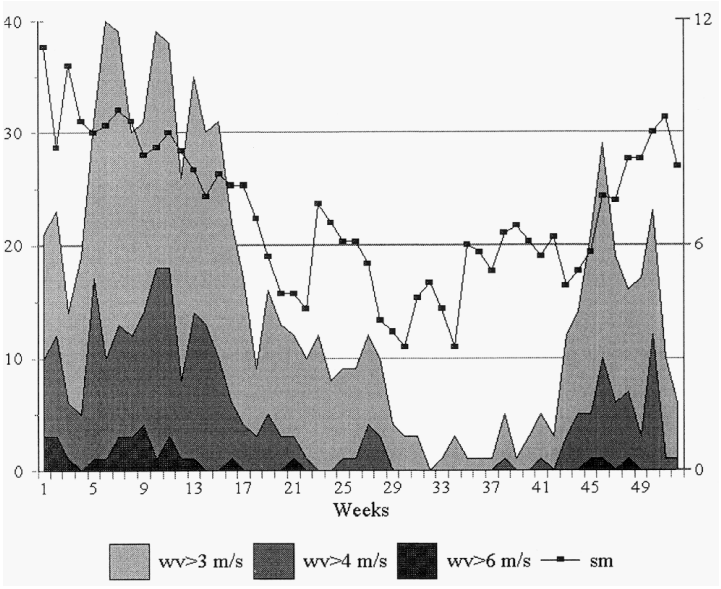
3.10 ábra Legnagyobb napi átlagsebesség (m/s)

Az előző adatok is mutatják, hogy a szélsebesség átlagok és napi maximumok tekintetében is a 31 km-re lévő szegedi állomás (Kecskemét: 47 km) adataihoz jobban közelítő értékeket kaptunk, így ennek az állomásnak az adatait szereztük be a későbbi számításokhoz.

3.4 Talaj

A terület talaját túlnyomórészt finomszemcsés homok alkotja, amelyet foltokban vályog szakít meg. A mélyedések fenekét szikes meszesszódás talajok borítják, amelyek karbonáttartalma esetenként a 80 %-ot is eléri. A felszínen található vályogos, illetve szikes talajrétegek vastagsága általában nem haladja meg a 0,5-1,0 m-t.

Az 1963 és 1973 között mért adatsorok alapján összehasonlítottam a 3 m/s-nál nagyobb szélsebességek heti gyakorisági értékeit az ugyanerre az időszakra vonatkozó talajnedvességi átlagértékekkel (3.11 ábra). A szélerózió szempontjából leginkább kritikusak a március, április, október és november hónapok. Korreláció-számítást végezve a legerősebb kapcsolatot a 3-4 m/s-os szelek gyakorisági értékei a homokos-vályogra jellemző hervadáspont nedvességtartalom (3,1-6,2 %) körüli talajnedvességi értékekkel mutatták (r=0,6-0,7). Gyengébb összefüggés adódott a 6 m/s-nál erősebb szelek gyakorisága és a homok hervadáspontjához tartozó nedvességtartalom (3,1 %) között, ami nem meglepő, ha figyelembe vesszük, hogy a legerősebb szelek a térségben február-április és november hónapokban fújnak, míg a talaj júliusban és augusztusban a legszárazabb.



3.11 ábra Az 1963 és 1973 között mért 3, 4 és 6 m/s-nál nagyobb óránkénti szél átlagsebességek (wv) heti gyakorisági értékei (1. y tengely; %) és a talajnedvesség (sm) átlagértékei (2. y tengely; %)

3.5 A szélerózió dinamikája és a földhasználat összefüggései

A szél pusztító munkáját gátló vagy éppenséggel elősegítő területhasználat-változásokat a 18. század végétől a 20. század közepéig topográfiai térképi információkra

hagyatkozva követjük nyomon, míg az utóbbi 35 évre vonatkozóan a kísérleti telepen mért adatsorok és különböző időpontokban készült légifelvételek, valamint műholdképek teszik lehetővé a részletesebb vizsgálatot.

A topográfiai- és különböző tematikus térképek (talaj, erdészeti, vegetáció, területhasználati, stb.) a digitalizálásnál egyszerűbb és gyorsabb raszteres térinformatikai feldolgozása több olyan előnnyel jár, amely lehetővé teszi a térképi információk kvantitatív feldolgozását. Ezek az előnyök: térképlapok tetszés szerinti pontosságú illesztése, egységes térképi rendszerbe való konvertálás lehetősége, légifényképekkel és műholdképekkel való összevetés. A 3.13 ábrán az első katonai felmérés lapjairól nyert információk megbízhatósága nem teljes, hiszen illesztőpontként csak a kiskunmajsai templomot használhattuk fel, azonban a térkép északi tájolása és ismert 1:28800-as méretaránya segítségével – becslésünk szerint néhány százméteres pontossággal – sikerült megadnunk a mintaterület helyét.

3.5.1 Az első és a harmadik katonai felmérés időszaka

A középkor erdőirtásai még számottevően nem hatottak a felszínre, viszont a 16. századtól kezdve az intenzív fakitermelés hatására az erdők szinte teljesen eltűntek a területről és a szabadon mozgó homok 20-300 cm vastagságban fedte be a talajfelszínt. 1756-58-ban hatalmas homokvihar pusztított a Duna-Tisza közén, melyet a kíméletlen legeltetéssel letiport és felszaggatott gyeptakaró elpusztulása okozott (BODOLAY I. 1966).

A 18. század utolsó harmadában – az első katonai felmérés alapján – készült térképlapokon, a terepi helyszínrajzon kívül, a gazdasági művelési ágakat is feltüntették, amelyek segítségével a homokmozgást befolyásoló tényezőket értékelhetjük. Az alföldi területeken gondosan ábrázolták a mocsarakat, szikes helyeket, a víz alatt álló és száraz legelőket, a mélyebben és magasabban fekvő apró halmokat, homokbuckákat, képet kaphatunk a futóhomok területek és az erdők egykori kiterjedéséről (EPERJESY, K. 1928).

A vizsgált terület szinte teljes egészében lakatlan puszta volt *(Puszta Kömpöcz, Puszta Csengelye*), csak az ÉNY-i részen találunk kisebb házcsoportot (*Majsa Szallasen*). Két nagyobb homokbuckás felszín tagolta a tájat (*Istrása Halom* és általában *Sand-Hübln.* megjelöléssel), amelyeken ritkás pontozással kisebb erdőfoltokat jelölt meg a felvételező (3.12 ábra). A deflációs mélyedések vízjárta lapos területeinek, a semlyékeknek kiterjedése lényegesen kisebb a mai állapothoz képest, amiből arra következtethetünk, hogy az 1782-85 közötti évek tavaszai és nyarai (az Alföld fölmérésének időszaka) a mostaninál szárazabbak, melegebbek voltak. Megjelölt a térképész három, a terület határára eső mélyedést is, a következő meg-

jegyzéssel: "*Diese Tiefen sind ausser sehr nasser Witterung troken*", valószínűleg ezek szikesek lehettek.

RÉTHLY A. (1970) által összegyűjtött – az Alföldre vonatkozó – időjárási feljegyzések szerint igen szélsőséges időjárású évek követték egymást az 1780-as évek elején. Az 1782-es év tavaszának végéről és nyaráról, mint "felette meleg és száraz" időszakról szól a forrás, a hőmérséklet Békésben meghaladta a 38,8°C-ot, valamint "ottan-ottan igen háborús szelek fútanak", amely a fákat tövestől kiszaggatta, a szénakazlakat, búza kereszteket messzire széthányta. A *Magyar Hírmondó* 1782. szeptember 18-án a Nagy-Alföldről írja: "Az augusztusi szárazság még szeptemberben is tart. Minden kiszáradt. ... Ennek csak egy előnye volt, hogy a sáskák, miután nem volt mit enniök, erdősebb helyekre vonultak".

3.12 ábra A mintaterület és környezete az I. katonai felmérés térképlapján

A következő években Csanád megyéből továbbra is nagy szárazságról, aszályról tudósítanak a korabeli források, míg Debrecen környékén többször említenek csapadékos, hűvös nyári időjárást. Kiskunhalas és Szeged nevét a híradásokban 1783-85-ben főként a sáskajárással kapcsolatban találjuk: "...eme' városnak tér határait egynehány mért földnyire meg szállották fellegesen a' sáskák, ott hagyván tenger tojományokat", azaz feltételezhetően kevésbé száraz és terméketlen évek köszöntöttek eleinkre. RÁCZ L. (1989) történeti ökológiai munkájában az 1780-as évek klímaromlását mutató adatokat találhatunk.

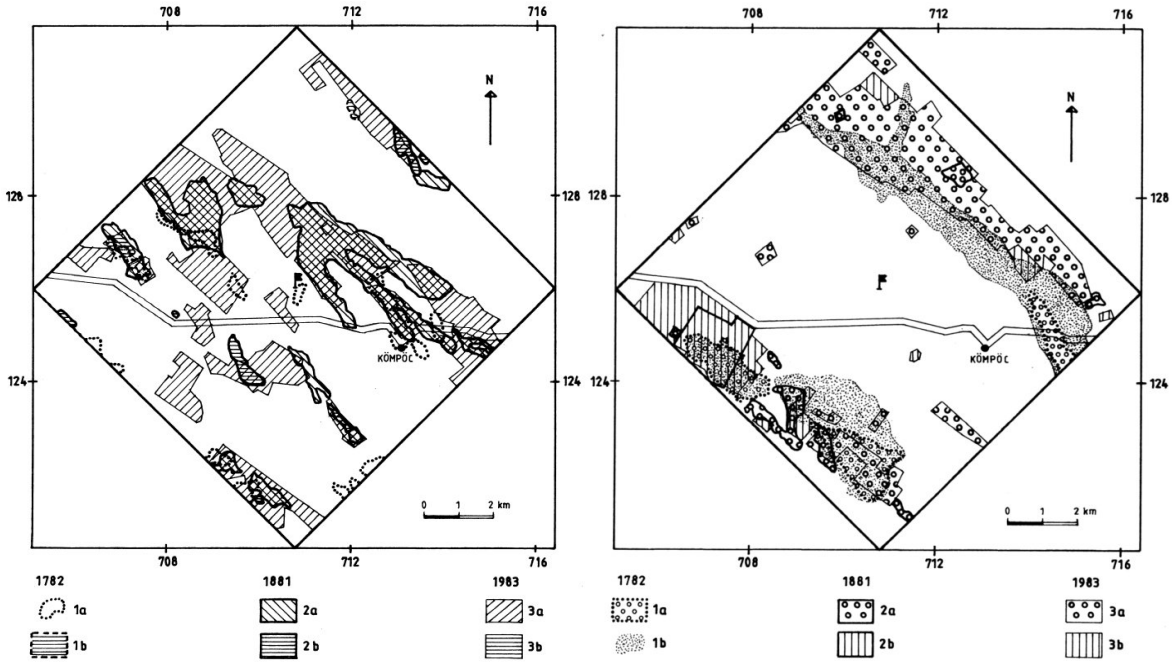
Az 1800-as évek elejének erdősítései a nagyobb pusztításoktól megvédték a felszínt, de a mezőgazdasági művelés alatt álló magasabb, buckás felszínek talajai fokozottan veszélyeztetettek voltak. A 19. század második felétől a mezőgazdasági termelés növekvő földterü-

let igénye miatt a futóhomokos felszínek jelentős része is művelés alá került. Sikeresen próbálkoztak a homoktalajok megkötésével (akácos és nyáras erdők, gyümölcsösök és szőlők telepítésével) és termőképességük fokozásával (trágyázás, vetésforgó, öntözés), valamint mezővédő erdősávok ültetésével.

Ezen törekvések eredményét tanulmányozhatjuk a harmadik katonai felmérésről levezetett 1:75000-es méretarányú térképlapokon is (3.13 ábra), amelyekről leolvasható, hogy a mintaterület DNY-i részére eső futóhomokos, buckás felszínt már részben szőlővel és gyümölcsfákkal megkötötték, valamint a legmagasabban fekvő ÉK-i buckákon is (ahol ma a Kömpöci-erdő terül el) erdőfoltok találhatók.

A mai állapothoz képest feltűnően sok kisebb-nagyobb vízfelület és vízjárta mocsaras felszín jelzi az évszázad első felének csapadékosabb időjárását (MEZŐSI G. et al. 1996) és lényegesen magasabb talajvízszintjét. A 3.3 táblázatban a szélerózió által kevésbé, vagy egyáltalán nem veszélyeztetett felszínek területi kiterjedésének változását követhetjük nyomon.

Az adatokból nyilvánvalóan csak az a következtetés vonható le, hogy az erdők és a szőlő-gyümölcsös területek nagysága növekedett egyértelműen, tehát a szélerózió által potenciálisan veszélyeztetett összterületet csökkent. Az időszakos és az állandó vízborítás területi és időbeli változékonyságát a három vizsgált időpontból kiragadott érték nem érzékelteti.



3.13 ábra A széleróziós mintaterület felszínborításának változása az I. és III. katonai felmérés, valamint 1983-as topográfiai térképi adatok alapján. *Bal oldali ábrán:* 1a-2a semlyék; 3a füves, mocsaras terület; 1b-2b-3b állandó vízborítás. *Jobb oldali ábrán*: 1a-2a-3a erdő; 1b homokbucka; 2b-3b szőlő, gyümölcsös

3.3 táblázat Az egyes felszínek kiterjedése az I., a III. katonai felmérés és topográfiai térképi adatok alapján (*füves-mocsaras terület összesen)

Felszín típusa (km^2)	A felvételezés éve		
	1782	1881	1983
erdő	3.30	1.30	9.67
szőlő, gyümölcsös	0.00	1.70	4.76
semlyék	1.52	7.25	17.04*
állandó vízborítás	0.04	0.75	0.19

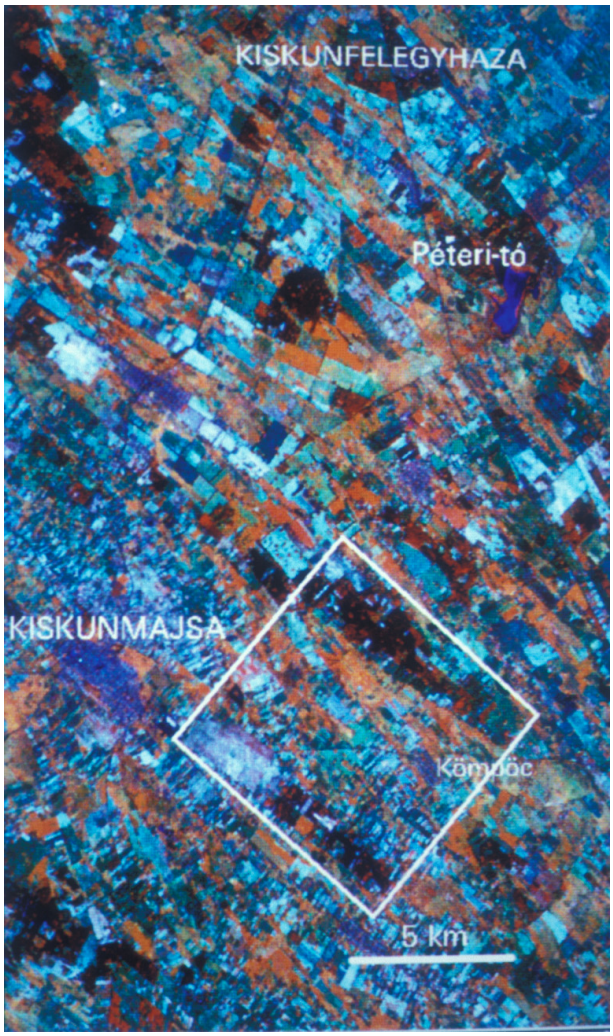
3.5.2 A kollektív gazdálkodás évtizedei

A Fehértó-Majsai-főcsatorna vízgyűjtőjén elhelyezkedő mintaterület területhasznosítását két időszakra vonatkozóan a 3.4 táblázat tartalmazza. Feltűnő az erdő arányának jelentős növekedése. Az 1965-ös adatok topográfiai térképekről és légifényképekről származnak, míg az 1992-es adatokat a parcellát magában foglaló 8x8 km-es területről készült műholdkép interpretálásával nyertük (3.14 ábra). A szántók, a gyümölcsösök és a szőlők (vizuálisan is jól azonosítható világos folt a műholdképen a mintaterület nyugati sarkában) a homokhátakra települtek, a mélyedések általában kaszálók vagy legelők (a szélbarázdák semlyékeinek ÉNY-DK-i iránya ugyancsak jól követhető a felvételen). A legjobban kiemelkedő homokhátakat erdősítették, amelyek a felvételen a mintaterület É-i és D-i részén sötét, ugyancsak ÉNY-DK-i lefutású foltokként azonosíthatók.

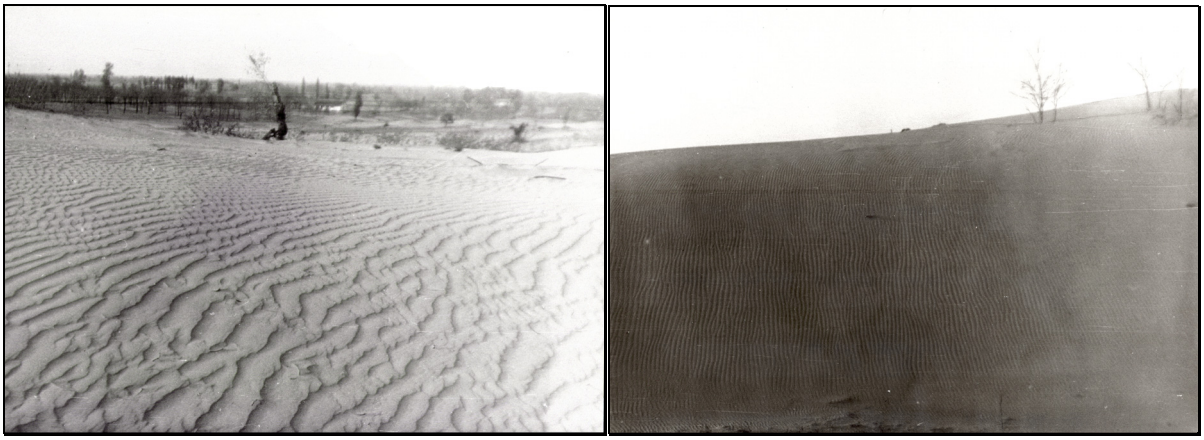
3.4 táblázat A mintaterület területhasznosítása

Év	Területhasznosítás (%)						
	szántó	kert	belterület	szőlő	gyümölcsös	rét, legelő	erdő
1965	64		1	8		24	3
1992	33		14	5	7	24	17

Talajvédelmi szempontból a legideálisabb állapotnak az 1950-es évek derekára kialakult térszerkezetet és földhasználatot tekinthetjük, hiszen ekkorra a homokbuckás felszíneket már teljes egészében megkötötték erdőkkel, szőlővel, gyümölcsösökkel, valamint kisparcellás gazdálkodás folyt a területen. Az eróziónak kitett, vegetáció nélküli felszín (3.15 ábra) kialakulását viszont elősegítette ezen időszak ridegen tartott és legeltetett állatállományának nagy száma (BÍRÓ M. – MOLNÁR ZS. 1998).



3.14 ábra A mintaterület elhelyezkedése 1992-es Landsat4 TM (RGB 453) műholdfelvételen



3.15 ábra Az intenzív legeltetés következtében kialakult csupasz homokfelszínek a Kiskunságban, 1950-es évek (Forrás: a SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék képarchívuma)

A mezőgazdasági termelés erőszakos kollektivizálásának idején – 1958 és 1962 között – több hibás, ésszerűtlen beavatkozás történt, amely a mezőgazdasági térszerkezetet oly módon változtatta meg, hogy hátrányos következményként – többek között – a szélerózió pusztítása is növekedett. BAUKÓ T. – BEREGSZÁSZI P. (1990, 1995) tanulmányaikban adatokkal támasztják alá az agrár-térszerkezet változásának és a szélkárosodás fokozódásának szoros kapcsolatát, valamint cseh szerzők is foglalkoznak a szocialista agrárpolitika elhibázott döntéseinek a szélerózióra gyakorolt hatásával (HRÁDEK, M. et al. 1995).

Az ebben az időben ideálisnak gondolt nagyüzemi földhasználat bevezetésének számos negatív következménye volt:

- összefüggő nagy táblák kialakítása, amely megnövelte a szélutat, ahol a viharos szél károkozó tevékenységét végzi;
- a táblák közötti utak beszántásával egyidejűleg fasorok, facsoportok kivágása;
- tanyák, gazdasági épületek lerombolása és a hozzájuk tartozó bokrok, fásítások megszűntetése, amelyek mind-mind széltörő akadályként funkcionáltak;
- mezővédő erdősávok telepítésének elmaradása.

3.5.3 Az elmúlt 15 év tapasztalatai

A 1990-es évek elején a földterületek túlnyomórészt magánkézbe kerültek. A nagyüzemi táblákat feldarabolták, kisebb parcellákon változatosabbá vált a földhasználat és így általában csökkent a deflációs területek hossza. A szélerózió kártételei azonban csak abban az esetben csökkenhetnének látványosan, ha a parcellák közötti – széltörő funkcióval rendelkező – fasorokat, bokrokat is újratelepítenék. Ennek a hosszabb távú gondolkodást és nem kevés pénzt igénylő munkának azonban csak nagyon minimális jeleit észlelhetjük a vizsgált területen, gyakrabban tapasztaljuk pontosan az ellenkezőjét, mint azt a 3.16 ábra is bizonyítja.

További kedvezőtlen tényezőként kell értékelni a talajvédelmi hálózat erőteljes leépítését (STEFANOVITS P. 1996). A homoktalajokon fellépő szélerózió elleni védekezés számos módját dolgozták ki és tesztelték kísérleti parcellákon (BODOLAY I. 1966a; KIRÁLY M. 1970; HARMATI I. 1989; LÓKI J. 1994, 2003), de a gyakorlatban a szükségszerű öntözésen kívül – amely éppen nem a legkritikusabb, a vegetációs periódus előtti és utáni, kora tavaszi és őszi hónapokban védi a felszínt – egyik módszert sem alkalmazzák. Általában az is igaz, hogy az eróziót gátló import eljárások és anyagok (felszíni kéregképző adalékok, hálók) a magyar magángazdálkodók számára megfizethetetlenek (kb. 1-3 Euro/m^2, EROSION CONTROL 1998). A talajvédelmi szolgálat további ellehetetlenülésével még az elméleti esélye is megszűnik a

szélerózió elleni védekezésnek, valamint terepi mérési adatok hiányában közelítőleg sem lehet majd megbecsülni a szélkár nagyságát.

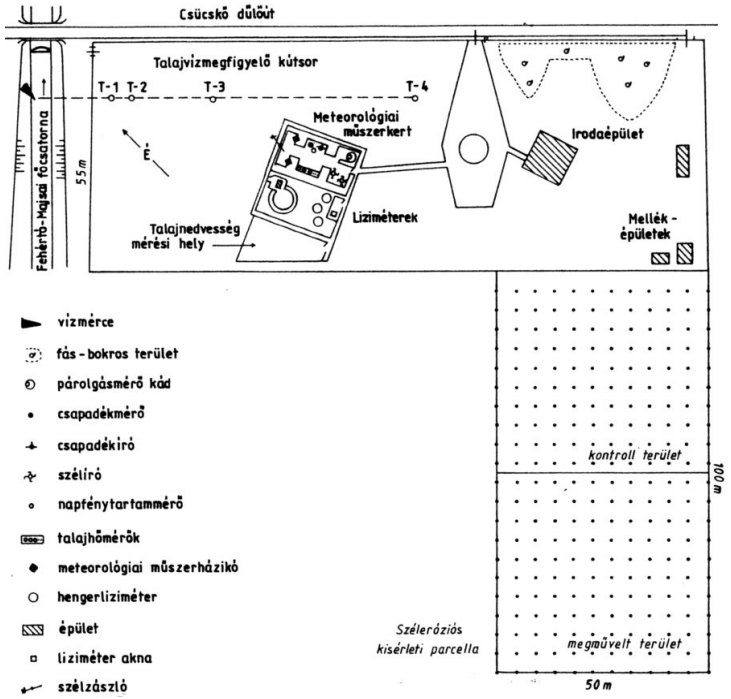
3.16 ábra Egykor szélvédő funkcióval telepített fasor maradványa Zsombó külterületén egy többhektáros mezőgazdasági parcella nyugati szélén

Tovább súlyosbíthatja a helyzetet az a tény, hogy a hosszabb távú klimatológiai előrejelzések (MIKA J. et al. 1995; BARTHOLY, J. et al. 1998; WEIDINGER T. et al. 2000; BARTHOLY J. - MIKA J. 2005; BARTHOLY J. et al. 2006) az elkövetkező évtizedekre a nyári félévek hőmérsékletének emelkedését, illetve csapadékának csökkenését prognosztizálják. Az adatok jelzik, hogy a Duna-Tisza közén további, fokozatosan gyorsuló szárazodási folyamat játszódhat le (KERTÉSZ Á. et al. 2001; KOVÁCS F. 2006), így a változó klimatikus feltételek 30-50 %-os növekedést eredményezhetnek a szélerózió dinamikájában (MEZŐSI G. 1996).

4. Mérőcölöpös terepi mérés a kísérleti parcellán

4.1 A kísérleti parcella kialakítása

A kömpöci hidrometeorológiai állomás közvetlen szomszédságában egy 100x50 m-es parcellát alakítottunk ki, amelyet két egyenlő részre osztottunk (4.1 ábra). A parcellán 5x5 m-es hálóban 1 m hosszú mérőrudakat helyeztünk el oly módon, hogy a felszín fölötti részt 40 cm-re hagytuk, a későbbiekben pedig a mérések tavaszi és őszi indításakor az első leolvasás alkalmával mért értékeket vettük kiindulási alapnak. A cövekeknél 1995-96-ban heti-kétheti rendszerességgel mértük a homokmozgást, mm-es leolvasási pontossággal (a mérési pontosság nyilvánvalóan ennél kisebb – 2-3 mm – volt), míg 1997-2000-ben inkább a szelesebb periódusokban ennél sűrűbben, a szélcsendes hetekben, hónapokban pedig egyáltalán nem történt leolvasás.



4.1 ábra A széleróziós kísérleti parcella és hidrometeorológiai állomás Kömpöc külterületén

A parcella egyik fele mezőgazdaságilag művelt terület, ahová az első évben búzát, a második és harmadik évben herét vetettek. 1998-ban az őszi munkák során kiszántattuk a herét és igyekeztünk a parcella másik részéhez hasonlóan kezelni ezt a területet. Ezt a célt nem sikerült teljesen megvalósítani, mert a gyomok kiirtása hosszabb időt és rengeteg munkát igényel.

A parcella másik részét, amelyet kontroll területnek neveztünk el, rendszeresen szántattuk és gyomirtóztuk, kialakítva ezzel azt a fedetlen, illetve növényzettel gyéren borított talajfelszínt, amely a vegetációs időszak előtti tavaszi, és az őszi időszakban, a talajelőkészítési munkák után, a homokhát mezőgazdaságilag művelt felszíneire jellemző (4.2 ábra).

4.2 ábra A széleróziós parcella kontroll területe tavasszal, kisebb széleróziós homokmozgás után, amelynek nyomai a dűlőút mellett egyértelműen felismerhetők. Háttérben az egykori VITUKI hidrometeorológiai állomás, ma CSEMETE erdei iskola látható

4.2 A műszerkert

A meteorológiai és a talajtani adatok mérése az állomás műszerkertjében elhelyezett műszerekkel történt, amelyek az alábbiak: csapadékmérő, csapadékíró, maximum-minimum hőmérők, talajhőmérő-sorozat, univerzális szélíró (1,2 m magasságban elhelyezve). A talajvíz szintjének változását a telep kertjében álló 4 talajvízkútban lehetett figyelemmel kísérni (UBELL K. et al. 1965).

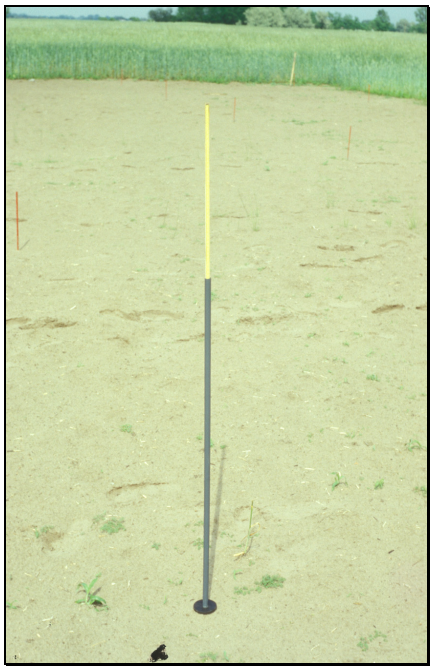
A talajszemcsék indítását és mozgását közvetlenül a megfelelő erősségű szél váltja ki, így a meteorológiai paraméterek közül a szélsebesség és szélirány mérése elsődleges és alapvető fontosságú. A vizsgálat kezdetén egy Thies Clima típusú mechanikus szélíró műszert (3.8 ábra) helyeztünk el a parcellával szomszédos műszerkertben, amely kisebb megszakításokkal folyamatosan regisztrálta a következő széladatokat: szélút km-ben és szélirány 0-360° között.

A műszerhez mellékelt leolvasó eszköz segítségével a szélútból meghatározható az óránkénti átlagos szélsebesség m/s-ban. A szélíró által szolgáltatott adatok a megfigyelések

szempontjából csak tájékoztató jellegűek, hiszen valójában olyan műszerre lett volna szükség már a kezdetektől, amely képes a pillanatnyi szélsebességet, azaz a homokszemcsék megindulásának pillanatában a széllökés sebességét, regisztrálni.

4.3 A méréssorozatok

A kísérleti parcellán a mérések 1995. május végén kezdődtek, az észlelések időpontjait az M-3 táblázat tartalmazza. A mérés technikája rendkívül egyszerű: a mérőrudak felszín feletti részét egy műanyag csőben – amelynek talpára egy gumikorongot ragasztottunk, hogy a cső ne süllyedjen bele a homokba – elhelyezett mérőrúd segítségével mérjük és az értéket az adatlapon rögzítjük (4.3 ábra). A leolvasások túlnyomórészt a kontroll-területen történtek, amelynek okáról az értékelésnél részletesen szólok.



4.3 ábra A mérés technikája: mérőcölöpre helyezett mérőrúd

4.4 Az adatok feldolgozása

A mérőrudakon mért értékeket Surfer felületmodellező programmal dolgoztuk fel. A bemenő adatok a program számára egyszerűen kezelhető reguláris mátrix formátumúak voltak: az 50x50 m-es kontrollterületen elhelyezett 11x11 mérőrúd mellett mért értékekből származtak. Néhány esetben dolgoztuk csak föl az egész 50x100 m-es parcella 11x21-es teljes adatmátrixának értékeit. A Surfer adattáblázat X és Y értékei a rudak rácskoordinátáit adják meg méterben, míg a Z érték a rúd felszín feletti magasságát a mérés pillanatában, ugyancsak

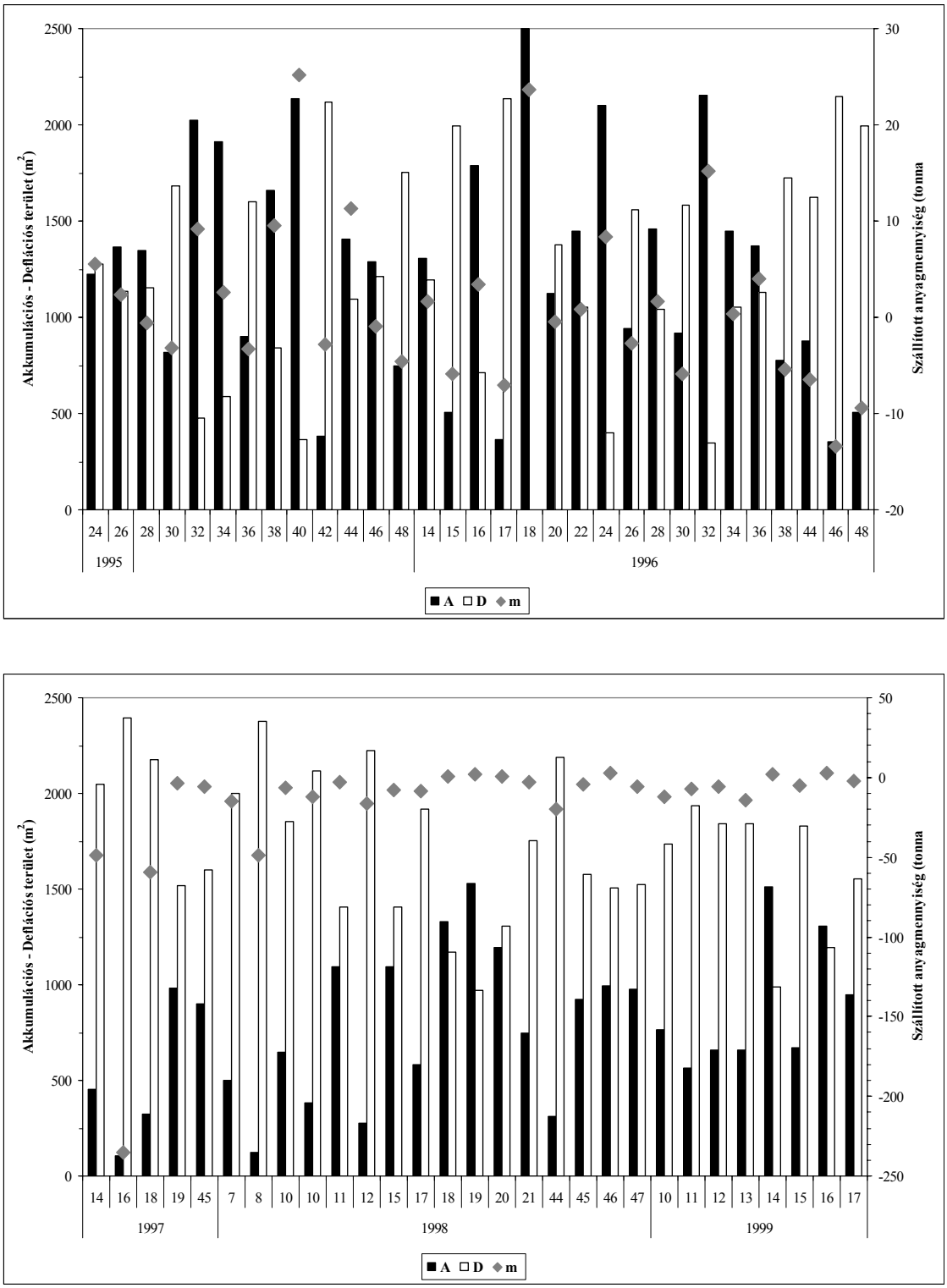
méterben. A file-ok *.dat formátumúak (M-4 táblázat). A következő lépés *.grd (grid) file létrehozása, amely a parcella szintvonalas rajzához és a felszínét perspektívikusan ábrázoló *.srf file előállításához szükséges. A program a grid file generálásához számos eltérő módszert és beállítást kínál. Ezek közül az alapbeállítás a krigelés módszere, lineáris variogrammal. Az adatfeldolgozás során ezt a metódust használtam szinte minden esetben.

Előnye, hogy az ún. "Nugget Effect" ablakban az "Error variance" (hibaváltozó) 0-tól különböző értéknek választásával az esetleges durva mérési vagy adatbeviteli hibák is figyelembe vehetők. Az egymás utáni mérési időpontokra generált felületek különbségképzésével ezután előállítottam az “akkumulációs” (*A*), a “deflációs” (*D*) területeket, valamint Simpson-féle térfogati integrálformula (SURFER, 1996) alkalmazásával az elhordott (-*m*), vagy akkumulálódott (+*m*) homokmennyiség számításához a közelítő térfogatokat.

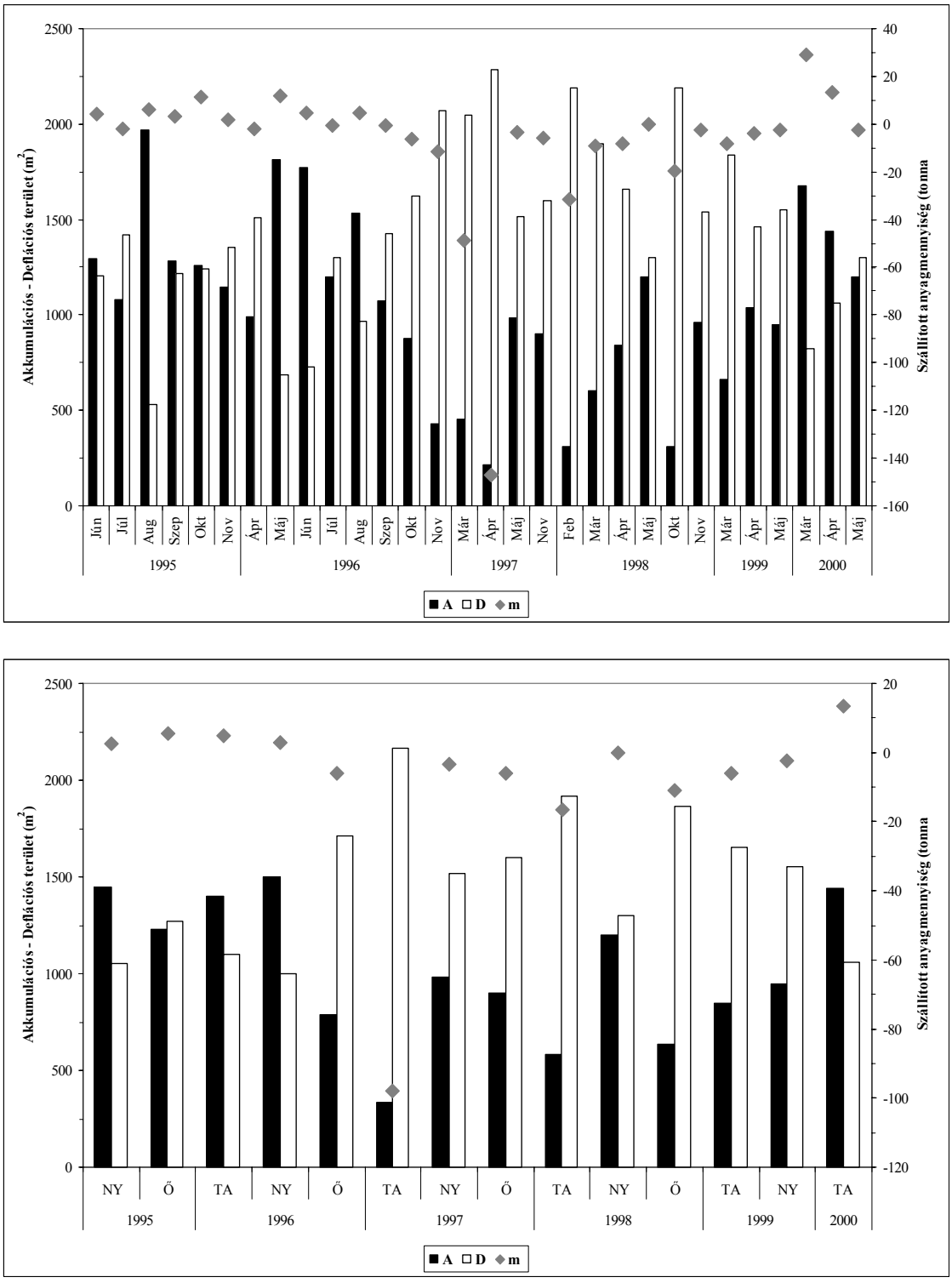
A továbbiakban kitérek arra, hogy miképpen befolyásolhatja a mérőrudak magasságának leolvasásakor elkerülhetetlenül bekövetkező 2-3 milliméteres pontatlanság az elhordott, illetve fölhalmozott anyagtérfogat és –mennyiség (tömeg) értékét. A kísérleti (fél)parcella területe 2500 m^2, amelyről 5 m-es rácshálóban vettük föl az adatokat és a mérőcölöpöknél mért értékeket interpoláltam a teljes területre a feldolgozó program segítségével. Ha feltételezzük egy 1 mm-es homoklepel elhordódását a teljes parcelláról, akkor 2,5 m^3 homoktérfogat hiányával kell számolnunk, amely tömegre 1,7-1,8 t/m^3-es térfogatsűrűséggel átszámítva több, mint 4,5 tonna anyagot jelent. Ez azt jelenti, hogy a számításoknál – 2-3 mm-es leolvasási pontatlanságnál – valójában a leolvasási periódusonként számított 9-13 tonna anyagszállításnál kisebb értékeket nem vehetjük szignifikánsnak.

4.5 Az eredmények értékelése

A Melléklet M-5 adattáblázatait és a heti (4.4 ábra), valamint a havi és évszakos (4.5 ábra) összesítéseket megvizsgálva a teljes mérési időszakra megállapíthatjuk, hogy intenzívebb eróziós periódusok – az erősebb tavaszi és őszi szelekkel összhangban – február-március-április és október-november hónapokban figyelhetők meg. Májustól szeptemberig a parcella akkumulációs területe (fekete oszlopok az ábrán) általában közelítőleg megegyező méretű, vagy nagyobb a deflációs területnél (fehér oszlopok).



4.4 ábra Parcellás mérés eredményei (1995-1999), heti összesítés. Jelm.: A: akkumuláció (m^2);D: defláció (m^2); m: szállított anyagmennyiség (tonna)



4.5 ábra Parcellás mérés eredményei, havi összesítés (felül), évszakos összesítés (alul). Jelm.: A: akkumuláció (m^2); D: defláció (m^2); m: szállított anyagmennyiség (tonna)

A szállított anyagmennyiségeket vizsgálva (szürke négyszögek az ábrákon) leszögezhetjük, hogy szignifikáns deflációs elhordási periódusok csak 1997 tavaszán, 1998 tavaszán és őszén figyelhetők meg. Ezekben az időszakokban, a részletes heti adatokat vizsgálva elmond-

hatjuk, hogy a területről elhordott homokmennyiség meghaladta a 25 tonna/ 2500 m^2 értéket, amelyet már a mérési bizonytalanságot is figyelembe véve jelentékeny és biztosan bekövetkezett széleróziós eseménynek nevezhetünk.

1996 őszén és 1999 tavaszán további, kisebb eróziós események említhetők az adatok vizsgálata alapján, de ezek bizonytalansága már lényegesen nagyobb.

4.5.1 Az 1997 évi homokviharok vizsgálata

Az 1997 év áprilisában, az országon végigvonuló orkánerejű szél és homokvihar rendkívül nagy károkat okozott a szántóföldi növénykultúrákban és a kiskertekben. A károkozás mértékéről csak a helyi újságokból (4.6 ábra) és a gazdajegyzőktől tájékozódhattunk. Rendszeres és szervezett kárfölmérés nem történt, hiszen szélkárra gyakorlatilag nem köthető biztosítás, amelynek segítségével a szélerózió tér- és időbeli intenzitásának mértékére indirekt módon következtethetnénk.

A széleróziós kísérleti parcellán 1997. tavaszán is folyamatosan méréseket végeztünk, valamint a deflációs és akkumulációs folyamatoknak kitett területekről talajmintákat gyűjtöttünk (4.7 ábra). Ezáltal az elhordott talaj mennyiségéről és minőségi változásairól is kvantitatív információkat nyertünk.

4.6 ábra Az 1997 tavaszi szél- és homokvihar nyomai és következményei a széleróziós parcellán és a tudósítások a károkról a helyi és országos napilapokban

4.5.1.1 Az áthalmozott homokmennyiség mérése a kísérleti parcellán

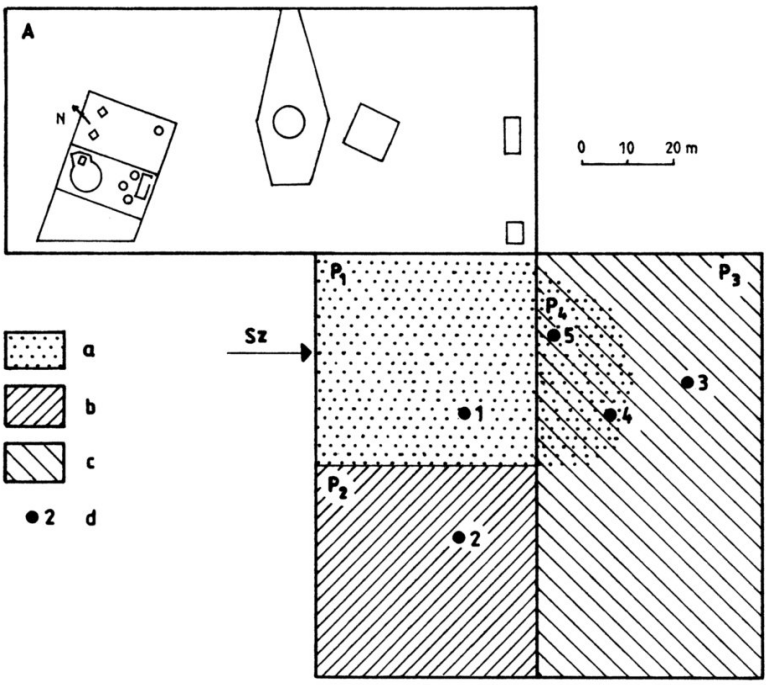
A hidrometeorológiai állomás mellett kiépített kísérleti parcellán mérőcölöpök segítségével kísértük figyelemmel ebben az időszakban is a homokmozgást. A meteorológiai adatokat (óránkénti átlagos szélsebesség és szélirány, hőmérséklet, csapadék) az állomás műszerei szolgáltatták, míg a maximális széllökések értékeinél a szegedi adatokat, az OMSZ napi jelentéseit felhasználva, vettük figyelembe. Az 1997. évi széladatok az elmúlt években is tapasztalt megfigyeléseket támasztották alá, vagyis a munkaképes szelek, amelyek képesek megmozgatni a száraz talajfelszínt, március és április hónapban jelentkeztek, irányuk uralkodóan ÉNY-i. Erősségét és irányát tekintve is a második jellemző szélirány a DNY-i.

4.5.1.2 A talajminták vizsgálati módszerei

Közvetlenül a meteorológiai állomás (4.7 ábra) mellett terül el az 50x50 m-es csupasz homokfelszín (P_1), mellette a herével bevetett ugyancsak 50x50 m-es (P_2) parcella, DK-i irányban helyezkedik el egy őszi vetésű gabonaföld (P_3). A kísérleti parcelláról és a szomszédos szántóföldről, valamint a kettő között karakteresen kirajzolódó "átszállítási" zóna (P_4) felszínéről talajmintákat vettünk. Az 6. és 7. sz. mintákat 1997 év őszén egy néhány nappal azelőtt felszántott területről, valamint a mellette húzódó műútra - a november eleji erős szelek által - kihordott homoklepelből vettük. A talajmintáknak a széleróziós folyamatok szempontjából legfontosabb tulajdonságait, így a karbonát és szervesanyag tartalmát, valamint a szemcseösszetételét határoztuk meg laboratóriumi módszerekkel, analitikai pontossággal (4.1 táblázat).

A vizsgált talajminták (1-7. sz.) alacsony karbonáttartalmú (0,5-2,0 %), nagyon gyenge vízháztartású futóhomok minták, uralkodóan apró- és középszemű szemcsefrakciókkal. A szervesanyag-tartalomból számított humusztartalomra 1% (6. sz.) és 2,8 % (2. sz.) közötti érték adódott.

A 4.4 ábra és M-5 táblázat alapján megfigyelhető, hogy márciusban (12. hét) és az áprilisi mérési időszakokban (14., 16. hét) jelentős eróziós tevékenység mutatkozott. Az elhordott homokmennyiség mindhárom periódusban meghaladta az 50 tonnát. Kiemelkedő jelentősége van a középső periódusnak, az április eleji időszak homokviharainak, amelyeket a következőkben részletesebben is elemzünk.



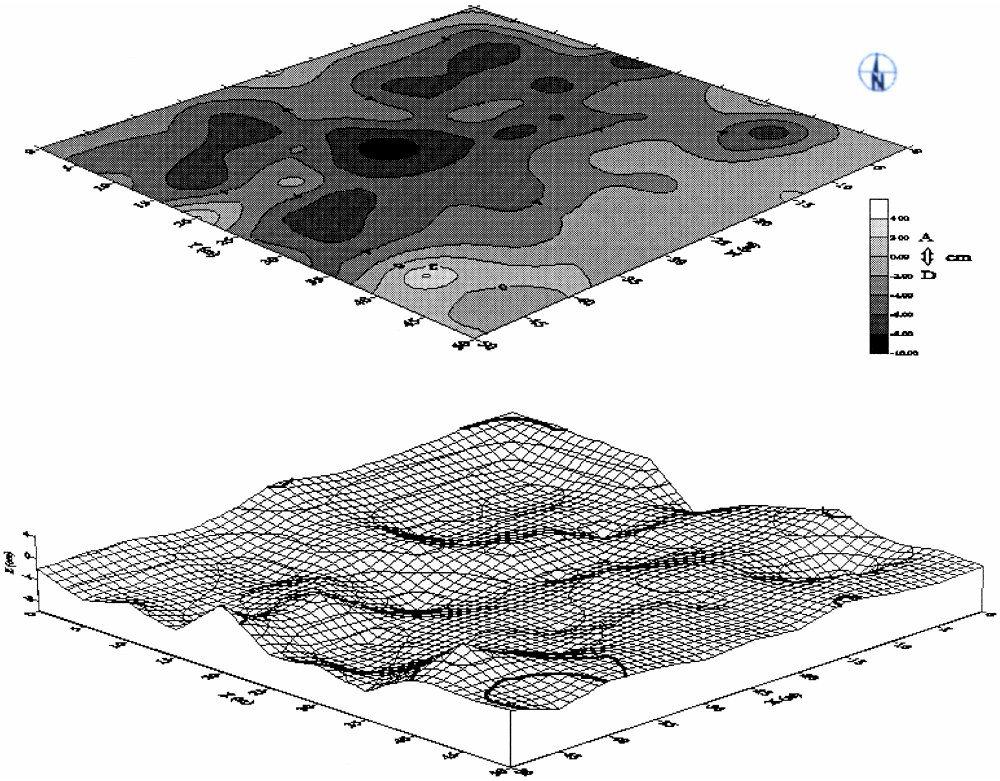
4.7 ábra A vizsgált parcellák elhelyezkedése a talajmintavételi helyekkel
a = kontroll terület; b = here; c = gabona; d = mintavételi helyek; Sz = szélirány;
A = hidrometeorológiai állomás

4.1 táblázat A talajminták szervesanyag- és karbonáttartalma, mechanikai összetétele

Mintavétel helye	Szerves anyag %	$CaCO_3$ %	Mechanikai frakció mm %-ban							
			>0.63	0.63-0.32	0.32-0.2	0.2-0.1	0.1-0.05	0.05-0.035	0.035-0.002	<0.002
1. sz.	1.37	0.46	0.27	3.18	40.55	42.73	11.36	0.23	0.18	1.51
2. sz.	1.64	0.70	0.36	4.18	36.91	46.36	8.46	0.01	0.32	3.42
3. sz.	1.51	0.53	0.01	1.55	33.73	48.73	11.99	0.23	0.23	3.55
4. sz.	0.91	0.77	0.27	2.82	36.18	48.09	9.27	0.10	0.38	2.95
5. sz.	0.84	1.02	0.09	1.73	44.45	41.45	9.15	0.23	0.28	2.64
6. sz.	0.67	1.30	0.09	3.09	30.18	54.36	9.83	0.23	0.21	2.03
7. sz.	1.12	1.93	0.18	1.00	30.91	55.00	9.86	0.01	0.38	2.66

A 4.8 ábrán a parcella felszínéről április 3. és április 14. között elhordott, valamint jelentősen kisebb mértékben fölhalmozott homokmennyiség értékeiből szerkesztett szintvonalas térképet, valamint a két időpontban mért értékek különbségei alapján megrajzolt felszín modelljét láthatjuk. Szembetűnő, hogy az ÉNY-i irányból a vegetációmentes homokfelszín fölé érkező szél rövid – néhány méteres – nyugalmi sáv után egyre több szemcsét mozdított ki nyugalmi helyzetéből, majd a parcella szélétől számított 10 és 30 méter közötti szakaszon az erodált anyagmennyiség a maximumát érte el (6-10 cm-es kihordás). A kialakult szemcsefel-

hő fokozatosan lefékezve a mozgó levegőt az elhordott homok mennyiségének csökkenését eredményezte és a parcella DK-i határától már a szemcsék akkumulációja volt megfigyelhető (P_4 sz. terület). Innentől a talajközeli szélprofil is alapvetően megváltozott, hiszen a szélirányra merőlegesen szántott és már 10-20 cm-es magasságú növényzettel borított gabonaföld fölé érkezett az áramló levegő. Infravörös és látható tartományban, 2000 tavaszán készült légifelvételek demonstrálják, hogy a nagyfelbontású távérzékelt adatok is felhasználhatók az erózió által károsított területek felmérésében (4.9 és 4.10 ábra). A tárgyalt jelentős 1997-es homokvihar és a felvételek elkészülte között 3 év telt el és a károsodott felszínek (leginkább a P_4 számú) jól azonosíthatóak (HENNEMANN, G.R. et al. 2004).



4.8 ábra A kontroll területen 1997. április 3. és április 14. között mért homokmozgás értékeinek szintvonalas ábrázolása és a felszín modellje. A = akkumuláció; D = defláció

A széllökések sebessége ebben az időszakban többször is meghaladta a száraz homokfelszín szemcséinek megindításához feltételezhetően szükséges, 0,3 méter magasságban mért 5 m/s-ot, amelynek 10 m-es magasságban mérve 12 m/s erősségű szél felel meg (4.2 táblázat). A rendkívüli mértékű eróziós tevékenységhez - még a legidősebb gazdálkodók sem emlékeznek az utóbbi 20-30 évben ekkora homokverésre - a kiugróan kevés csapadék, és ezáltal a teljesen száraz fölső talajréteg optimális feltételeket biztosított.

4.2 táblázat A maximális széllökések, a csapadék és a maximális hőmérséklet napi értékei 1997. április hónapban (Sz: széllökések m/s-ban; Cs: napi csapadék mm-ben; H: napi max. hőmérséklet, °C)

	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*	*21*	*22*	*23*	*24*	*25*	*26*	*27*	*28*	*29*	*30*
Sz	8	10	11	20	16	22	18	17	8	10	20	22	10	11	18	12	18	20	13	17	20	13	15	11	9	11	10	17	13	21
Cs	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	ny	0	0	ny	2	16	ny	0	0	1	0	0	1	5
H	16	20	22	14	11	11	9	11	-	18	21	12	-	12	10	9	9	16	21	14	9	5	11	16	16	19	23	22	19	19

Az 50x50 méteres kontroll területről átlagosan közel 4 cm vastagságú talajtakarót erodált a viharos erejű szél. A hiányzó homokmennyiség térfogatát, majd tömegét kiszámoltuk (1,75 g/cm^3 sűrűséggel). A kiugróan magas, 230 tonna körüli érték, amelyet az áprilisi 12 napos időszak alatt elhordott a szél, hatalmas mennyiségnek tűnik.

Többször ellenőriztük az eredményt, összevetettük BAGNOLD, R. (1941) és BORSY Z. (1972a,b) által közölt, valamint HENNEMANN, G.R. et al. 2004-es tanulmányában publikált értékekkel és ezek alapján az biztosnak látszik, hogy nagyságrendjében ekkora eróziós tevékenységgel kell számolnunk. DIKKEH, M. (2004) Kecskemét közelében, egy hektáros kísérleti parcellán homokcsapdával és mérőrúddal mért adatai szerint 1988. április közepén egy 10 órás és egy 20 órás mérési periódusban 59 m^3/ha, illetve 56 m^3/ha volt a talajerózió értéke (ez megközelítőleg 90-110 t/ha talajelhordást jelent).

4.9 ábra A mintaterület egy része látható a bal oldali képen, a 2000 tavaszán készült infravörös légifelvételen. Érdekes megfigyelni, hogy a kép közepétől kissé lentebb (és a jobb oldali kivágaton) elhelyezkedő széleróziós parcellától és erdei iskolától (fenyő fasorral körülölelve) ÉK-re, 3-400 méterre a semlyékben belvízerek csordogálnak

4.10 ábra A széleróziós nyomokat a látható tartományban készült légifelvételen is jól lehet azonosítani

A talajvizsgálati eredmények igazolták, számszerűsítették a széleróziós irodalomból ismert tételeket:

- A szervesanyag tartalom szignifikánsan csökkent a 4-5-6-os számú mintákban, amelyek az átszállítási és osztályozási zónához tartoznak. Ezeken a területeken a talaj termőképességének jelentős csökkenésével számolhatunk. A kifújási és a lerakódási zónákra értékelhető eltéréseket ez a mintasorozat nem mutat.
- A mechanikai frakciókra kapott értékek vizsgálatánál szembetűnő, hogy az 1. sz. parcella 0,2 mm-nél kisebb szemcséit (56 %) jórészt messzebbre, a gabonaföldre hordta el a szél (itt 65 %-os a finomabb frakciók aránya).
- Látszik továbbá, hogy a kifújási zóna 1. sz. mintájában az agyag frakció aránya kevesebb, mint felének adódott (1,51 %), a 2-4. sz. mintákhoz viszonyítva.
- Az 5. sz. mintában nagyobb a 0,2-0,32 mm-es szemcseméret aránya, vagyis néhány méteres szaltáció ill. görgetés után itt halmozódott föl ez a szemcseosztály. Ez alapján 4. sz. parcella az átszállítási zónának tekinthető, míg az 1. sz. parcellától 30-40 m-re már a lerakódási zóna kezdődik.
- A 6. és 7. sz. mintákra a pirofoszfátos kezelést megelőzően elvégzett szitálás hasonló eredményt mutatott (a 0,2 mm-nél kisebb frakció 74%-ról 63%-ra csökkent a 6. mintában), a szabvány szerint kezelt mintákra ezt nagyarányú csökkenést nem mutattuk ki.

5. Szélerózió mérése mikrofonos szemcsebecsapódás-számlálóval

5.1 A hordozható terepi mérőállomás kiépítése, műszerei

Az előző fejezetben ismertetett és 5 éves méréssel tesztelt széleróziós monitoring állomással és a mérési módszerrel kapcsolatban a következő problémák merültek fel:

- a parcella kialakítása és műszerezése hosszadalmas, legalább három ember több napos munkája szükséges a teljes kiépítéshez;
- az előző megállapításból, valamint a minimálisan szükséges parcellaméretből (2500-5000 m^2) következik, hogy a monitoring állomás áttelepítése nehezen megoldható;
- a parcellák művelése és tisztán tartása – gyommentesítése – folyamatos munkát, szervezést és felügyeletet igényel;
- a mérés időtartama 2-3 óra, az analóg széleróziós és meteorológiai mérési adatok digitalizálása és feldolgozása ugyancsak több órás munka egy-egy mérésnél;
- a mérési bizonytalanság (2-3 mm) a száraz talajállapot mellett ritkán bekövetkező szélviharokat kivéve a széleróziós események döntő többségénél nem teszi lehetővé az erózió-akkumuláció megbízható mennyiségi kiértékelését;
- a terület bérbeadóinak és a szomszéd telkek tulajdonosainak kára származik a széleróziós parcelláról elhordott és a közelben lerakott homok ismert hatásai miatt, így pl. betakarja és megfullasztja a palántákat, egyéb zsenge szántóföldi kultúrákat, valamint a több száz méterre lévő lakóépületek, tanyák környékén is észrevehetően megemelkedik a porterhelés;
- következménye az előző pontnak, hogy rendkívül nehéz megfelelő és több évre bérbe vehető területet találni a mérés céljára.

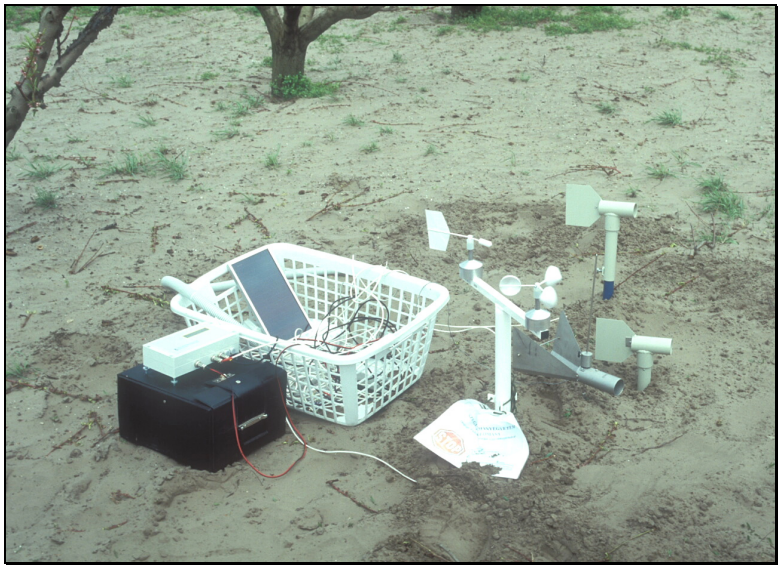
A fentiekben ismertetett problémák egy részének megoldására tettünk kísérletet 2002-2004 között, miután célul tűztük ki a következőket:

1. a mérés automatikusan történjen,
2. a mérések rögzítése elektronikus legyen, lehetőleg digitális kimenettel,
3. a mérőállomás egyszerűen telepíthető és hordozható legyen,
4. a működéshez szükséges energia és az állomás szervizeléséhez szükséges idő a lehető legkevesebb legyen.

A terepi mérőállomás fejlesztéséhez egy műszerbemutatón (IECA, 1996) látott széleróziós mérőeszköz, a S*altiphone* (SPAAN, W.P. et al. 1991) alapján láttunk hozzá, miután

megbizonyosodtunk arról, hogy hazai cég ilyen terméket eddig még nem forgalmazott. Korszerű meteorológiai mérőeszközök gyártására és egyedi igények szerinti fejlesztések kivitelezésére több céget is találtunk, melyek közül a BOREAS Kft.[8] bizonyult a minőséget és az árakat tekintve is a leginkább versenyképesnek.

Együttműködésünk eredményeképpen létrehoztuk a digitális, mobil meteorológiai és szélerózió állomást (5.1 ábra), amely jelenlegi kiépítettségében alkalmas a szélerózió kiváltó széllökések, valamint a szélerózió folyamat erősségét befolyásoló egyéb meteorológiai és talajparaméterek mérésére és tárolására, pl. szélirány és talajnedvesség. A mikrofonos szemcsebecsapódás érzékelők a szélcsatornás és a terepi tesztmérések szerint is megbízhatóan detektálják a különböző magasságokban (jelenleg egyidejűleg 3 szintben) mozgó szemcséket és a szélparaméterekkel összevetve meghatározható az adatokból a talajszemcsék indítási küszöbsebessége, valamint a mikrofon membránján becsapódott szemcseszám, amelyből a különböző magasságban mozgó szemcsemennyiség relatív összefüggéseiről kaphatunk kvantitatív eredményeket.



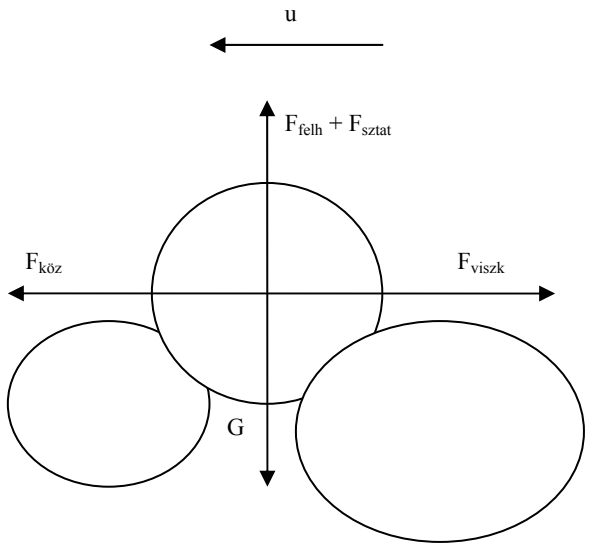
5.1 ábra Mérőállomás a kísérleti parcellán (Zsombó 2004. április)

5.1.1 Mikrofonos szemcsebecsapódás-számláló

SPAAN W.P. ÉS ABEELE G. D. 1991-es publikációjukban kifejtik, hogy a felszíni talajszemcséket nyugalmi állapotukból a légmozgás következtében fellépő közegellenállási erő és a felhajtóerők közül főként a Bernoulli-erő eredőjeként fellépő erő mozdítja ki. A szemcsemozgás akkor indul meg, amikor a szemcsére ható felhajtó- és közegellenállási erők eredője

[8] http://www.boreas.hu

meghaladja a szemcse súlyából származó gravitációs-, a szemcséket egymáshoz kötő kohéziós- és a viszkozitásból származó erők eredőjét (5.2 ábra). Ennek eredményeként a talajszemcsék felemelkednek a levegőbe és légmozgás irányába elmozdulnak. Ezt a - főként 0,05-0,5 mm-es szemcsékre jellemző - szállítási módot nevezik szaltációnak, melynek során a mozgatott szemcsék 90%-a a felszíntől számított 10 cm alatti légrétegben szállítódik. Az ennél nagyobb szemcsék csúsztatva-görgetve, azaz folytonosan a felszínnel érintkezve mozognak, míg az 50 mikronnál kisebb vályog- és agyagszemcséket, valamint szervesanyag-részecskéket és egyéb talajalkotókat nehezebben kapja fel a szél. A nagyobb szemcsékhez kötődve viszonylag sokáig nyugalomban maradnak, majd azok mozgásba lendülése és egymással történő ütközése során kerülnek a magasabb légrétegekbe, ahol azután hosszú ideig fennmaradnak és nagy távolságokra is eljutnak. Ezt a mozgásformát nevezik turbulens diffúziós transzportnak, vagy „porolgásnak” (KARÁCSONY J. 1992).

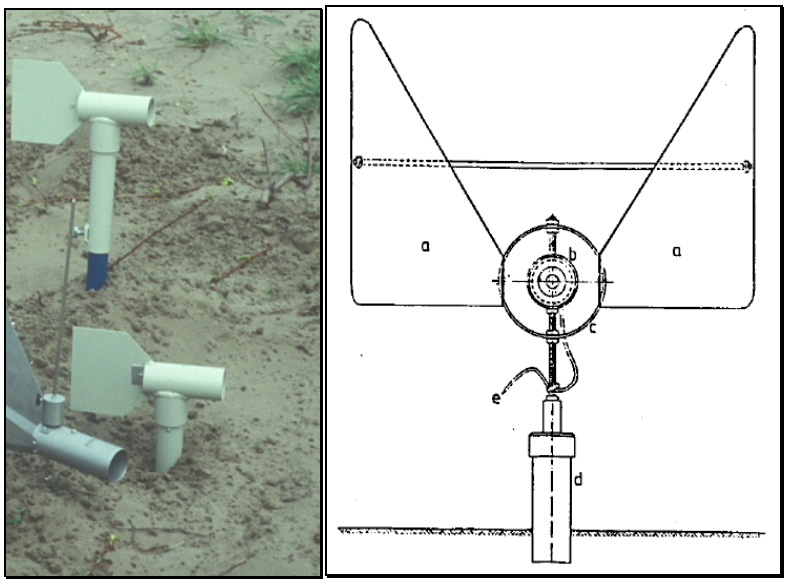


5.2 ábra A felszíni szemcsékre ható erők (KARÁCSONY J., 1992. alapján). *u* : széláram iránya; F_{felh} : felhajtóerő; F_{sztat} : Bernoulli-erő; $F_{köz}$: közegellenállási erő; F_{viszk} : viszkozitásból származó erő; *G* : szemcse súlya

A szaltáltatva szállított szemcsék automatikus detektálására három, alapvetően eltérő elven nyugvó módszert alkalmaznak:

1. Optikai elv (lézer): alkalmazásával a legjobb eredmény érhető el, viszont terepi körülmények között használata nehezen oldható meg a nagy energiaigénye miatt.
2. Tömegmérés elve: a parányi homokszemcsék tömegének pontos terepi mérése digitális mérleg használatával nagyon költséges eljárás.
3. Akusztikai elv: az akusztikus mikrofonok kevés energiát használnak, olcsók, a terepi jel továbbítása, digitalizálása és tárolása aránylag egyszerűen megoldható.

A holland kutatók által kifejlesztett mérőeszköz (SPAAN W.P.- ABEELE G. D. 1991) a szaltáltatva szállított, 50 mikronnál nagyobb átmérőjű szemcsék becsapódásainak számlálására képes. A rozsdamentes csőben egy dinamikus mikrofon található, amely a membránjára becsapódó szemcsék által keltett impulzust érzékeli és továbbítja a műszer analóg/digitális konverterén keresztül a digitális adatgyűjtőbe (5.3 ábra). Az egy másodperc alatt érzékelhető maximális becsapódásszám az eredeti eszköz esetén 1000 db., míg az általunk kifejlesztett és tesztelt változatnál 3000 db.

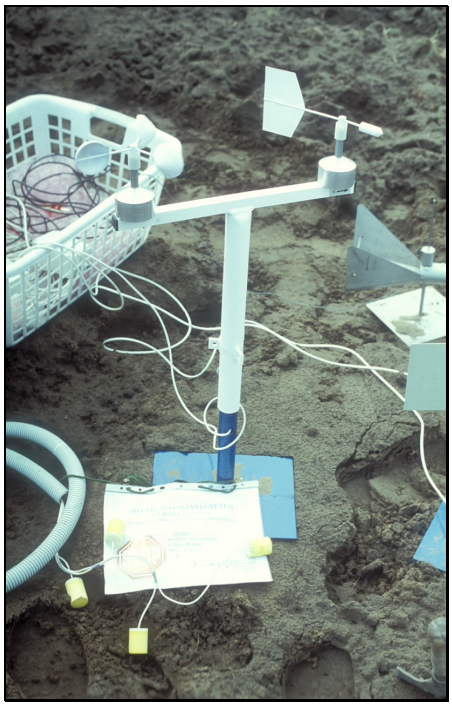


5.3 ábra A mirofonos műszer két típusa: Eijkelkamp Saltiphone (legalsó); Boreas mikrofon (két felső). A mikrofonos szemcsebecsapódás-számlálók felépítése: a. szélterelő; b. mikrofon; c. rozsdamentes cső; d. forgócsapágyas tartóállvány; e. csatlakozókábel

A szaltáló szemcsék és aggregátumok közül csak az 50 mikronnál nagyobbak rendelkeznek elegendő energiával, hogy rezgésbe hozzák a mikrofon membránját. A becsapódás nagy frekvenciás jelet kelt, amely erősítés után egyértelműen megkülönböztethető a szél, vagy az alkalmanként becsapódó esőcseppek által keltett mély hangoktól. Az utóbbi zajok szűréssel történő leválasztása után a homokszemcsék által keltett 1 ms-os (vagy a modernebb változatnál 1/3 ms-os) impulzusok megjelennek a kimeneten, elektronikusan számlálódnak és tárolódnak a memóriában.

5.1.2 Szélirány, szélsebesség mérése

Az érzékelők (5.4 ábra) szélirány és szélsebesség mérésre alkalmasak. A sebesség- és irányjelek feldolgozására az eszköz önálló mikrokontrollert tartalmaz, mely a pillanatnyi adatok mérését, a mérési periódusidő alatti átlagolásokat és az adatgyűjtő felé az adatok továbbítását végzi. A kezelőprogram az alábbi paraméterek lekérdezését teszi lehetővé: mérési periódusidő alatti átlagsebesség, átlag irány, irány minimum és maximum, valamint pillanatnyi (utolsó 3 mp-es) szélirány és szélsebesség.

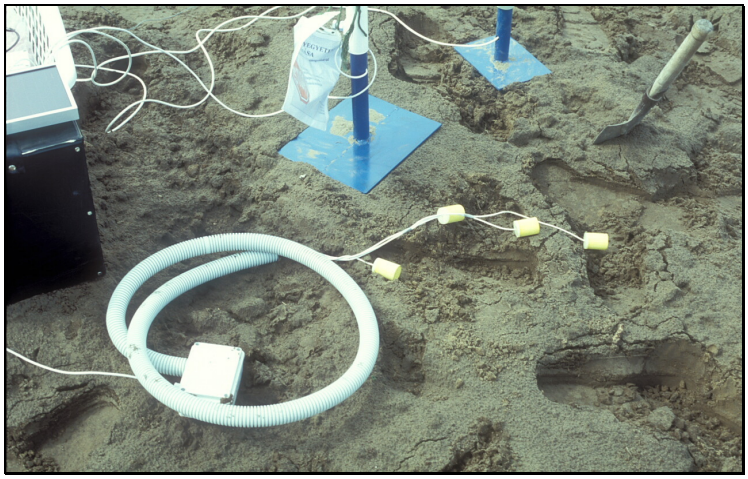


5.4 ábra Szélsebességmérő a kísérleti parcellán (Zsombó, 2004. április)

5.1.3 Talajnedvesség érzékelő

A szedimenttranszport megindulását jelentősen befolyásolja a felszín fölötti légréteg relatív nedvessége, a kihullott csapadékmennyiség és a hőmérséklet, illetve ezen hatótényezők kombinációja. A talaj erodálhatóságának fokát meghatározza a légrétegből a legfelső talajrétegbe jutó csapadék mennyisége, vagyis az ezáltal kialakuló talajnedvességi érték.

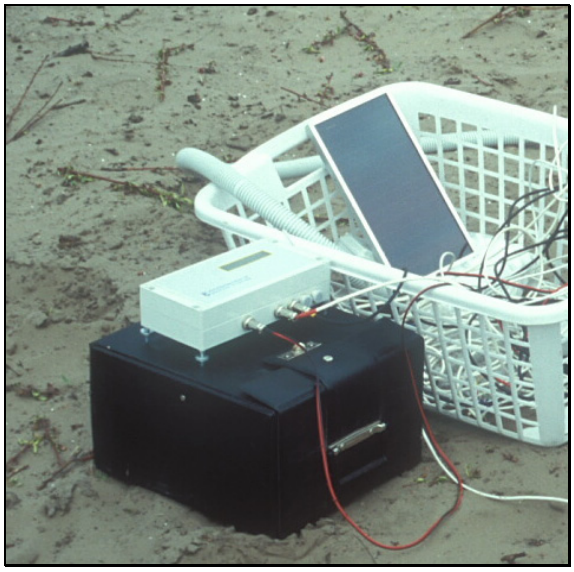
A talajnedvesség-érzékelő (5.5 ábra) különböző mélységekben történő, elektromos ellenállás mérésén alapuló talajnedvesség mérését teszi lehetővé. Az eszköz négy nedvességérzékelő gipsz-blokkot tartalmaz. A detektált értékeket az eszköz egy belső kalibrációs táblázat alapján számítja át tömegszázalék, nedvesség tenzió (bar), illetve felhasznált víz (%) mértékegységekre.



5.5 ábra Talajnedvesség érzékelő a kísérleti parcellán (Zsombó 2004. április)

5.1.4 Adatgyűjtő

Az adatgyűjtő időjárás- és „homokverés-álló” házban került elhelyezésre. Napelem szolgáltatja az energiát a terepi használathoz, illetve 12 V-os tápegység laboratóriumi (kontroll / kalibráló) mérésekhez. Terepi adatmentés alkalmával laptophoz soros és USB porton keresztül is csatlakoztatható. Adatmemóriája ún. nemfelejtő memória. A letöltő (Readstation) és vezérlő (BCU Setup) programok szolgálnak az adatok lementésére és a beállítások megváltoztatására és feltöltésére.

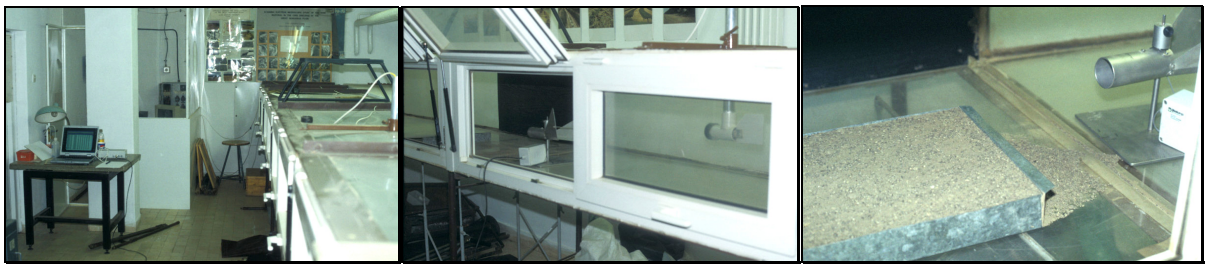


5.6 ábra BCU adatgyűjtő napelemes áramellátással

5.2 Mikrofonos mérések szélcsatornában

A Debreceni Egyetem Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszékének szélcsatornájában (5.7 ábra) a mikrofonos műszerrel végzett kísérleteink céljai a következőkben foglalható össze:

1. eltérő magasságban elhelyezett mikrofonokon a becsapódási szemcseszám meghatározása,
2. indítási küszöbsebességek meghatározása,
3. különböző szélsebességeken a becsapódási szemcseszám meghatározása.



5.7 ábra A mikrofonos szemcseszámlálók tesztelése a szélcsatornában

5.2.1 A becsapódási szemcseszám és a mozgási magasság kapcsolata

Szélcsatornában végzett méréseik alapján SPAAN W.P. és kollégái (1991) azt találták, hogy a membránra érkező összes szemcse száma (*n,* db*)* a mérési magasság (*h,* cm) között a kapcsolatot a következő összefüggés írja le:

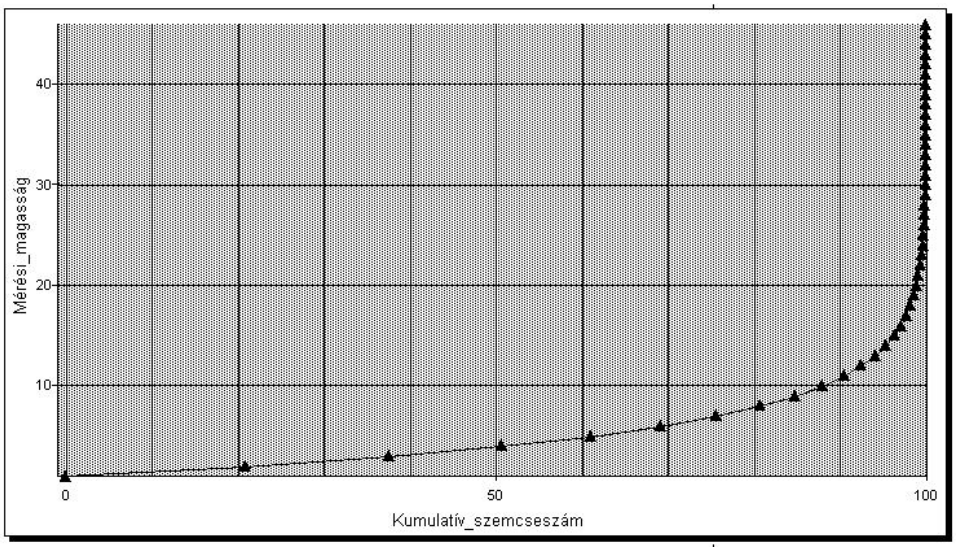
$$h = -9{,}8 \lg n + 46{,}3 \qquad (1)$$

Az (1) egyenlet alapján megszerkeszthető a különböző szaltációs magasságokhoz (1-46 cm) tartozó százalékos kumulatív szemcseszám grafikonja (5.8 ábra). Az ábráról leolvasható, hogy a szemcsék 90%-a a felszín fölötti 0-10 cm légrétegben mozog és alig több, mint 1 %-a kerül 20 cm-es magasság fölé.

A zsombói parcelláról vett mintaesetében az érzékelőket a felszíntől 5, 15 és 25 cm-es magasságban elhelyezve és a szélsebességet fokozatosan emelve 6-14 m/s-os intervallumban mértük a szemcseszámot. Az adatsorok alapján (M-7 táblázat) az előzőekben ismertetett számítási módszerrel meghatároztam a kapcsolatot *n* és *h* között, amelyre a következő függvényt kaptam:

$$h = -12{,}3 \lg n + 60{,}8 \qquad (2)$$

továbbá a kumulatív szemcseszám értékeit a 5.1 táblázatba foglaltam, valamint kumulatív

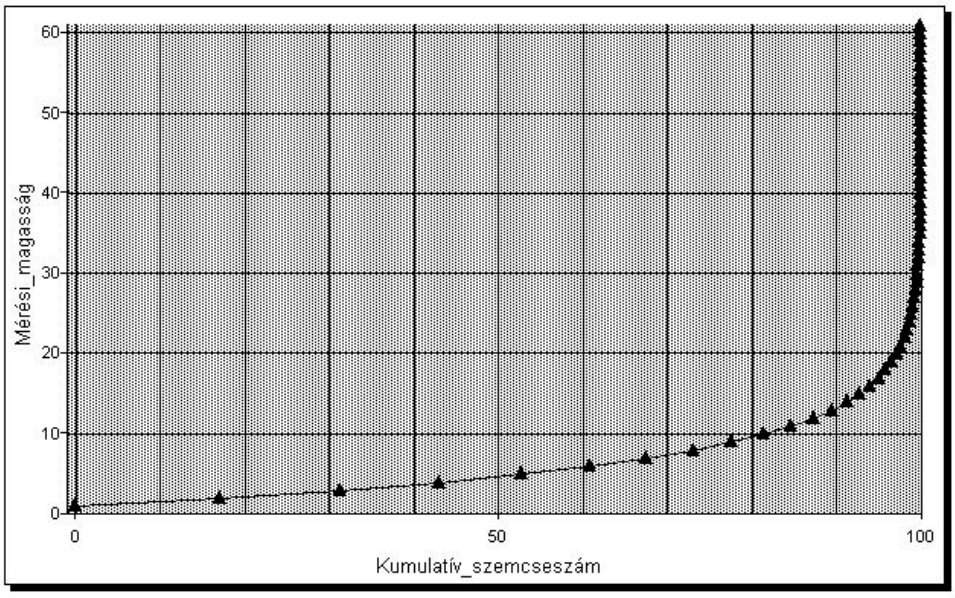


5.8 ábra Különböző mérési magasságokhoz (cm) tartozó százalékos kumulatív szemcseszámgörbe (SPAAN W.P. et al. 1991 alapján)

görbét szerkesztettem (5.9 ábra). Az adott mérési körülmények között és a szélsebesség fokozatos (percenkénti) emelése mellett az adatok alapján megbecsülhető, hogy a vizsgált minta szemcséinek több, mint 50%-a a 0-5 cm-es magasságban, körülbelül 80%-a a 0-10 cm-es magasságban mozgott, míg közel 1 % került a 25 cm-es magasság fölé.

5.1. táblázat Különböző mérési magasságokhoz (cm) tartozó százalékos kumulatív szemcseszám értékei a békéscsabai homokbányából származó mintára

Mérési magasság (cm)	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45
Kumulatív szemcseszám (%)	52,7	81,5	92,7	97,1	98,9	99,6	99,8	99,9	100,0



5.9 ábra Különböző mérési magasságokhoz (cm) tartozó százalékos kumulatív szemcseszámgörbe a békéscsabai homokbányából származó mintára

5.2.2 Homokszemcsék indítási küszöbsebességének mérése

A szélerózió folyamatának vizsgálatában elengedhetetlen a homokszemcsék indítási küszöbsebességének meghatározása. A műszer szélcsatornás tesztelését három különböző szemcse-összetételű mintával: d (szemcseméret) < 0,2 mm; 0,2 mm < d < 0,5 mm; d < 0,5 mm végeztük. A szélsebesség nagyságát ugyancsak három különböző, állandó értékre állítottuk: 8 m/s; 11,5 m/s; 14,5 m/s (M-7 táblázat).

A legnagyobb szélsebességen (14,5 m/s) a becsapódási szemcseszám gyorsan, az első 1-2 percben elérte maximumát. A másodpercenkénti becsapódások száma a nagyobb, 0,2 mm - 0,5 mm átmérőjű szemcséket is tartalmazó mintáknál 2-3-szorosan is nagyobbnak mutatkozott a kisebb frakciót tartalmazó mintával összevetve. Ez a tapasztalat megegyezik egyrészt azzal az ismert ténnyel, hogy ezen a mérettartományon belül a nagyobb szemcsék gyorsabban és nagyobb számban kezdenek szaltáló mozgásba erős szél hatására, másrészt a saltiphone műszer hatékonysága a szemcseméret növekedésével a 200 μm fölötti mérettartományban ugrásszerűen megnövekszik.

A közepes erősségű szélnél a szemcsék megindulásakor az ún. lavinahatás jelentkezett, vagyis fokozatosan egyre több szemcse mozdult meg, a maximális becsapódásszám csak a 6-7. percben állt be, majd rövid idő alatt a mintatálcáról az összes szemcse mozgásba lendült. Az alacsony sebességfokozaton az ugráló szemcsék pályájának magassága nem érte el a membrán magasságát, csak néhány szemcse becsapódását érzékelte a műszer.

5.2.3 A szélsebesség és a becsapódási szemcseszám kapcsolata

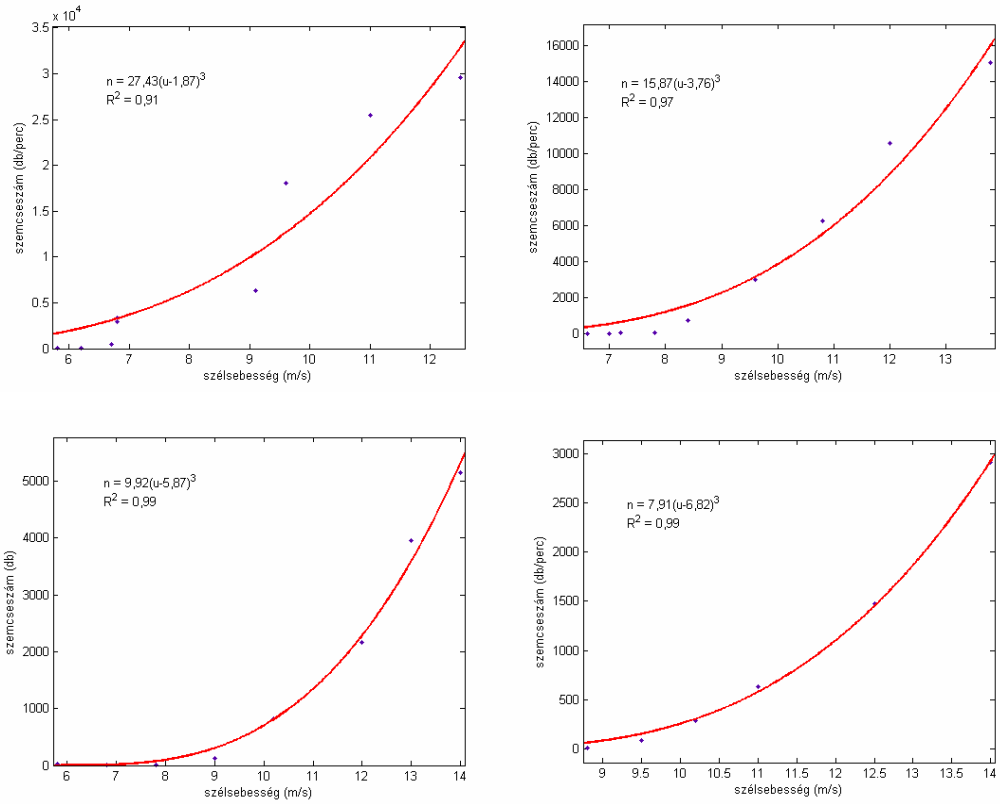
Az érzékelőket négy különböző magasságban (5, 12, 15 és 25 cm) helyeztük el és a szélsebesség fokozatos emelése mellett az összes szemcseszámot vizsgáltuk, valamint értékeltük. A várakozásoknak megfelelően az alacsonyabban elhelyezett érzékelőknél már 6 m/s-os szélnél szemcse-becsapódásokat detektáltunk, míg 25 cm-es magasságon kb. 9 m/s-os szélnél jelentek meg az első szemcsék. A szemcseszám percenként összegezve (*n)* az 5.10 ábrán látható statisztikai összefüggéseket mutatta a szélsebességgel (u). A kapcsolatot minden esetben jól leírja egy-egy harmadfokú hatványfüggvény, amely általánosan a

$$n = a(u - b)^3 \qquad (3)$$

alakba írható, ahol a és b értékét 95 %-os konfidenciaszinten kaptam meg. Az összes szemcseszámnak a szélsebesség harmadik hatványával talált kapcsolata emlékeztet Bagnold formulájára (1941), valamint BORSY Z. (1993) által közölt O'Brien-Rindlaub módosított formu-

lájára, amelyek a szél által szállított homok tömege és a szélsebesség között adnak meg harmadfokú függvénykapcsolatot. Itt jegyzem meg, hogy a saltiphone szélcsatornás és terepi tesztelése során is történtek kísérletek a műszer kalibrálására, többek között GOOSSENS D. et al (2001), valamint ARENS S.M. (1996) által, a szállított össztömeg meghatározásához, de a szerzők megállapításaiból – a kapott gyenge korrelációs értékek alapján – egyértelműen kiderül, hogy a saltiphone jelen formájában nem, vagy csak nagyon korlátozottan alkalmas a hordalék valamely profilban szállított tömegének megállapítására.

Az a következtetés is levonható, hogy az *a* együttható értéke – amely a görbe emelkedésének meredekségét adja meg – a mérési magassággal csökken. Ennek magyarázata abban kereshető, hogy az alacsonyabb magasságokon (5-12 cm) szaltálva mozgó szemcsék száma nagyságrenddel meghaladja a nagyobb magasságokban mért szemcseszámokat, valamint a felszínhez közelebb a nagyobb szemcsék is becsapódnak az érzékelőbe. Ezzel összhangban vizsgálatok bizonyítják (GOOSSENS, D. et al. 2000), hogy a durvább szemcsefrakciónál (d>200 mikron) a nagyobb szélsebességeken a saltiphone mérési hatékonysága jelentősen megemelkedik (100-500 %-os hatékonyság a kontrollmérésekhez képest).



5.10 ábra Az érzékelőre percenként érkezett összes szemcseszám a szélsebesség függvényében (5, 12, 15, 25 cm-en mérve)

5.3 Homokszemcsék indítási küszöbsebességének és becsapódásszámának vizsgálata a mintaterületen

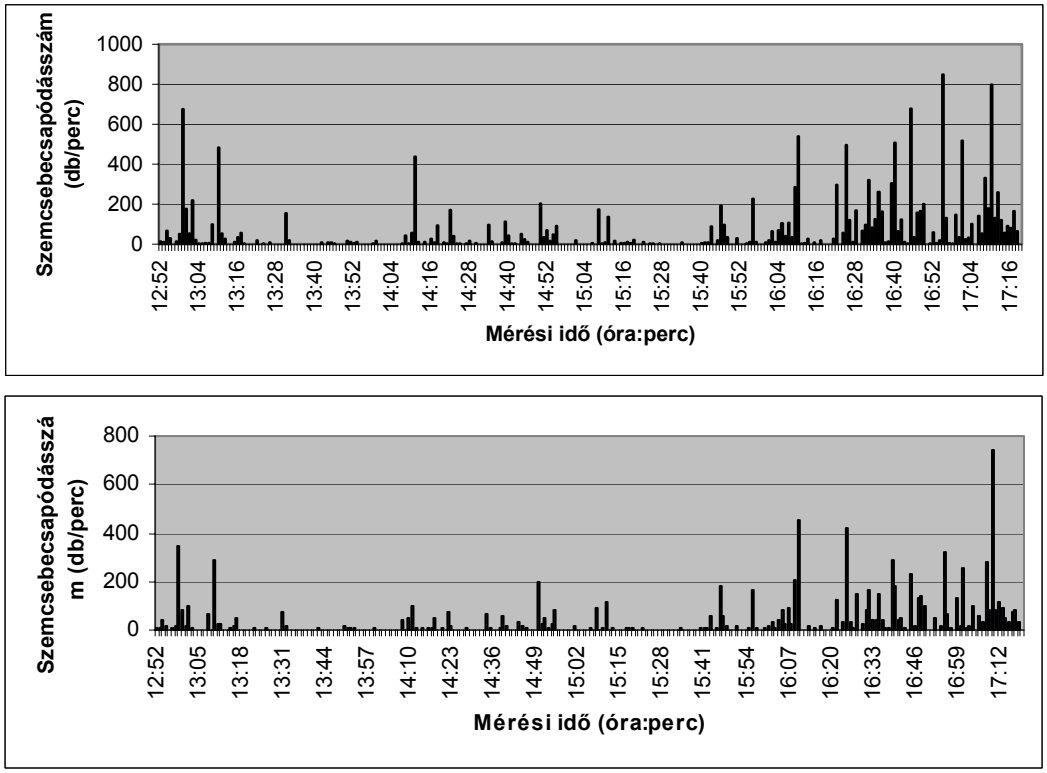
A szélcsatornában (mikrofonok, szélmérő) és talajlaboratóriumban (talajnedvességmérő) tesztelt és a terepi mérési feladatoknak megfelelő, optimális adatgyűjtésre beállított szélerózió mérőállomással a 2004-2005-ös évek tavaszán több alkalommal végeztünk egy-egy napos méréseket. Sajnos a folyamatos, monitoring jellegű méréssorozathoz nem találtunk alkalmas parcellát, mert egyelőre áthidalhatatlan akadálynak látszik a nyílt, mezőgazdasági művelés alatt álló terület szükségességének és az ilyen területen nehezen megoldható folyamatos felügyelet hiányának össze-egyeztethetetlensége.

GOOSSENS, D. et al. 2000-es tanulmányukban, amelyben öt szélerózió mérőeszközt hasonlítanak össze szélcsatornás és terepi mérési körülmények között, megjegyzik és a cikk 1. táblázatából nyilvánvalóan ki is derül, hogy a saltiphone terepi tesztelését csak az első periódusban tudták elvégezni, míg a többi eszközre további hat lehetőségük volt. Okként a kihelyezett mérőállomás vandál rongálását jelölik meg a szerzők, így ebből a tanulmányból használható, előzetes információkat nem kaptam a terepi mérésekhez a mikrofonos műszerről.

Terepi körülmények között a már említett szerzőkön kívül SPAAN, W.P. et al. (1991) és ARENS S.M. (1996) alkalmazták a mikrofonos módszert. Megállapításaik megegyeznek abban, hogy a meteorológiai adatokkal együtt történő mikrofonos mérés, a teljes szélerózió folyamaton belül, a szaltáló szemcsék mozgásvizsgálatához járul hozzá, és az egyidejű elektronikus adatregisztrálással szinte új dimenzióba helyezi azt az eddigi lehetőségekhez képest.

További gyakorlati jelentősége a digitális adatátvitelből adódik, vagyis mezőgazdasági monitorállomásként alkalmazva valós idejű riasztást tud küldeni akár az adatfeldolgozó központba, akár közvetlenül a mikrokontrollereken keresztül egy öntözőrendszer felé, amellyel a szélerózió károkozás elleni azonnali védekezés megvalósítható. A 5.11 ábrán látható, hogy perces pontossággal követhetők a homokszemcsék mozgási, illetve nyugalmi periódusai a különböző magasságokban elhelyezett érzékelőkbe becsapódó szemcseszámok percenkénti átlagai alapján.

2004. évben két alkalommal – március 21-én és április 19-én - észleltünk homokmozgást. A terepi mobil mérőállomással szélsebességet és szélirányt, talajnedvességet és a mikrofonos szemcsebecsapódás-érzékelővel becsapódásszámot mértünk és értékeltünk (5.12 ábra).



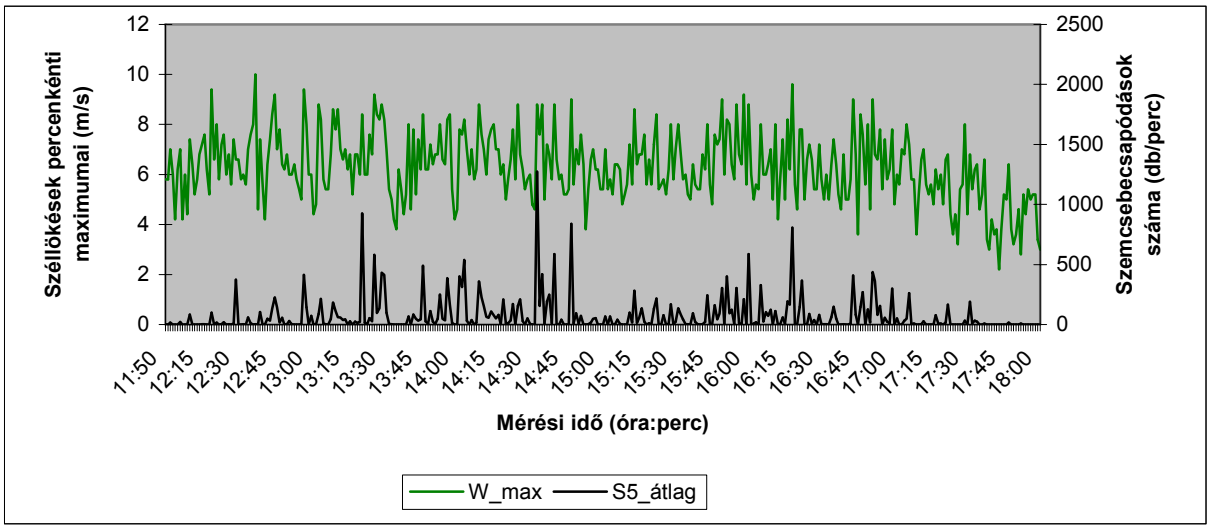
5.11 ábra Szélerózió aktivitás 2004. április 19-én
5 cm-en (fent) és 20 cm-en mérve a becsapódásokat

5.12 ábra Mobil, digitális meteorológiai és szélerózió állomás és deflációs folyamat nyoma a mezőgazdasági táblában (Zsombó 2004. április)

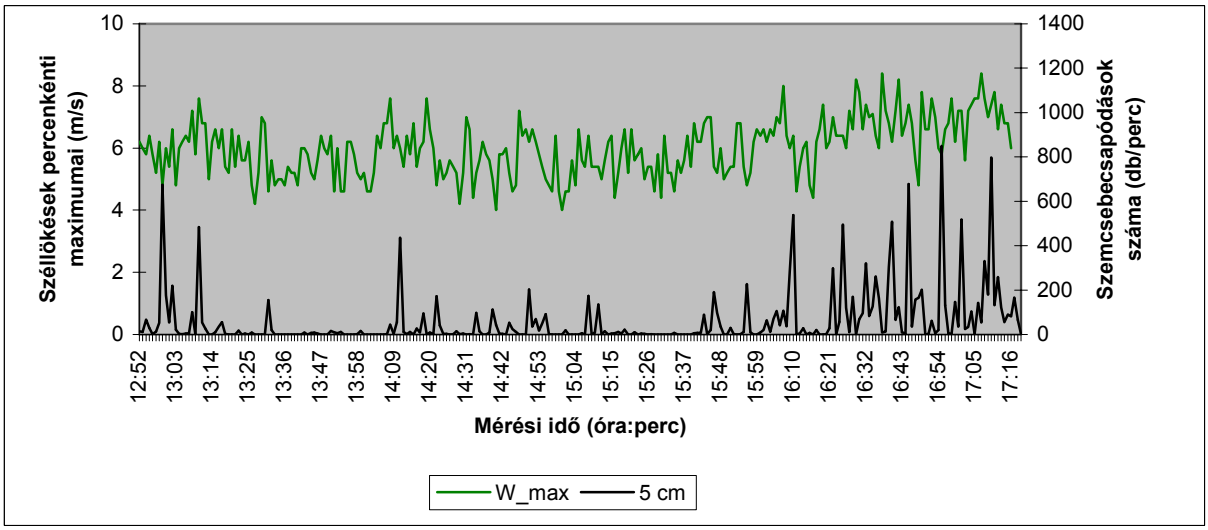
1. Szélsebesség (5.13 ábra): március 21-én 214 db olyan egyperces mérési periódus volt, amikor az 50 cm-es magasságban mért széllökések sebessége meghaladta a 6 m/s-ot, a maximális széllökés 10 m/s, a szélirány 250-300° (NY) között volt. A széllökések percenkénti maximumai és az 5 cm-es magasságban elhelyezett érzékelő által regisztrált percenkénti szemcsebecsapódások átlagai között a korrelációs együttható értéke 0,61-nek adódott, míg a percenkénti maximális szemcseszámmal az együttható értéke 0,64. A magasabban elhelyezett, 20 cm-es érzékelőnél számítva a korreláció már lényegesen

kisebbnek, 0,43-nak adódott. Április 19-én a 150-210°(D) közötti percenkénti átlagsebességek maximuma 7,1 m/s, a legnagyobb széllökés 8,4 m/s volt, 148 alkalommal regisztrált a szélmérő 6 m/s-nál erősebb széllökést (5.14 ábra). A 0,22 korrelációs érték a széllökések és a szemcsebecsapódások között a sok detektált nullás intervallumnak köszönhető.

2. Talajnedvesség: a 4 db. érzékelőfej, amelyeket 5-10-15-20 cm mélységbe helyeztünk el a homokfelszíntől számítva, mindkét mérési periódusban 0 %-os értéket, teljesen száraz talajállapotot jelzett.



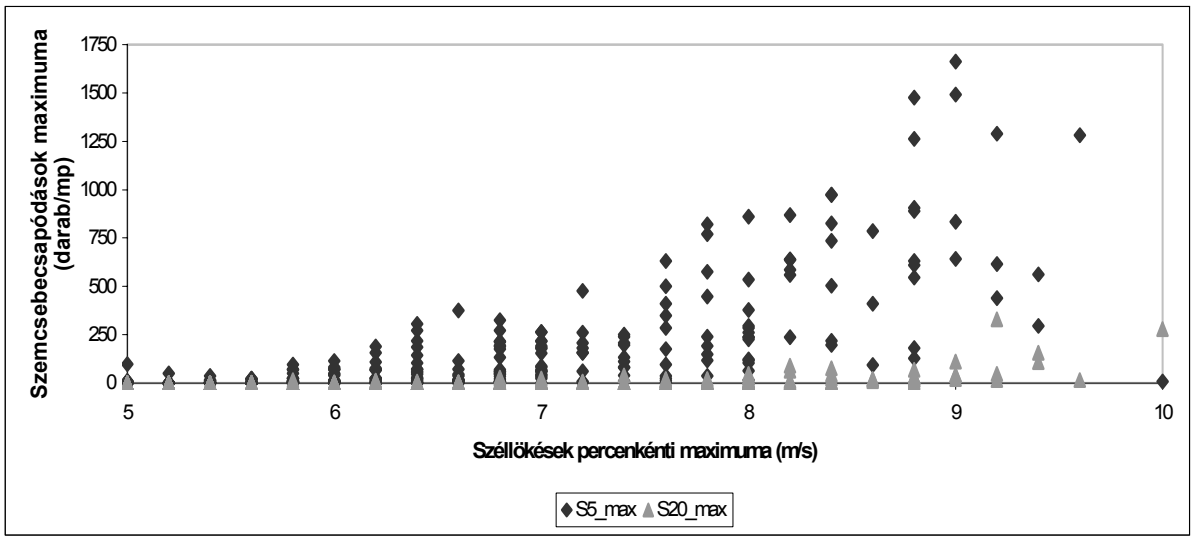
5.13 ábra Széllökések értékei és a szemcsebecsapódások száma 2004. március 21-én



5.14 ábra Széllökések értékei és a szemcsebecsapódások száma 2004. április 19-én

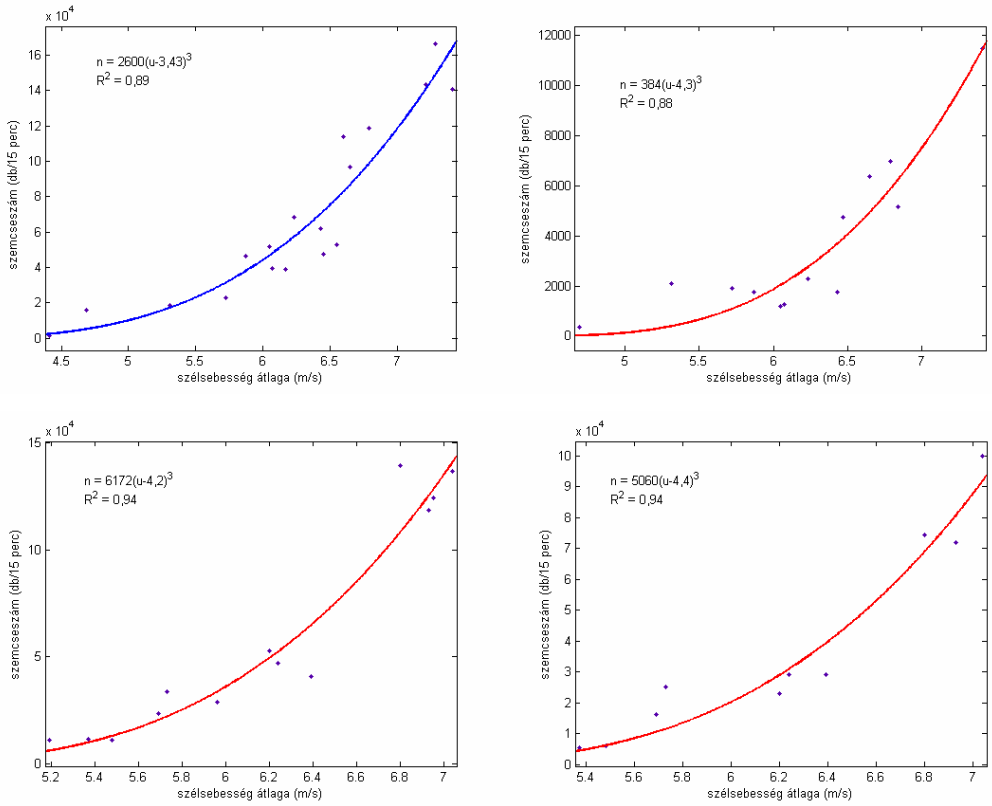
3. Mikrofonos szemcsebecsapódás-érzékelő: az érzékelőket a felszíntől 5, 15, valamint 20 cm-re helyeztük el. Az adatrögzítő egység percenkénti adattárolásra képes: a másodpercenkénti becsapódásszámok egyperces átlagát, valamint legnagyobb értékét tárolja. A március 21-én és április 19-én mért értékeket ábrázoltam a széllökések és átlagos szélsebességek függvényében a 5.15 ábrán. Látható, hogy a szemcsék mozgásba lendítéséhez 5-6 m/s közötti széllökések elegendőnek bizonyultak, valamint a 4,5-5 m/s-os, 15 perces átlagos szélsebességnél már megindult a homokmozgás.

Az 5.15 ábrán a percenkénti maximális széllökések függvényében ábrázoltuk az átlagos szemcsebecsapódások számát. Hasonlóan a szélcsatornás eredményekhez, 20 cm-es magasságban a mozgatott szemcsemennyiség körülbelül 5 %-a az 5 cm-es magasságban mozgatott mennyiségnek. Jól látható továbbá az ábrán, hogy alacsonyabb mérési magasságnál a szélsebesség növekedésével sokkal meredekebben emelkedik a becsapódott szemcsék száma, mint a magasabban elhelyezett érzékelőnél.



5.15 ábra A másodpercenkénti maximális szemcsebecsapódások száma a szélsebesség függvényében 5 cm-es és 20 cm-es felszín feletti magasságban mérve 2004. március 21-én

A két mérési periódusra, 15 perces mérési intervallumokra összegeztem a szemcsebecsapódás-számokat, valamint ezekre az időszakokra kiszámoltam az átlagos szélsebességet. Az 5.16 ábrán jelölt statisztikai értékeket elemezve láthatjuk, hogy a szélcsatornás méréseknél tapasztalt harmadfokú függvényekkel ($n = a(u\text{-}b)^3$) jól közelíthetők a mérési értékek. Az a együttható értéke, azaz a görbe meredeksége az alacsonyabb, 5-15 cm-es mérési magasságokban lényegesen nagyobb, mint a 20 cm-es mérésnél (jobb felső ábra).



5.16 ábra A szemcsebecsapódás-szám 15 perces intervallumokra összegezve az átlagos szélsebesség függvényében 5 cm-es (bal felső), illetve 20 cm-es (jobb felső) felszín feletti magasságban mérve 2004. március 21-én és 5 cm-en (bal alsó), illetve 15 cm-en (jobb alsó) mérve 2004. árpilis 19-én

A függvény *b* értékei megadják azokat a percenkénti átlagsebességeket, ahol elméletileg megindul a szemcsemozgás, bár a tapasztaltaknak megfelelően itt is az 5 cm-es értékek az alacsonyabbak, de ezt a statisztikai mutatót csak megfelelő kritikával szabad kezelni, hiszen néhány szemcsés becsapódások a nyugalmi periódusokban is történhetnek a szélmozgástól független "zavaró" tényezők hatásaként, mint például az élőlények és gépjárművek mozgása.

6. Modellvizsgálatok

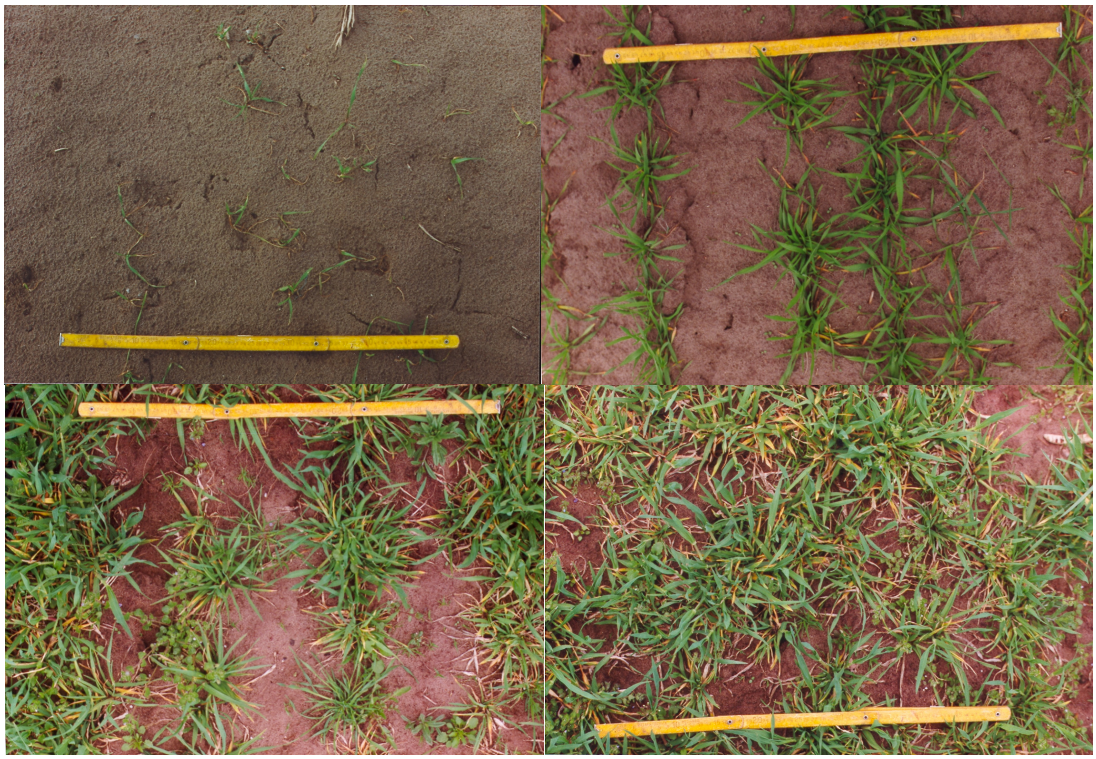
6.1 RWEQ (Revised Wind Erosion Equation) eróziós szubmodell futtatási eredményei

A hazai széleróziós kutatások során elsők között nyílt lehetőségünk széleróziós modellek tesztelésére. Ezekről a számítógépes modellekről tudni kell, hogy elsősorban USA-beli kutatók, felhasználók számára készült béta-verziós rendszerek, amelyek beépített meteorológiai adatbázisokkal dolgoznak. Munkám döntő része a megfelelő input időjárási adatbázisok létrehozására irányult, legfontosabb lépése a mintaterületről rendelkezésemre álló részletes széladatokból a szükséges szélstatisztikai számítások algoritmizálása, programozása volt.

Az USA Mezőgazdasági Minisztériuma (USDA) által támogatott intézetek, a kansasi WERU (Wind Erosion Research Unit) és a texasi WEWC (Wind Erosion & Water Conservation Service) intézet részben egymástól függetlenül két különböző, alapvetően más elven működő számítógépes széleróziós modellt dolgozott ki az elmúlt két évtizedben, amelyeket ezen kutatóhelyek munkatársainak engedélyével és közreműködésével módomban állt kipróbálni, terepen mért eredményeimmel tesztelni.

A RWEQ egy téglalap alapterületű parcellát átszelő egyenes mentén (egy dimenzióban) empirikusan becsli a talajveszteséget. Közép- és hosszútávú, kis időfelbontású, átlagbecslést ad, a ható folyamatok visszacsatolása nélkül.

A mintaterületről terepi adatokat gyűjtöttük be: 32 pontból a százalékos növényzetborítottsági értékeket (6.1 ábra), valamint talajmintákat, amelyeknek meghatároztuk a szemcseösszetételét, szervesanyag- és karbonáttartalmát (M-8 táblázat). A felvett minták vizsgálatával kapott eredményeket az RWEQ modellben a "Talaj" szubmodell bemenő értékeiként használtam fel. A modellt 1997 tavaszának mért és részben számított (ld. WEPS adatbázis, 6.2 fejezet) időjárási adataival teszteltem, hiszen ezen időszakból rendelkezünk a legnagyobb elhordási értékekkel a kísérleti területen az adott időszak aktív, több hetes széleróziós tevékenységének következtében. A tesztelés eredményeként (6.1 táblázat) állíthatjuk, hogy a vegetáció nélküli parcellán (M33-as minta) a mért: 235 tonna és számított: 197 tonna elhordási értékek közötti eltérés 20 %-nál kisebbnek adódott. VAN PELT, R. és ZOBECK, T.M. (2002, 2003) vizsgálták az RWEQ modell által becsült és hat kísérleti állomáson mért széleróziós értékek közötti kapcsolatot. Vizsgálataik szerint a modell alábecsüli a talajelhordási értékeket és az előrejelzett és mért adatok közötti korrelációra 0,6-0,7 közötti értékeket kaptak. A vegetációval (őszi búza) fedett parcellán (M34, M36) mért értékeink (0-10 tonna) egy nagyságrenddel kisebbek, azaz jelentősen eltérnek a program által számított értéktől (16-47 tonna).



6.1 ábra A növényzet-borítottság arányát fényképfelvételekről határoztam meg az RWEQ modell dokumentációjában leírt módszerrel. A felvételeken négy mintavételi hely különböző borítottságú homokfelszínei láthatók

6.2 WEPS (Wind Erosion Prediction System)

A WEPS projekt kidolgozása során új típusú kutatásokat terveztek és a kísérletek, vizsgálatok helyszíne a terep lett, ahol a folyamatok valójában lejátszódnak (HAGEN, L.J. 1991a; TATARKO, J. et al. 1995a). Hordozható szélcsatornákat telepítettek a kísérleti területekre, új és jobb anemométereket és szedimentcsapdákat használtak, új módszereket dolgoztak ki a felszín erodálhatóságának becslésére (pl. porszívós módszer).

A WEPS determinisztikus, parcella alapú modell, amely a szimulációs területen kétdimenziós, ún. grid alapú eljárással becsüli a talajveszteséget, ill. az akkumulációt. Nagy időfelbontású számításokra is képes: akár egy eseményes, vagy egy napos, de több éves becsléseket is képes adni a program.

A szimuláció során a talajállapotban, talajművelésben bekövetkező változások visszacsatolására képes. A széladatok megadása akár óránkénti bontásban is lehetséges. A modellezés ilyen irányú finomítása –az input adatbázis nagyon részletes kiépítését követeli meg.

6.1 táblázat A mintavételi pontokban mért növényzet-borítottsági értékek, a talajminták sorszámai, és az RWEQ modellből számított erózió értékek

Felszínborítás típusa*	Felszín-borítottság* (%)	Talajminta sorszáma*	RWEQ erózió (t/2500 m^2)
erdő	100	M11	0
	15	M26	53
gabona	75	M27	2
	70	M8	3
	50	M10	8
	50	M30	5
	47	M29	9
	45	M5	15
	37	M32	15
	35	M34	16
	30	M1	21
	25	M24	34
	25	M25	27
	23	M15	35
	17	M36	47
	16	M19	75
	13	M16	67
gyümölcsös	2	M14	173
	0	M17	241
nádas	100	M7	0
parlag	75	M23	2
	50	M31	8
rét	70	M35	3
	50	M28	5
	7	M3	91
semlyék	100	M18	0
	100	M22	0
szántás (vetetlen)	4	M12	138
	2	M2	150
	3	M6	161
	1	M20	142
	0	M33	197
szőlő	90	M4	1
	50	M21	8

6.2.1 WEPS időjárási adatbázis feltöltése

Az 1995-2000 között mért, számított, az Országos Meteorológia Szolgálattól (OMSZ) beszerzett meteorológiai, talaj-, területhasználati, felszínborítási és talajművelési adatok fel-

használásával végeztem a WEPS széleróziós modell magyar viszonyokra történő adoptálásához a szükséges adatbázis felépítését.

A legrészletesebb széladatok a mérési parcella környezetében a szegedi OMSZ állomásról álltak a rendelkezésemre. Digitális formátumban kaptam meg 1997-2000 évekre a 10 perces maximális széllökések sebesség és irány értékeit. Ez paraméterenként közel 200 ezer adat feldolgozását jelentette, melynek lépései:

1. havi adatsorok összerendezése,
2. 16 szélirányra sorba rendezés,
3. 27 sebesség-intervallumra (a maximális széllökés 26,9 m/s sebességű volt a vizsgált időszakban) gyakorisági értékek számítása.

Az itt részletezett matematikai eljárás alapján történt számítógépes statisztikai adatfeldolgozáshoz T. M. ZOBECK-től és munkatársaitól (1999, 2003), az RWEQ fejlesztői csapatától kaptam a mintaként elküldött széladatok alapján egy segédprogramot, amelynek közvetlen felhasználása SAS statisztikai program hiányában nem volt lehetséges, viszont amely alapján SPSS scriptekkel és Excel makrókkal sikerült megoldani a számítási feladatot.

A 10 perces maximális széllökések gyakorisági eloszlását a Weibull-féle eloszlással (JUSTUS C. G. et al. 1977) közelítettem, amelynek sűrűségfüggvénye v szélsebességre:

$$p(v)dv = (\frac{k}{c})(\frac{v}{c})^{k-1} e^{-(\frac{v}{c})^k} dv, \qquad (1)$$

ahol c a skálatényező (sebesség mértékegységben), k a formatényező (dimenzió nélkül). Az ekvivalens kumulatív valószínűségi függvény (szélsebesség-tartam görbe):

$$p(v \le v_x) = \int_0^{v_x} p(v)dv = 1 - e^{-(\frac{v_x}{c})^k}. \qquad (2)$$

Mindkét széleróziós modell ezen eloszlás k és c paramétereiből előállított adatbázist kezeli bemenő szélsebesség és szélirány adatként. A Weibull-eloszlás alkalmazása területünkön általában is indokolt lehet, mert szélstatisztikai elemzésekkel kimutatták, hogy hazánk síkvidéki állomásain, főként az eróziós periódusokban (tavasz, ősz) hasonlóan jó közelítést ad, mint a leggyakrabban előforduló négyzetgyökös normál eloszlás (TAR K. 1991). További előny, hogy a szegedi állomáson 8,37 méter magasan mért széladatok a modellszámításokban használt 10 méteres magasságra viszonylag egyszerűen számíthatók.

Amennyiben a mért szélsebességeket szélirányonként n sebesség intervallumba: 0-v_1, v_1-v_2, ..., v_{n-1}- v_n osztjuk, amelyekre a gyakorisági értékek: $f_1, f_2, ..., f_n$; a kumulatív gyakoriságok pedig $p_1 = f_1$, $p_2 = f_1 + f_2, ..., p_n = p_{n-1} + f_n$; akkor (2) fölírható:

$$1 - p_i = e^{-(\frac{v_i}{c})^k}, \tag{3}$$

kétszer véve mindkét oldal logaritmusát kapjuk, hogy

$$\ln\left(-\ln(1-p_i)\right) = -k\ln c + k\ln v_i, \tag{4}$$

továbbá az $y=a+bx$ lineáris egyenletet kapjuk az

$$\begin{aligned} x_i &= \ln v_i, \\ y_i &= \ln\left(-\ln(1-p_i)\right) \end{aligned} \tag{5}$$

helyettesítésekkel, ahonnan a legjobban illeszkedő egyenes a konstansa és b együtthatója a legkisebb négyzetek módszerével meghatározható. A c és k tényezők számítása egyszerű:

$$c = e^{-\frac{a}{b}}, k = b. \tag{6}$$

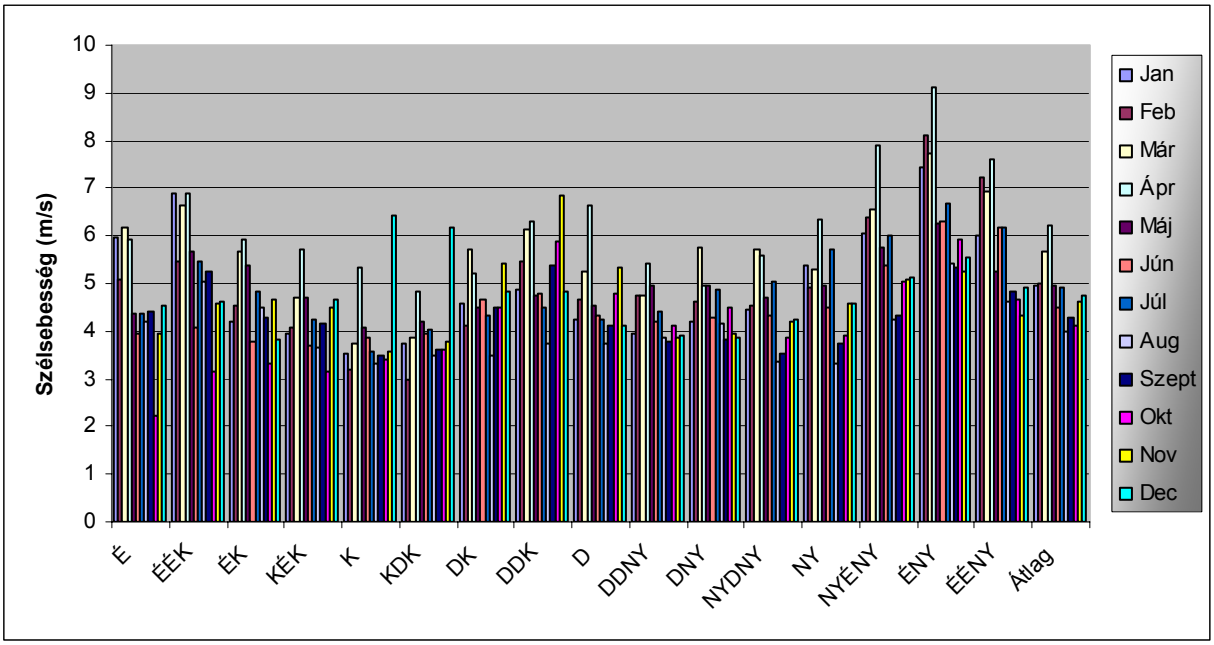
Ha a szélsebesség mérése z_a magasságban történik, amelyre a Weibull paraméterek c_a és k_a, akkor tetszőleges z magasságban megadhatók c és k paraméterek a következő formulákból:

$$\begin{aligned} c &= c_a\left(\frac{z}{z_a}\right)^n, \\ k &= k_a \frac{\left(1-0.088\ln\left(\frac{z_a}{10}\right)\right)}{\left(1-0.088\ln\left(\frac{z}{10}\right)\right)}, \end{aligned} \tag{7}$$

ahol z és z_a méterben adott és

$$n = \frac{\left(0.37 - 0.088\ln c_a\right)}{\left(1-0.088\ln\left(\frac{z_a}{10}\right)\right)}. \tag{8}$$

A statisztikai adatokból (6.2 ábra) jól látható, hogy a homokmozgás megindulásához szükséges, körülbelül 6 m/s feletti szélsebességek leggyakrabban a tavaszi időszakban, főként áprilisban (böjti szelek) jelentkeznek, irányuk uralkodóan észak-nyugatias. A Weibull-eloszlás skálatényezőinek értékei előjelzik a modell eróziós szubmodelljének futtatásakor várható eredményeket. További finomításra ad lehetőséget a részletes széladatok bemenő paraméterként való definiálása[9] .



6.2 ábra A szegedi OMSZ állomáson 1997-2000 években mért 10 perces legnagyobb széllökések Weibull-eloszlás *c* skálafaktorai (m/s) 16 szélirányra és átlagra havi bontásban

6.2.2 A WEPS Erosion szubmodell alkalmazása

A modell terepi mérési alapadatbázison történő futtatását, vagyis a tényleges szimulációt megelőzően a következő, a modell részletes kidolgozásához és alkalmazásához nélkülözhetetlen lépéseket kellett elvégeznünk (KVVM 2002; SZATMÁRI J. 2002):

1. verifikáció,
2. számítási háló meghatározása,
3. paraméterek megadása,
4. érzékenységi vizsgálat és kalibráció,
5. validáció,
6. szimuláció.

[9] http://www.ars.usda.gov/weps (WEPS Technical documentation)

6.2.2.1 Verifikáció

A verifikáció során arról kellett meggyőződnünk, hogy egyszerű, általában analitikusan is megoldható esetekben a modell kielégítő megoldást szolgáltat-e. A WEPS modell dokumentációja (HAGEN, L.J. 1996), valamint tesztelési eredményeket tartalmazó publikációk (HAGEN, L.J. 2004; VISSER, S.M. et al. 2005) egyértelműen bizonyítják a WEPS alkalmazhatóságát a széleróziós szimulációkban.

6.2.2.2 Számítási háló

A számítási háló meghatározza az elérhető pontosságot és – mivel numerikus modellel dolgozunk – a futási időt. Nagyobb felbontással (sűrűbb hálóval) nagyobb pontosságot, részletesebb kimeneti adathalmazt kaphatunk, viszont indokolatlanul megnövekedhet a futási idő, amely ebben az esetben is – amikor több százszor futtattuk a WEPS Erosion szubmodellt – többszörösére növelte volna a szükséges gépidőt.

A mérőcölöpös mérésekkel történt teszteléskor az alapfelbontás adott volt, hiszen a terepen is 5x5 méteres hálót használtunk. A mikrofonos műszeres szimuláció előtti érzékenységi teszt (ld. 6.2.2.4 fejezet) megmutatta, hogy a felbontás növelése a végeredményt csak elhanyagolható mértékben befolyásolta, így a szimulációhoz is a fenti 5 méteres alap rácstávolságot használtuk.

6.2.2.3 Paraméterek megadása

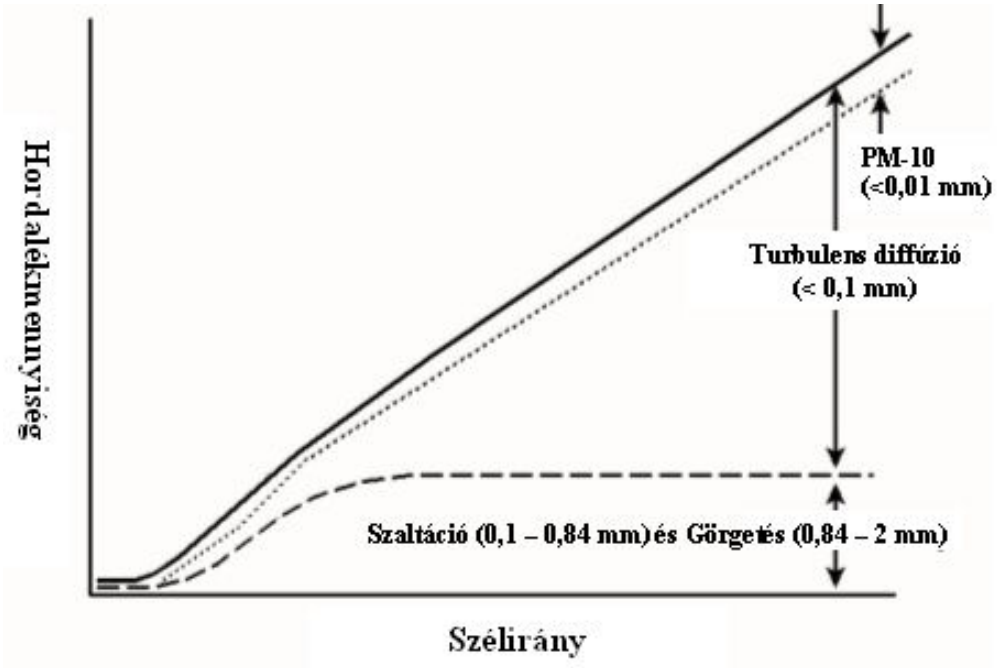
A paramétereket a modell számára kivétel nélkül meg kell adni, nincs lehetőség bizonyos nem ismert, vagy nehezen meghatározható paraméterek elhanyagolásával a probléma egyszerűsítésére. A paraméterezés az adathalmaz túlnyomó részénél nem jelentett megoldhatatlan feladatot, hiszen a mintaterületet homogénnek feltételeztük, így a talaj- és növényzeti-paraméterhalmaz területi allokációjára (csomópontonkénti megadására) nem volt szükség. Nagyobb feladat az időben változó paraméterek (talajnedvesség, szélsebesség) minden időlépcsőre, vagyis az elérhető legjobb időfelbontással történő definiálása. Az M-9 melléklet tartalmazza az input paraméterek felsorolását és a tesztek, valamint a szimulációk során alkalmazott értékeket, az M-10 mellékletben egy minta látható a WEPS Erosion bemenő szöveges állományaiból, valamint az M-11 mellékletben egy részletes kimeneti állomány található a parcellára generált háló csomópontjaiban becsült és összesített erózió-értékekkel.

6.2.2.4 Érzékenységi vizsgálat és kalibráció

A paraméterértékek közül becslésre volt szükség néhány esetben, hiszen nem ismertük és nem is mérhettük utólag ezeket az értékeket. A program teljes verziója[10] rendelkezik beépített talaj-adatbázissal, amelyből a szükséges kezdeti értékeket kikerestük.

A tényleges kalibráció előtt érzékenységi vizsgálatot végeztünk, amellyel képet kaphattunk arról, hogy adott paraméter értékének ± 10 %-os változtatása az output-on milyen mértékű változást generál (6.2 táblázat). A program a teljes hordalékszállítás (*Total*) mellett számítja a szaltációs-görgetett (*Salt/creep*), a turbulens diffúziós (*Susp*) és ezen belül az egészségre különösen veszélyesnek bizonyult 10 mikronnál kisebb (*PM10*) részecskeszállítás részarányát.

A WEPS Erosion modell az előző osztályokhoz tartozó szemcseátmérőket a 6.3 ábrán látható értékekkel értelmezi, valamint az ábra kifejezi azt az összefüggést is, hogy a széleróziós parcelláról a szél haladási irányában egyre több lebegtetett szemcse kerül a tömegáramba, míg a görgetett és a szaltáltatva mozgatott részecskék mennyisége egy bizonyos távolság után konstans lesz (HAGEN, L.J. 1996).



6.3 ábra A WEPS Erosion kimeneti értékeinek osztályozása a szemcseátmérőkkel (HAGEN, L.J. 1996 alapján)

[10] http://www.ars.usda.gov/weps

6.2 táblázat Érzékenységi vizsgálat ([1] Paraméter azonosítója, leírása a M-9. táblázatban, [2] Összes erózió [3] Szaltációs/csúszásos-gördülés hordalékszállítás, [4] Turbulens diffúziós hordalékszállítás, [5] 10 μm-nél kisebb szemcsék hordalékszállítása, [6] Weibull „c" tényező

	%-os vált. 10 %-os csökkentésnél				*%-os vált. 10 %-os növelésnél*			
Paraméter[1]	Total[2]	Salt/creep[3]	Susp[4]	PM10[5]	Total	Salt/creep	Susp	PM10
3.4	8,6	7,7	12,5	18,2	-7,1	-6,4	-10,4	-14,3
4.4	-1,0	-2,0	-0,3	-	1,0	2,0	0,3	-
4.7	-1,0	-2,0	3,0	-6,5	1,0	2,0	2,7	4,6
4.10	11,4	9,8	16,5	16,9	-16,0	-14,3	-22,1	-24,4
4.11	7,5	7,6	6,7	5,3	-16,8	-16,1	-19,4	-21,0
4.16	-1,0	0,3	0,7	-1,3	-0,9	-0,2	0,5	-1,5
5.3	3,3	3,0	4,3	3,9	-4,1	-3,8	-5,0	-4,4
6.6[6]	-43,0	-51,2	-38,4	-35,6	39,1	52,1	30,9	28,8

Látható, hogy a szimulációs modell rendkívül érzékeny a szélsebesség értékek mellett az aggregátum-paraméterekre. KARÁCSONY J. (1992) munkájában részletesen kifejtette az aggregátumok méretének és stabilitási tényezőjének szerepét a széleróziós transzport-folyamatokban. E paraméterek meghatározása, mérése összetett feladat, amelyhez laboratóriumi eszközökkel nem rendelkezünk, így közelítő értékeit becslési eljárással és kalibrációval határoztuk meg.

A modell kalibrációja során jelen esetben a következő paraméterek :

- aggregátum stabilitás,
- aggregátum közepes átmérő,
- Allmaras véletlen egyenetlenség,
- talajkéregre vonatkozó paraméterek

kezdeti értékeit becsültük. Az első futtatási eredmények és a parcellán mért elhordási értékek jelentős (3-4-szeres) eltérést mutattak. A mérési eredmények közül az 1997 áprilisi két esemény adatait használtuk fel, mert ezek voltak száraz talajállapot mellett a legerősebb széllökésekkel jellemezhető, legkarakteresebb eróziós események (6.3-4 táblázat).

A kalibrációt a "trial-and-error" módszerrel végeztük el (FOLLY, A. et al. 1997; BARTA K. 2004; KOVÁCS B. 2004), amelynek lényege, hogy a fenti paraméterek becslési hibáit egyenként javítottuk a kimeneti értékeken tapasztalható változások követésével.

6.3 táblázat Kalibráció: WEPS Erosion napi szimuláció 1997. április 4-14. közötti időszakra

Szimuláció időpontja	*Paraméter*	*Total*[2] *(t)*	*Salt/creep*[3] *(t)*	*Susp*[4] *(t)*	*PM10*[5] *(t)*	*Mért érték (t)*
04.04		22,57	19,40	3,16	0,02	
04.05		12,57	10,84	1,73	0,01	
04.06		58,86	49,54	9,32	0,08	
04.07		17,35	14,78	2,57	0,02	
04.08		14,60	12,23	2,38	0,02	
04.09		0,00	0,00	0,00	0,00	
04.10		1,05	0,87	0,18	0,00	
04.11		34,86	29,14	5,72	0,05	
04.12		21,17	18,12	3,05	0,02	
04.13		6,60	5,59	1,01	0,01	
04.14		1,04	0,83	0,21	0,00	235,2
Összesen		**190,67**	**161,35**	**29,33**	**0,23**	**235,2**

6.4. táblázat Kalibráció: WEPS Erosion napi szimuláció 1997. április 15-28. közötti időszakra ([2] Összes erózió, [3] Szaltációs/csúszásos-gördülés hordalékszállítás, [4] Lebegtetett hordalékszállítás, [5] 10 μm-nél kisebb szemcsék szállítása)

Szimuláció időpontja	*Paraméter*	*Total*[2] *(t)*	*Salt/creep*[3] *(t)*	*Susp*[4] *(t)*	*PM10*[5] *(t)*	*Mért érték (t)*
04.16		2,16	1,78	0,38	0,00	
04.17		21,40	18,15	3,24	0,03	
04.18		20,01	17,16	2,85	0,02	
04.19		5,61	4,79	0,81	0,01	
04.28						59,3
Összesen		**49,18**	**41,88**	**7,30**	**0,06**	**59,3**

A kalibrált paraméterekkel kapott eredmény mindkét esetben körülbelül -20 %-kal tér el a mérőcölöpös méréssel kapott eredményektől, azaz jelen beállításokkal alábecsül a program a mért értékhez képest, amelyet azonban semmiképpen nem tekinthetünk hibátlan adatnak, a 4. fejezetben kifejtett mérési bizonytalanság (amely akár 10 %-os is lehet) miatt. Azaz valójában akkor járunk közel az igazsághoz, ha a kalibrált modellel 10-30 %-os alábecslést fogadunk el az eljárás végeredményeként. Természetesen statisztikailag releváns értékeket nagyszámú terepi mérés és azoknak megfelelő input paraméterekkel történt modellfuttatás után lehet számítani.

6.2.2.5 Validáció

A WEPS Erosion szubmodell alkalmazhatósági vizsgálatának utolsó lépéseként a kalibráció során fel nem használt események adataival futattuk a modellt, amelyek alapvetően a hidrológiai (csapadék-talajnedvesség) és széladatokban térnek el a korábban felhasznált események adataitól, és vizsgáltuk a szimulált és mért talajelhordási értékek kapcsolatát (6.5 táblázat).

6.5. táblázat Validáció: WEPS Erosion napi szimuláció és parcellán mért értékek (ld. 6.4 tábl.)

Paraméter / *Szimuláció időpontja*	*Total*[2] *(t)*	*Salt/creep*[3] *(t)*	*Susp*[4] *(t)*	*PM10*[5] *(t)*	*Mért érték (t)*
1997. 03.14-31.	59,95	51,03	8,93	0,07	48,9
1998. 02. 15.	16,25	13,93	2,33	0,019	14,61
1998. 02. 17.	26,53	22,68	3,85	0,03	49,03
1998. 03. 06.	15,89	13,59	2,30	0,02	12,05
1998. 03. 13-17.	24,01	20,57	3,44	0,03	16,1
1998. 04.09-20.	17,83	15,14	2,69	0,02	8,75
1998. 10. 14-27.	14,16	12,08	2,09	0,01	19,76
1999. 03.24-28.	31,60	26,87	4,72	0,04	14,42

A terepi vizsgálatok során mért értékeket és a szaltációs hordalékszállítás WEPS Erosion által becsült értékeit (táblázat kiemelt oszlopai) összevetve és korrelációszámítást végezve kaptuk a kapcsolat szorosságát jelző 0,7-es értéket. A program az esetek nagyobb részében túlbecsülte az erózió értékét, és ez a kalibráció konklúziójával részben ellentétes folyamatot mutat. Ennek okát természetesen ebben az esetben is további mérésekkel lehet kideríteni, bár az időjárási adatbázis felépítésénél már előzetesen jeleztem, hogy részletes széladatokat csak a szegedi állomásra kaptunk, amelynek távolsága 30 km a mérési parcellától és ez a tény hibatényezőként jöhet szóba. Az érzékenységi vizsgálatból pedig nagyon karakteresen látszik, hogy a szélparaméterek (6.6 sz.) változására rendkívül érzékeny a WEPS Erosion program.

A WEPS európai referenciájaként röviden elemzem FUNK, R. és kollégái 2002-es tanulmányban közzétett németországi teszteredményeit. Két terepi széleróziós eszköz mérései, melyek leírása többek között Goossens, D. és kollégái (2000) tanulmányában megtalálható,

valamint WEPS Erosion becslések alapján a 6.6 táblázatban közölt eredményeket kapták. A mért és becsült adatsorok statisztikai vizsgálata mindkét esetben R^2-re 0,9-nél jobb értéket adott a szerzők szerint. Az eredményekből azonban az a következtetés vonható le, hogy az eltérések – néhány esetet kivéve – nem haladják meg a 20 %-os különbséget, de a WEPS-re vonatkozó egyértelmű alá-, vagy fölé becslési tendencia nem állapítható meg.

6.6 táblázat Mért (Sustra, MWAC-Bostra) és becsült (WEPS) eróziós értékek 21 észlelési időpontban (FUNK, R. és kollégái, 2002 alapján)

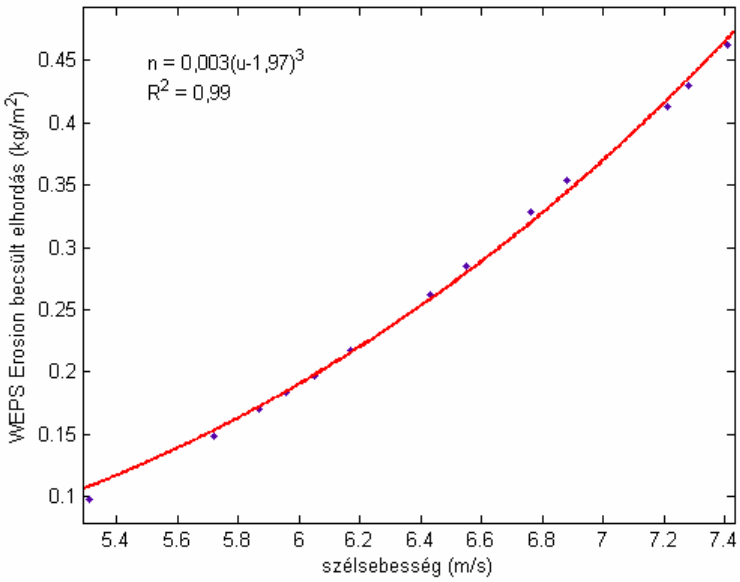
Észlelés időpontja	SUSTRA (kg/m)	BOSTRA (kg/m)	WEPS (kg/m)
14/04/92	33.8	44.7	27.9
21/04/92	936.4	714.9	860
04/05/92	7.3	8.8	6.8
12/05/92	7.5	23.9	29
15/05/92	1.85	7.3	8.7
18/05/92	54.6	43.3	50.5
27/05/92	31.5	52.6	42
05/06/92	101.2	190.2	151
10/06/92	27.9	52.5	45
29/07/92	274.1	254.5	225
08/04/93	7.77	6.5	7.8
20/04/93	50.3	126.2	101
23/04/93	22.6	18.2	24.4
26/04/93	39.9	29.6	57.3
30/04/93	36.4	45.6	30.9
10/05/93	46.6	48.6	44.6
12/05/93	25.5	22.4	32.5
02/06/93	15.5	22.9	28.4
16/06/93	11.7	25.8	43.6
08/07/93	289.1	449.1	292
27/07/93	31.3	37.6	56.2

Érdemes megfigyelni, hogy a turbulens-diffúziós hordalékszállításra (porolgás) a program az összes erózió érték hozzávetőlegesen 15%-át becsülte és ez összhangban van KARÁCSONY J. (1992) ÉS MOHAMMAD D. (1991) megállapításaival, akik kísérleteikkel rámutattak, hogy a teljes széleróziós tömegtranszportban, egy természetes széleróziós folyamat esetében, a por részarányát általában 10-20 %-nak tekinthetjük. Ezt a konklúziót a 7. fejezetben, egy széleróziós esemény és a települési porterhelés kapcsolatának bemutatásakor még felhasználom.

6.2.2.6 Szimuláció

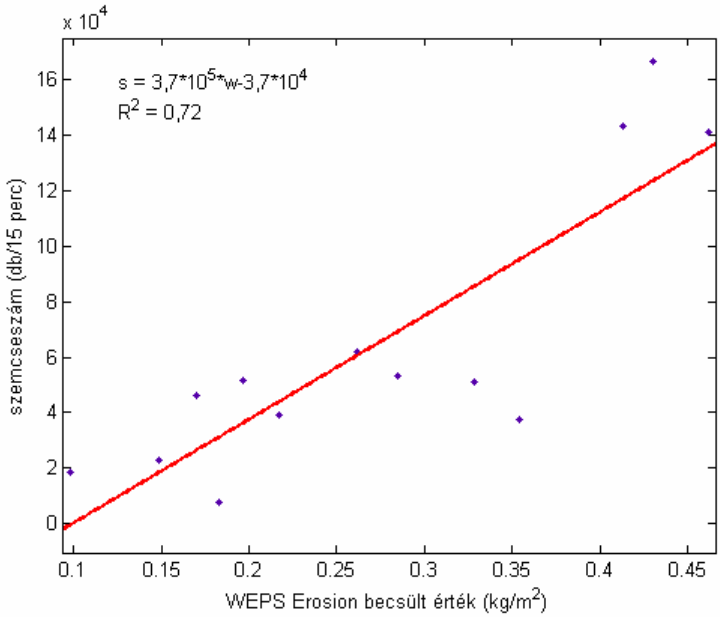
Végezetül lefuttattam egy szimulációt a 2004. márciusi eseményre, amelyhez a bemenő paramétereket az előző fejezetben részletezett mérőállomás szolgáltatta, tehát részletes szélsebesség- és talajnedvesség-, valamint laboratóriumban meghatározott szemcseösszetételértékek álltak rendelkezésemre.

A 6.4 ábra alapján egyértelműen látszik a szélsebesség és az erodált hordalékmennyiség közötti harmadfokú függvénykapcsolat, azaz a WEPS Erosion szubmodell a vegetáció nélküli, száraz talajállapotú, uralkodóan középszemű szemcsékből álló homokfelszín esetén messze legfontosabb paraméterként a szélsebességet veszi figyelembe. A modellben az erózió értékének számításához a már Bagnold óta ismert, harmadfokú összefüggést alkalmazza.



6.4 ábra A kísérleti parcellán 2004. március 21-én mért széllökések 15 perces átlagai, valamint a WEPS Erosion modell által számított elhordási értékek kapcsolata a statisztikai mutatókkal

Az előző fejezetben már kitértem arra a tényre, hogy a mikrofonos szemcsebecsapódás detektáló műszerrel a mozgó hordalék anyagáramának, fluxusának mérésére, illetve a műszer ezen paraméterre történő kalibrálására tett szélcsatornás kísérletet több tanulmányban is találtam, de a terepi próbálkozások még ezeknél is gyengébb eredményeket mutatnak (BUTTERFIELD, G.R. 1999). Egy további lehetséges megközelítésként felmerülhet, hogy a kalibrált és validált, tehát a kapott hibahatárokkal és szakszerűen értelmezett statisztikai összefüggésekkel együtt elfogadott modell, ebben az esetben a WEPS Erosion szubmodell elhordási értékeit használjuk fel a mikrofonos műszer mennyiségi kalibrációjára. Erre utal a 6.5 ábra, amely alapján a 2004. márciusi eróziós esemény, illetve ennek adatbázisa alapján kapott elhordási értékek és a becsapódási szemcseszámok közötti kapcsolatot igyekeztem megtalálni. Miután a szélsebességgel mind a két változó erősen korrelált, így nem meglepő, hogy ebben az egy vizsgált esetben az ábrán látható lineáris illesztést (az egyenes paramétereit 95 %-os konfidenciaszinten értelmezve) a jónak mondható 0,72-es korrelációs tényezővel kaptam.



6.5 ábra A 2004. márciusi eróziós eseményre kapott elhordási értékek (*w*) és a becsapódási szemcseszámok (*s*) közötti kapcsolat

Hasonló eredményre (lineáris kapcsolat, 0,7 körüli korrelációval) jutott HAGEN, L.J. 2004-ben közölt tanulmányában is, bár a cél ott éppen fordított volt – WEPS Erosion elhordási értékek tesztelése terepi mérésekkel –, de a méréshez szemcsecsapdák mellett a Sensit nevű műszert is használta, amely a Saltiphone-hoz hasonlóan becsapódásokat detektál piezoelektromos elven.

Mindezek alapján meggyőződésem, hogy a jövő széleróziós terepi kutatásaiban a hagyományos "analóg" eszközök és modern elektromos műszerek mellett helyük van és még elfogadhatóbb eredményekre vezethetnek akár az empirikus, akár a determinisztikus modellek, amennyiben a kutatók megfelelő kritikával és szakértelemmel tudják és akarják ezeket alkalmazni.

7. Integrált szélerőziós geoinformatikai rendszer létrehozása és alkalmazása a Duna-Tisza közén

7.1 Műholdfelvételek klasszifikációja és interpretálása

A következőkben az eddigi kutatási eredmények és további geoinformatikai adatnyerési eljárások alapján egy integrált szélerőziós rendszer és a hozzátartozó adatbázis kiépítését mutatom be, melynek alkalmazásával kellő megalapozottsággal tudjuk a döntéshozók figyelmét felhívni a szélerózió mezőgazdasági károkozásán (MUCSI L.–SZATMÁRI J. 1998., SZATMÁRI J. 1999.) kívül az Alföld számos településén jelentkező súlyos környezet-egészségügyi problémára: a porszennyezettségre, amely az általunk vizsgált dél-alföldi településeken a legnagyobb mértékben haladja meg az immissziós határértékeket (MOTIKA G. 2006; RAKONCZAI J., et al. 2000a, 2000b, 2005; SZATMÁRI J. 2000).

Célul tűztük ki, hogy vizsgálatainkat regionálisan kiterjesszük a Duna-Tisza közére, azonban ekkora kiterjedésű felszínről folyamatosan adatokat nyerni terepi munkával, illetve légifényképek alkalmazásával szinte lehetetlen. Nagyobb területek környezeti állapotváltozás-vizsgálatához a műholdképek interpretálása látszott a legcélravezetőbbnek (SMARA, Y. et al 1995). Az elemzéseket 1997-es és 2000-es LANDSAT TM5 multispektrális műholdfelvételek alapján végeztük el.

A Normalizált Vegetációs Index (NDVI) az általánosan és leggyakrabban használt hányados index a nettó biomassza produkció becslésének módszerei közül. Felhasználtuk továbbá a Landsat5 TM sávokra kidolgozott ortogonális Soil Wetness Index (SWI) adta értékelési lehetőségeket a talajnedvesség-állapotra vonatkozóan (CRIST, E.P. et al. 1986; MUCSI L. 1993):

$$SWI = 0.1509(TM1) + 0.1973(TM2) + 0.3279(TM3) + 0.3406(TM4) \ -0.7112(TM5) - 0.4572(TM7)$$

Az 1997. április 14-én és 2000. április 22-én, a Duna-Tisza közéről készült Landsat5 TM műholdfelvételek kiértékeléséhez a Kiskunmajsa-Kistelek közötti mintaterületről, mint tanulóterületről gyűjtöttük be a terepi adatokat (ld. 6.1 fejezet, 6.1 táblázat és 7.1 táblázat).

A 7.2 táblázatban összegeztem a statisztikai kapcsolatot (lineáris regresszió) a mintaterületre meghatározott terepi felmérések (felszín-borítottság), műholdadatok (SWI, NDVI), valamint modellből számított eróziós értékek között (DE JONG S.M. 1994).

7.1 táblázat A mintavételi pontokban 2000. március 26. és április 12. között mért és számított, a 6.1 táblázatban már közölt értékek (*), kiegészítve az NDVI és SWI paraméterekkel, melyek forrása: LANDSAT5 TM 1997. április 14-én készült műholdfelvétel(**)

Felszínborítás típusa*	Felszín-borítottság* (%)	Talajminta sorszáma*	SWI**	NDVI**	RWEQ erózió (t/2500 m^2)
erdő	100	M11	-14.98	0.36	0
	15	M26	-48.10	0.25	53
gabona	75	M27	-41.52	0.37	2
	70	M8	-37.98	0.30	3
	50	M10	-1.65	0.63	8
	50	M30	-30.71	0.37	5
	47	M29	-37.25	0.37	9
	45	M5	-19.28	0.48	15
	37	M32	-19.77	0.51	15
	35	M34	-26.14	0.43	16
	30	M1	-32.4	0.29	21
	25	M24	-27.15	0.47	34
	25	M25	-61.17	0.11	27
	23	M15	-43.63	0.21	35
	17	M36	-55.30	0.21	47
	16	M19	-34.62	0.31	75
	13	M16	-31.38	0.32	67
gyümölcsös	2	M14	-56.47	0.13	173
	0	M17	-58.83	0.08	241
nádas	100	M7	-21.91	0.14	0
parlag	75	M23	-39.62	0.31	2
	50	M31	-39.07	0.18	8
rét	70	M35	-14.22	0.52	3
	50	M28	-29.89	0.41	5
	7	M3	-60.39	0.11	91
semlyék	100	M18	-30.73	0.36	0
	100	M22	-27.81	0.33	0
szántás (vetetlen)	4	M12	-46.12	0.16	138
	2	M2	-60.3	0.13	150
	3	M6	-20.72	0.47	161
	1	M20	-59.06	0.21	142
	0	M33	-64.68	0.13	197
szőlő	90	M4	-58.08	0.08	1
	50	M21	-46.37	0.18	8

A legerősebb negatív korreláció az elhordási értékek és a felszínborítottság között adódott (-0,77), azaz a teljes homokhátsági területre a legjobb eredményeket akkor kaphatnánk, ha rendelkeznénk az aktuális borítottsági adatokkal. Ez nyilvánvalóan lehetetlen, mert még a legjobb felbontású műholdképek alapján sem határozható meg ez a paraméter a szükséges részletezettséggel, hiszen a modell számára százalékban, de borítottság/területegység

(m^2/ m^2) felbontásban kell megadni. Ekkora kiterjedésű területre a paraméter terepi felvételezése ugyancsak kizárható.

7.2 táblázat A mintaterületre mért és számított paraméterek közötti korrelációs együtthatók

	RWEQ erózió (t/ha)	SWI	NDVI
Felszín-borítottság (%)	-0,77	0,27	0,27
NDVI	-0,45	0,86	
SWI	-0,54		

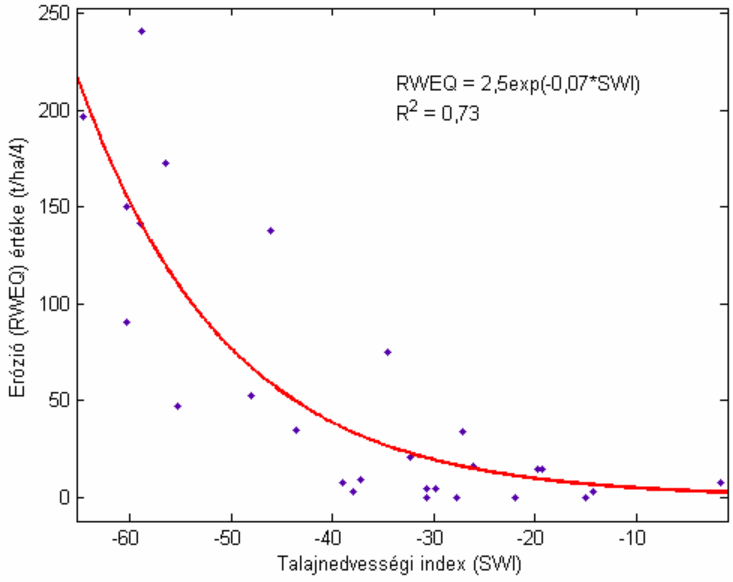
A talajnedvességi index és az eróziós érték közötti -0,54-es korreláció közepes erősségű kapcsolatra utal, de figyelembe véve, hogy a vegetációs index-szel még gyengébb a kapcsolat, így a teljes terület szélerózió veszélyeztetettségi-térképének előállításához szükséges osztályozási művelethez alapadatként az SWI értékeket vettem figyelembe.

Érdekességként megfigyelhetjük, hogy az NDVI (TM3-4 sávokból képzett hányados) és SWI (TM1-5,7 sávok lineáris kombinációja) értékek között erős pozitív korreláció adódott, azaz a két egymástól nem független, de alapvetően eltérő algoritmus alapján számított adatsor között a várt szoros kapcsolat beigazolódott.

A SWI és RWEQ értékek között a lineáris kapcsolatnál lényegesen jobb eredményt adott a következő exponenciális függvénnyel történt illesztés:

$$RWEQ = 2{,}5e^{-0{,}07\,SWI} \qquad (1)$$

amelyre a korrelációs index: $R^2=0{,}73$ és az együtthatók 95 %-os konfidencia intervallumban értelmezettek (7.1 ábra).



7.1 ábra A talajnedvességi index és az eróziós érték kapcsolata

Az (1) egyenlet felhasználásával a teljes vizsgált területen előforduló SWI intervallumra: [-120, 60] számíthatjuk a közelítő eróziós elhordási értékeket (7.3 táblázat). A -60-nál kisebb SWI-ekre természetesen csak nagyon óvatosan alkalmazható az összefüggés, hiszen extrapolálni kell a [-120, -60] intervallumra, ahová a függvény már extrém nagy elhordási értékeket becsül. A számításoknál (7.5 táblázat) ezekre a SWI-ekre alsó becslésként az ismert, SWI = -60-hoz tartozó RWEQ = 167 t/2500 m^2 értéket vettem figyelembe.

7.3 táblázat Az erózió becsült értéke a talajnedvességi indexből (1) összefüggés alkalmazásával

SWI	-120	-110	-100	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30
RWEQ(t/ha/4)	11118	5521	2742	1361	676	336	167	83	41	20	10	5	3	1	1	0

A homokhátsági, közel 6500 km^2-es terület SWI értékei szélesebb intervallumban szóródtak [-120, 30], mint a mintaterületre kapottak [-65, 0], amely tény a két terület részben eltérő talajával és így a reflektancia-különbségekkel magyarázható. A homokhátság középső területein lényegesen nagyobb összefüggő, szárazabb és világosabb futóhomokos felszínek alakultak ki a felvételezés időpontjában, mint a hátság keleti peremén, ahol a minta(tanuló)terület elhelyezkedik és amelynek területén az SWI klasszifikációhoz alkalmazott 5x5 pixeles (kb. 150x150 m-es) egységeken belül gyakran váltakozik a futóhomok a sötétebb, humuszosabb vályogos- és réti talajokkal.

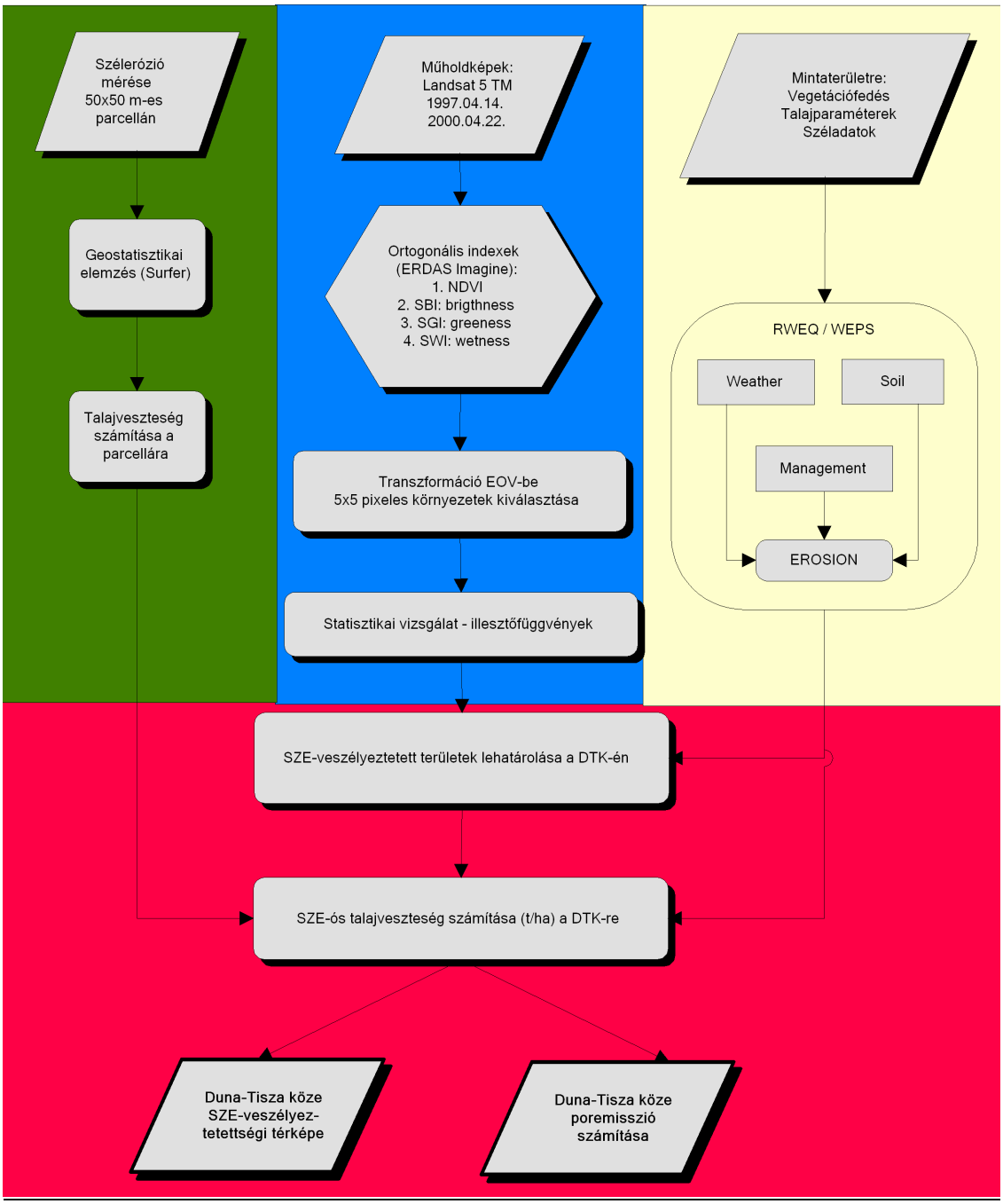
7.2 Integrált széleróziós geoinformatikai rendszer

A 4-6. fejezetekben részletezett terepi mérési módszereket, ezek eredményeit, a vizsgált modelleket és ezek kimeneteit, valamint a távérzékelt adatok interpretációjával nyert tematikus térképi rétegeket integráltam egy komplex rendszerbe (7.2 ábra), amely eszközeit illetően különböző geoinformatikai eljárások összekapcsolása, bár összességében nem egy valódi, széleróziós program, sokkal inkább program csomag.

A Duna-Tisza közén kijelölt mintaterületen 1995-2000-ben terepi széleróziós méréseket végeztünk és a mérési eredmények egyrészt geostatisztikai feldolgozásával kvantitatív deflációs értékeket kaptam, másrészt az RWEQ modellből (amely a 2.1.6 fejezet értelmében ugyancsak geoinformatikai eszköznek fogható fel) a terepi mérésekkel nem vizsgált felszínekre becsült eróziós értékeket generáltam.

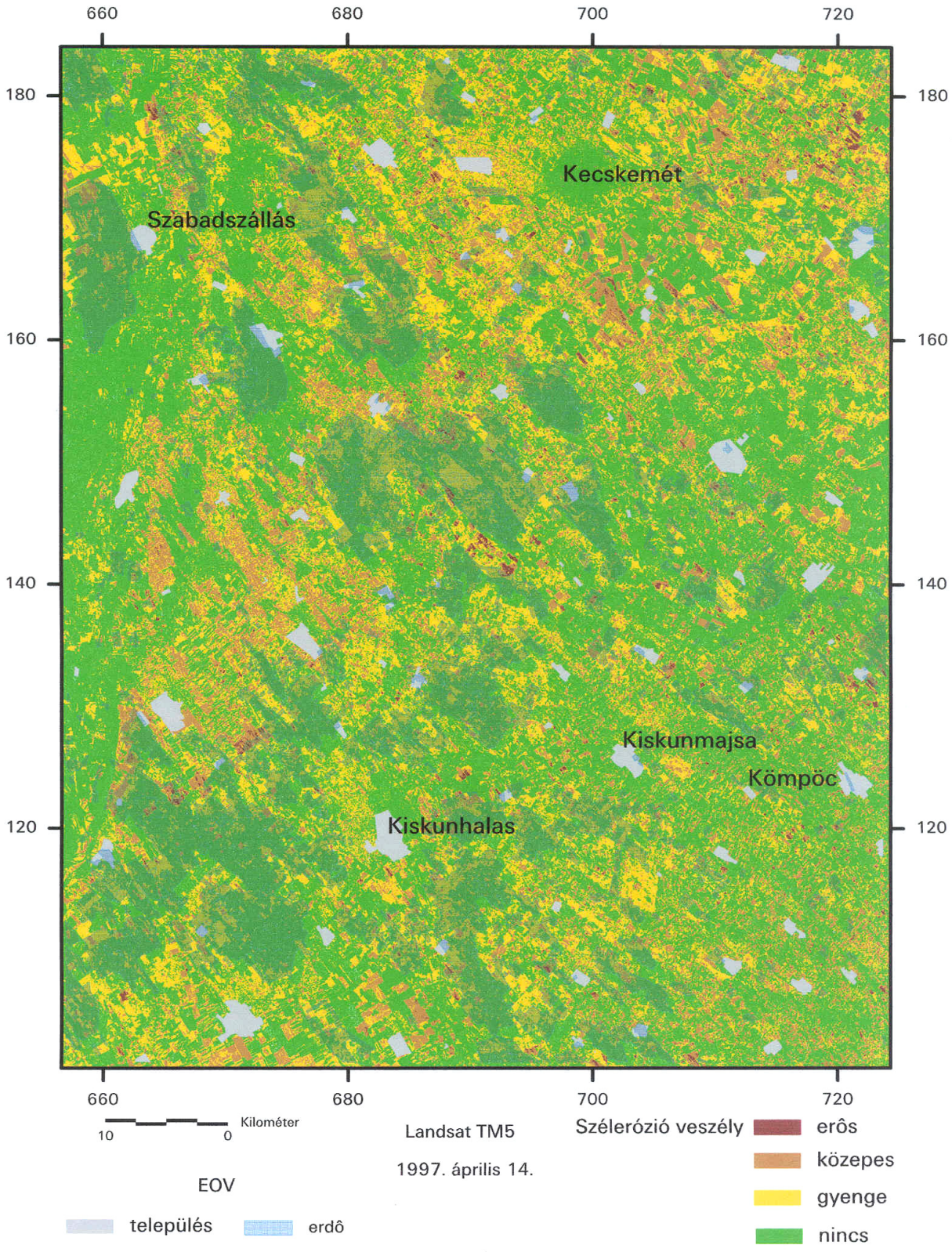
A 2002-2004-ben kiépített és alkalmazott terepi mobil széleróziós állomással kalibráltam a WEPS Erosion széleróziós szubmodellt, amelyből a különböző felszíntípusokra számított poremisszió átlagértékeit használtam fel.

További, elsősorban raszteres geoinformatikai eljárásokkal, távérzékelt felvételek[11] alapján szélerózió-veszélyeztetettségi térképet szerkesztettem a Duna-Tisza közére (7.3 ábra). Végezetül a teljes vizsgált területről a magasabb légrétegekbe távozott por és PM10 mennyiségre adtam egy közelítő becslést.



7.2 ábra Komplex geoinformatikai rendszerbe integrált széleróziós mérési módszerek

[11] Eurimage S. p. A. Landsat Club 25; ESA



7.3 ábra A Duna-Tisza közi homokhátság 1997. április 14-re vonatkozó aktuális szélerózió-veszélyeztetettségi térképe Landsat5 TM műholdkép felhasználásával, RWEQ szélerózió modellből becsült adatok alapján

7.3 Szélerózió-veszélyeztetettség értékelése a Duna-Tisza közén

A vizsgált terület „Magyarország potenciális széleróziós térképe” (LÓKI J. 2003) alapján 99 %-ban a veszélyeztetett kategóriába tartozik, ezen belül a „nagyon erősen veszélyeztetett kategória” összterülete meghaladja az 50 %-ot.

A 7. fejezet végén kitértem arra, hogy a talajnedvességi index értékek intervalluma bővebb a DTK-i teljes vizsgált területre, mint a majsai tanulóterületre, és ezen értékek közül főként a minimumok kritikusak, hiszen extrém alacsony SWI-re szélsőségesen nagy elhordási értékeket kapunk az alkalmazott (1) függvényből. További problémát jelent ezzel kapcsolatban a veszélyeztetettségi osztályok meghatározása, hiszen a mintaterületen az elhordási értékek és statisztikai vizsgálat (7.2 ábra) alapján [-60, -45] SWI-hez tartozó területeket fokozottan, a [-45, -25] SWI-hez közepesen, míg a [-25, 0] SWI-hez gyengén veszélyeztetettnek minősíthetjük.

A teljes kiértékelt területre vonatkozóan azonban az intervallumhatárokat negatív irányba jelentősen eltoltam (7.3-4 táblázat). Így viszont LÓKI J. (2003) potenciális veszélyeztetettségi kategóriáinál enyhébb beosztást kaptam. Az optimális megoldást a DTK-én további eróziós mérésekkel, számos tanulóterületen az eljárás futtatásával és alapvetően a talajnedvességi index kalibrálásával lehet megtalálni.

A talajnedvességi index (SWI) értékekből a parcellás mérési eredményeinket tükröző következtetéseket vonhatunk le a két tavaszi időszakra (1997. április 14., 2000. április 22.). Az 1997-es év áprilisa csapadékszegény időszak volt, erős széllökések sorozatosan jelentkeztek és ekkor mértük a 6 éves mérési időszak legnagyobb eróziós értékét a kontroll parcellán (kb. 900 t/ha/hó).

A távérzékeléssel vizsgált Duna-Tisza közi területen az osztályozás alapján a veszélyeztetett összes terület meghaladta a 40 %-ot, amelyből 9 % közepesen, illetve erősen kiszolgáltatott volt a széleróziós tevékenységnek (7.3 ábra, 7.3 táblázat.). Az RWEQ modell a fedetlen, száraz homokfelszínekre (közepes és erős veszély) ebben a hónapban átlagosan 640 t/ha deflációt becsült, míg a gyengén veszélyeztetett területekre átlagosan 150 t/ha-t kaptunk.

A 2000. áprilisi adatok fokozottan veszélynek kitett felszínekre 2 %-nak, míg a gyenge osztály 17 %-nak adódott (7.4 táblázat).

7.3 táblázat Szélerózió-veszélyeztetettség értékelése 1997. április 14-én készült Landsat5 TM felvétel osztályozása alapján

SWI	veszély	pixel (30 m / db.)	terület (km^2)	rész (%)
(-120, -80)	erősen	23062	20,8	**0,32**
(-80, -60)	közepesen	595336	535,8	**8,34**
(-60, -20)	gyengén	2528430	2275,6	**35,41**
(-20, 60)	nincs	3966697	3570,0	**55,54**
osztályozatlan		27895	25,1	**0,39**
Összesen		7141420	6427,3	**100,00**

7.4 táblázat Szélerózió-veszélyeztetettség értékelése 2000. április 22-én készült Landsat5 TM felvétel osztályozása alapján

SWI	veszély	pixel (30 m / db.)	terület (km^2)	rész (%)
(-120, -80)	erősen	270	0,2	**0,00**
(-80, -60)	közepesen	138920	125,0	**1,95**
(-60, -20)	gyengén	1232837	1109,6	**17,26**
(-20, 60)	nincs	5690499	5121,4	**79,68**
osztályozatlan		78894	71,0	**1,10**
Összesen		7141420	6427,3	**100,00**

7.5 táblázat Szél által mozgatott homokmennyiség a Duna-Tisza közi vizsgálati területen 1997. áprilisban Landsat5 TM felvétel osztályozása és RWEQ modellbecslés alapján

veszély	terület (km^2)	rész (%)	Erózió (E tonna)
fokozottan	21	0,3	35620
közepesen	536	8,3	
gyengén	2276	35,4	34134
Összesen	2833	44	69754

Amennyiben ezeket az értékeket legalább nagyságrendileg valóság közelinek fogadjuk el, akkor 1997. áprilisában a vizsgált Duna-Tisza közi területen összesen kb. 70 millió tonna homok mozdulhatott meg a felszínen (7.5 táblázat). A 7.4 táblázat adatai alapján látható, hogy 2000. áprilisban ugyanilyen erősségű szeleket feltételezve a mozgatott homokmennyiség 70-80 %-kal kevesebb lett volna a nagyobb felszíni nedvességi értékek miatt, de ebben az időszakban nem volt számottevő széltevékenység, mint azt a parcellás mérési eredmények bemutatásánál is jeleztem.

7. 4 Települési porszennyezettség és a szélerózió kapcsolata

7.4.1 A poremisszió mértékének becslése

Pornak nevezzük azokat a szemcséket (KARÁCSONY J. 1992), amelyek szedimentációs sebessége a talajközeli szélviszonyokból származó átlagos feláramlási sebességgel közelítőleg megegyezik, vagy annál kisebb. KARÁCSONY J. (1992) és MOHAMMAD D. (1991) kísérleteikkel rámutattak, hogy a teljes széleróziós tömegtranszportban, egy természetes széleróziós folyamat esetében, a por részarányát általában 10-20 %-nak tekinthetjük.

Az előbbi megállapítást a por részarányára vonatkozóan a WEPS modell eróziós kimeneti állománya is alátámasztja. A 6. fejezetben közölt teszteredmények alapján a 7.6 táblázatban foglaltam össze a vizsgált mérési időszakokra vonatkozó, a negyed hektáros parcelláról származó teljes elhordási értékekhez viszonyítva a becsült poremisszió nagyságát és arányát. A százalékos értékek átlaga alapján valószínűsíthetjük, hogy a kapott 15 % körüli érték lehet jellemző a Duna-Tisza köze egészét tekintve is, bár ennek bizonyításához – a veszélyeztetettségi kategóriák validálásához hasonlóan – nagyszámú mérésre és modellszámításra van szükség.

7.6 táblázat A kömpöci kísérleti parcellára a WEPS Erosion által becsült teljes eróziós elhordási értékek és kifújt por tömege (tonnában), valamint a por részaránya (%)

Mérési / szimulációs időszak	teljes (t)	por (t)	részarány (%)
1997. 03.14-31.	60,0	9,0	15,0
1997.04.04	22,6	3,2	14,1
1997.04.05	12,6	1,7	13,8
1997.04.06	58,9	9,4	16,0
1997.04.07	17,4	2,6	14,9
1997.04.08	14,6	2,4	16,4
1997.04.10	1,1	0,2	17,1
1997.04.11	34,9	5,8	16,6
1997.04.12	21,2	3,1	14,5
1997.04.13	6,6	1,0	15,5
1997.04.14	1,0	0,2	20,2
1997.04.16	2,2	0,4	17,6
1997.04.17	21,4	3,3	15,3
1997.04.18	20,0	2,9	14,3
1997.04.19	5,6	0,8	14,6
1998.02.15	16,3	2,3	14,5
1998.02.17	26,5	3,9	14,6
1998.03.06	15,9	2,3	14,6
1998. 03. 13-17.	24,0	3,5	14,5
1998. 04.09-20.	17,8	2,7	15,2
1998. 10. 14-27.	14,2	2,1	14,8
1999. 03.24-28.	31,6	4,8	15,1
Átlag			14,8

A fenti meggondolások alapján, a vizsgált időszakban (1997. április, 7.5 táblázat) becslésünk szerint 10-11 millió tonna por kerülhetett a légkörbe, vagyis az általában alkalmazott 1 ha-os területegységre számítva 15 t/ha poremissziót jelentett erre az egyhavi, igen élénk szeles periódusra. Összehasonlításképpen GROSS, J. et al. (2004) tanulmányukban beszámolnak egy 11 órás időtartamú terepi mérésről, amikor a szélsebesség folyamatosan 9 m/s átlagérték körül volt, azaz meghaladta az indítási küszöbsebességet és ebben az időszakban a poremissziót 2,3 t/ha körülinek bizonyult.

A por leggyakrabban előforduló „off-site" hatásait és ezek hatásterületeit RIKSEN, M. (2004) alapján az alábbi 7.7 táblázatban foglaltam össze. A 2.1.4 fejezetben bemutatott, az USA-ra vonatkozó kárérték-számítások alapján (2.1 táblázat) becsülhetjük, hogy a folyamatok közül melyik, mekkora súllyal szerepel a teljes károkozási értékben: az élőlények egészségkárosodásával kapcsolatos (4-5) folyamatok arányát 50 %-nál is nagyobbra becsülik, az (1) és (7) folyamatok együttesen közel 30 %-kal, míg az infrastruktúra, valamint a lakossági életterek védelme és rehabilitációja megközelítőleg 10 %-kal szerepelnek.

7.7 táblázat A por ismert off-site hatásai (RIKSEN, M. 2004 alapján)

Off-site folyamat	*Károkozás típusa*	*Hatásterület*
(1) Akkumuláció a csatornákban, árkokban és felszíni vizekben	Öntözőrendszerek eltömítése, elszennyezése, fokozódó eutrofikáció	Lokális - regionális
(2) Szemcsetranszport és akkumuláció az utakon és lakóházak környékén	Közlekedési balesetek a csökkent látótávolság miatt, útakadályok; szennyeződés a kertekben és lakásokban	Lokális - regionális
(3) Behatolás gépekbe, berendezésekbe	Alkatrészek fokozódó kopása	Parcella - regionális
(4) Porszemcsék és egyéb alkotórészek behatolása az élőlények tüdejébe	Tüdőbetegségek és más légzési problémák	Regionális
(5) Porszemcsék abszorbciója a növényi és állati szervezetekben	Káros hatás a növények, állatok egészségére; mérgek bekerülése a táplálékláncba	Regionális
(6) Kiülepedés a mezőgazdasági és ipari termékeken	Minőségromlás	Regionális
(7) Por és a kapcsolódó kemikáliák kiülepedése a védett természeti területeken és objektumokon	Szennyezés és fokozódó eutrofikáció	Regionális
(8) Légkör összetételének megváltozása	Klíma változása	Regionális - globális

Az atmoszférában egyre növekvő mennyiségű és fokozódó közegészségügyi problémát jelentő porszennyezéssel foglakozó tudományos publikációk – melyeket többek között RIKSEN, M. (2004), valamint GOOSSENS, D. (2004b) foglaltak össze – egyre hosszabban sorolják a potenciálisan fellépő betegségeket: szembántalmak, bőr irritáció, nehézlégzés és egyéb

légzőszervi rendellenességek, mint pl. asztma, stb. Az ember légzőszervi traktusai a 10 mikronnál nagyobb szemcséket hatékonyan ki tudják szűrni, így ezek általában nem jutnak be a belső szervekbe, viszont a szűrés hatékonysága a szemcseméretttel együtt csökken. A legújabb orvosi kutatások a PM2,5-öt (2,5 mikronnál kisebb szemcsék) teszik felelőssé számos szív- és érrendszeri megbetegedésért. Epidemiológiai kutatások bizonyítják, hogy a PM10 10 $\mu g/m^3$-es koncentráció-növekedése az idő előtti elhalálozásban 0,5-1,5 %-os növekedést okoz, amennyiben az emberi szervezet csak időszakosan kerül kapcsolatba a porszennyezéssel és akár 5 %-os is lehet az elhalálozási arány növekedése olyan helyeken, ahol folyamatosan szennyezett a levegő. A tanulmányban idézett nyugat-európai kutatók számos esetben tapasztaltak akut légzési problémákat a jelenetős kiporlási időszakokban és a legalább egy órán át folyamatosan magas, 150 $\mu g/m^3$-es PM10 koncentrációnál húzzák meg a veszélyességi határt.

7.4.2 A települési porterhelés mérésének rövid áttekintése

Az előző fejezetben a Duna-Tisza közére egy átlagosnál szelesebb, száraz tavaszi hónapra becsült pormennyiség a közvetlen és távolabbi környezetben, az utakon, településeken súlyos levegőminőségi és egyéb problémákat okozott. A por legnagyobb és legveszélyesebb károkozása, mint azt az ismert adatok alapján feltételezhetjük, az élőlények egészségére gyakorolt negatív hatás, ezért a következőkben megvizsgálom, hogy milyen levegőminőségi monitoring rendszer működik a Duna-Tisza köze nagyobb településein.

A levegőminőség meghatározását 2002 előtt elsősorban az ÁNTSZ megyei intézetei által működtetett Regionális Immisszió Vizsgáló (RIV) hálózat végezte, majd 2002 februártól a Környezetvédelmi Felügyelőségekhez[12] került a teljes mérőhálózat, melynek fő részterületei:

- RIV mérőhálózat (off-line): a mintavétel a szálló por esetében nagy teljesítményű pormintavevővel, ülepedő por esetében gyűjtőedényes eljárással történik. Minden szennyező anyagot mintavétel és laboratóriumba szállítás után, ún. kézi módszerekkel analizálnak.
- Automata monitorhálózat (on-line, off-line): feladata a mérési eredmények folyamatos nyomonkövetése, on-line üzemmódban az azonnali adatszolgáltatás és a lakosság valós idejű tájékoztatása.

Csongrád megyében 2002 előtt 41 levegőmintavételi helyen folytak immissziós mérések, ebből 14 pont Szegeden volt megtalálható, valamint 3-3 helyen vettek mintát

[12] http://www.kvvm.hu/olm/index.php

Ásotthalmon, Csongrádon, Hódmezővásárhelyen, Kisteleken, Makón, Maroslelén, Szentesen, Székkutason és Zákányszéken. Bács-Kiskun megyében 1995-2001. I. negyedév közötti időszakban ülepedő por szennyezettséget 7 településen, összesen 22 RIV mérőhálózati helyen ellenőrizték, az alapadatok a mérőpontonkénti 30 napos szedimentum értékek. Szálló por mérés 1 településen, 1 mérőhelyen, általában havi 2 alkalommal 1-1 napon át történt (az alapadatok 24 órás mérési eredmények). Részletes poranalízist nem végeztek az intézetek, az ülepedő por mintákból a vízoldható fluorid koncentráció, a szálló por mintákból az ólom tartalom került meghatározásra (RAKONCZAI J., et al. 2000a, 2000b, 2005).

Az 1995-2001 évi, valamint a 2004-05 évi adatok alapján (7.4-6 ábra; M-12) a rendkívül magas szálló por értékek jelentős határérték-túllépéseket mutattak mindkét megye településein. Fokozottan igaz ez a nagyobb városokra (Szeged, Hódmezővásárhely, Csongrád) és a homokhátsági kistérség településeire (Ásotthalom). A szálló por 24 órás levegőminőségi határértéke 2001 előtt 100 $\mu g/m^3$ volt, majd a szabványok (és a mérési eljárások) változása után 50 $\mu g/m^3$-ben állapították meg (MOTIKA G., 2006), amelyet a vizsgált időszakban mért értékek nemegyszer többszörösen meghaladtak (7.6 ábra). Az ábra 2004-es grafikonján jelzett 140 $\mu g/m^3$ körüli éves PM10 koncentráció-maximumot éppen azon a napon mérte az állomás, amikor a 2004 márciusi, zsombói terepi mérést végeztük a széleróziós állomással, és ez a koncentráció már megközelíti a fentebb jelzett kritikus veszélyességi határt.

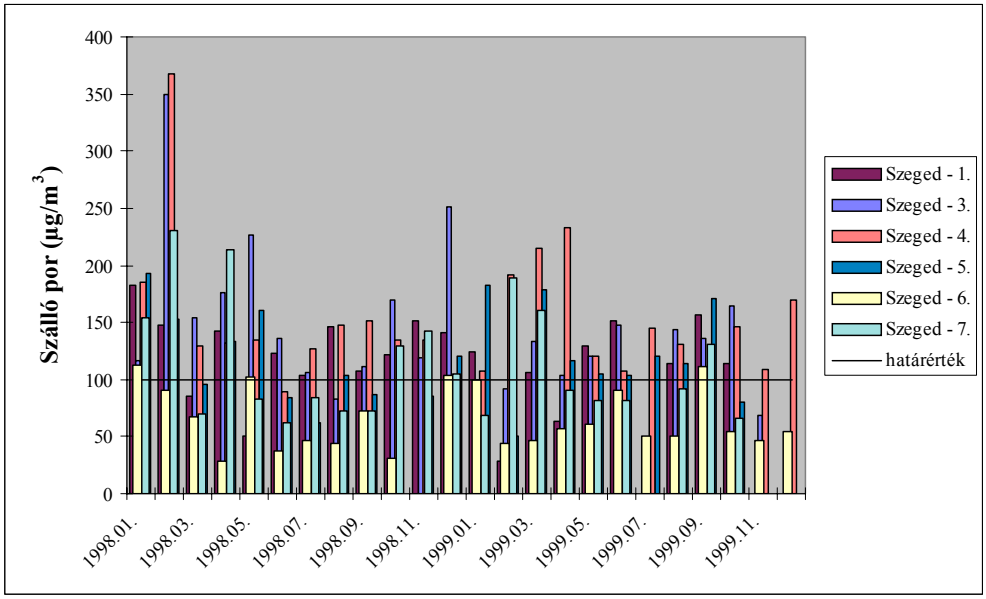
2005 február elején mért extrém érték valószínűleg mérési- vagy érzékelő hiba, de az éves tendencia így is mindkét grafikonról egyértelműen látszik: a folyamatosan jellemző magasabb és kiugróan magas egyedi értékek is a téli időszak végétől tavasz közepéig, a böjti szelekig tartanak, valamint az októberi, novemberi extrém értékek is évről-évre visszatérnek. Ez az eredmény összhangban van GOOSSENS, D. (2004b) megállapításaival, aki a vizsgálatait Alsó-Szászországban, Grönheim mezőgazdasági régiójában végezte.

Meg kell itt jegyeznem azt a makacsul visszatérő tapasztalatomat, hogy 2002 előtt az ÁNTSZ/RIV értékeléseit olvasva és újabban a felelős környezetvédelmi szervezetek jelentéseit tanulmányozva is a szálló por eredeteként csak elvétve találok említést a szélerózióról és mezőgazdasági talajművelési munkák során jelentkező kiporlásról. Az elemzésekben sokkal gyakrabban említik a közlekedést, a fűtést és egyéb lakossági és ipari tevékenységeket a szálló por eredeteként, pedig ezek sokkal inkább katalizátorként szerepelnek folyamatban. Nyilvánvaló, hogy a probléma kezelésében is sokkal lényegesebb a por eredetét kutatni és az emissziót a forrásánál kezelni, csökkenteni.

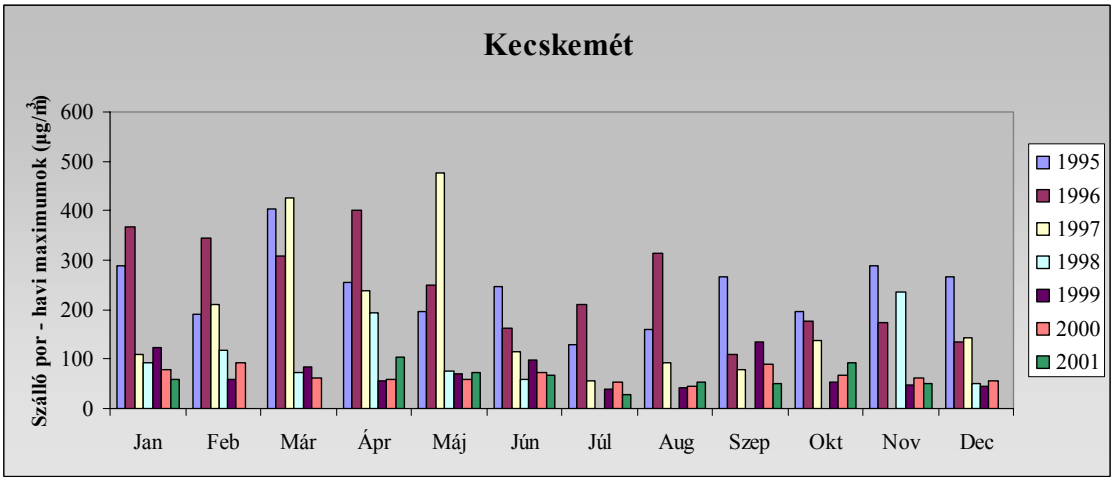
A 2002 előtti extrém magas szálló por értékek (7.4-5, 7.8 ábra) ebben a megközelítésben nem relevánsak, mert a mérési metódus egészen más volt, talán viszonyításnak a szab-

vány szerinti egészségügyi határértékeknél is meglévő kétszeres szorzó megfelelő lehet, tehát abban az időszakban a 300 µg/m^3-es, egyórás koncentráció jelenthette a veszélyességi határt. A mintavételi helyeken a vizsgált időszakokban a határérték körül, illetve fölötte alakultak a mérési eredmények, kiugró értékeket ugyancsak a tavaszi és őszi hónapokban tapasztalhattunk, köszönhetően elsődlegesen az ebben az időszakban fokozottan jelentkező szántóföldi kiporlásnak és a közúti forgalom tél végétől jellemző erősödésének.

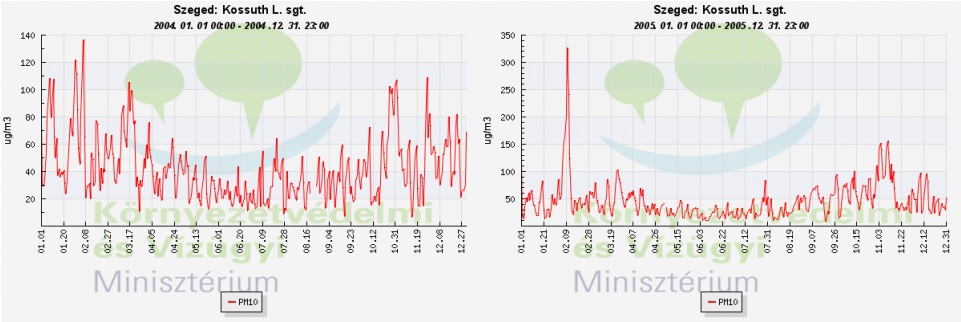
Az ülepedő por levegőminőségi határértéke 30 napra 16 g/m^2, amelyet a mért értékek – kivéve az 1997 tavaszi időszakot (7.7 ábra) – ritkán haladnak meg, de szinte minden városi mintavételi helyen a tavasz végi és a nyár közepi és augusztusi értékek megközelítenek. Ez a jelenség valószínűleg ezen időszakok kisebb csapadékmennyiségével van kapcsolatban.



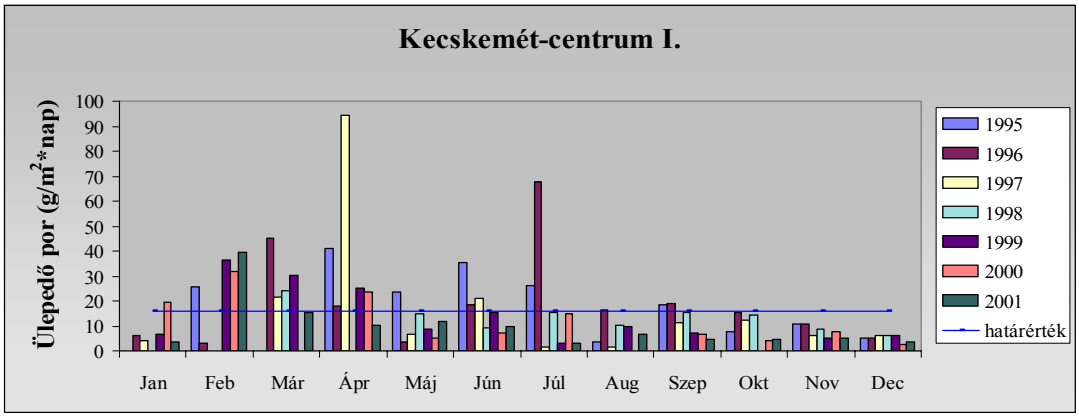
7. 4 ábra Szegeden 1998-99-ben mért 24 órás szálló por értékek havi összesítése az 1-7. mérési pontokon (adatok forrása: ÁNTSZ CSM-i Intézete)



7. 5 ábra Kecskeméten 1995-2001-ben mért 24 órás szálló por értékek havi összesítése (adatok forrása: ÁNTSZ Bács-Kiskun Megyei Intézete)



7. 6 *ábra* A szegedi automata mérőállomáson 2004 és 2005 évben mért 24 órás szálló por értékek (adatok forrása: Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat)



7. 7 ábra Kecskeméten 1995-2001-ben mért 24 órás ülepedő por értékek havi összesítése (adatok forrása: ÁNTSZ Bács-Kiskun Megyei Intézete)

7.4.3 A szálló por kapcsolata a széleróziós periódusokkal

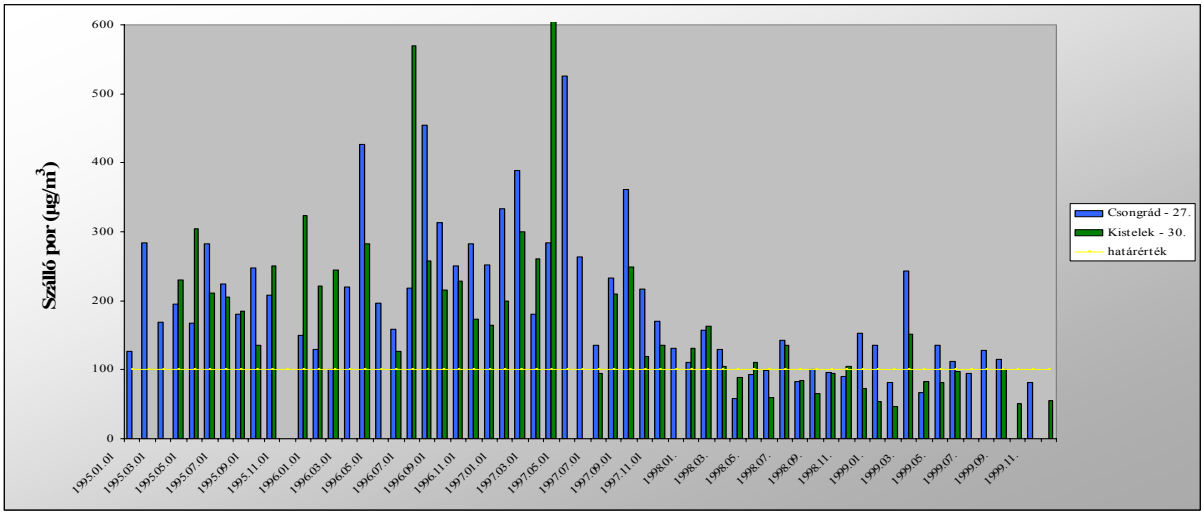
7.4.3.1 A Duna-Tisza közi adatok értékelése az 1997 tavaszi időszakra

Az 1997 áprilisi pusztító szél- és porvihart, a 4.5.1 fejezetben elemzett széleróziós tevékenységet uralkodóan ÉNY-i szelek okozták. Megfigyelhető a 7.5 és a 7.7, valamint a Függelékben mellékelt (M-12) további ábrák alapján, hogy kiskunsági homokhátság közvetlen közelében az ülepedő porterhelés március-április, de még május hónapokban is karakteresen az egészségügyi határérték fölé emelkedett, mégpedig az összes mérési ponton. Kecskemét centrumában és Baja ipari övben a határérték közel 6-szorosát mérték (90-95 g/m^2/nap)! Szálló port sajnos csak Kecskeméten mértek abban az időben, de az adatsorból és a 7.5 ábráról is látszik, hogy megemelkedett az 1997 március-május hónapokra a szálló por érték (a határérték 3-5-szörösére) és összesítésben a vizsgált éveket tekintve is a legmagasabb volt, de nem annyira szembeötlő az eltérés, mint a hátságtól DK-re elhelyezkedő Csongrád megyei mérőpontokon.

Szegeden és a környező településeken viszont az ülepedő por értékeinél nem mutatkozott jelentős, egyértelműen az 1997 tavaszi nagy szélviharokkal és széleróziós eseményekkel kapcsolatba hozható emelkedés. A szálló por értékeinél (7.8 ábra), viszont egyértelműen látszik az 1997 tavaszi maximum.

A két megye teljes vizsgált területére, 1997-re az összes elérhető porimmissziós adatot értékelve – és az értékeléshez további adat tudomásom szerint nem áll rendelkezésre – az a következtetés vonható le, hogy az uralkodó szél (ÉNY) haladási irányában, a kifújási területtől D-DK-re elhelyezkedő településeken a szálló por értékek extremitásai jelentkeznek (7.8 ábra), és a 7.4 ábra februári szegedi maximuma is valószínűleg ezt jelzi, hiszen a harmadik legerősebb szélesemény éppen az 1998 februári volt méréseink szerint (4.5 fejezet, 4.4 ábra). A kifújási területtől – vagyis a portömeg származási helyétől – inkább K-re, pl. Kecskeméten (7.7 ábra) és Kiskunfélegyházán (M-10), illetve inkább D-DNY-ra elhelyezkedő településeken, pl. Baján, Kalocsán (M-10) az ülepedő por kiugróan magas értékei a jellemzőek.

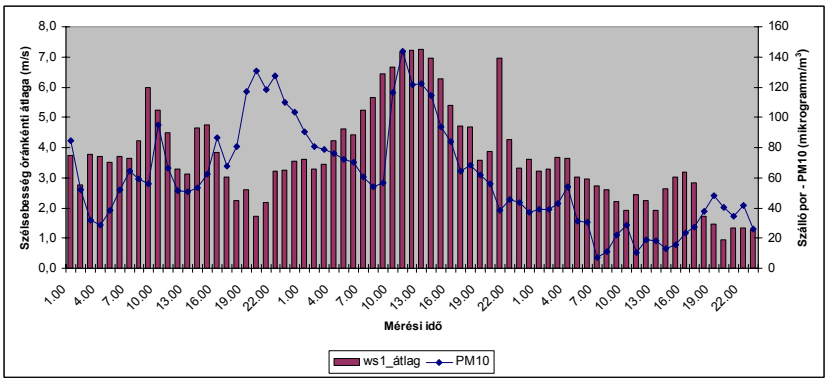
Ennek a ténynek a régió területi tervezői számára lehet kiemelt információértéke, mivel a települési véderdőkkel, melyek telepítése kiemelt fontosságú és ezt számos esetben jeleztük is a különböző környezeti programokban (RAKONCZAI J., et al. 2000a, 2000b, 2005; SZATMÁRI J., 2000), a szálló por ellen lehet hatékonyan védekezni, míg az ülepedő por anyagát csak a származási helyén történő védekezési eljárásokkal, pl. mezővédő erdősávok telepítésével (amelynek persze a teljes széleróziós folyamatra és poremisszió mértékére hatása van) lehet megfogni, vagy legalább a kibocsátás volumenét csökkenteni.



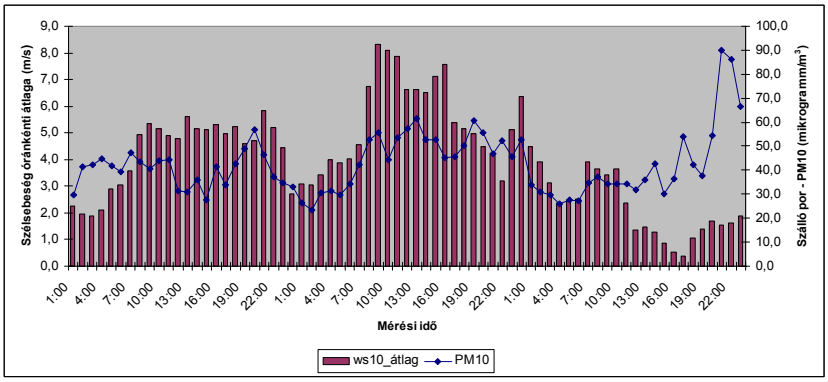
7.8 ábra A csongrádi és kisteleki mérési helyen 1995-99-ben mért szálló por értékek maximumainak havi összesítése adatok forrása: ÁNTSZ CSM-i Intézete)

7.4.3.2 A szegedi monitorállomás 2004 évi PM10 adatainak értékelése

A homokhátságon mérésekkel bizonyított eróziós napokra (5.3.1 fejezet), és ezen események során a WEPS modellel igazolt poremisszó tényéből kiindulva (6.2.2.6 fejezet) statisztikai kapcsolatot kerestem a szegedi PM10 mérések és a SZTE meteorológiai állomásán[13] mért széladatok között. Mindkét adatsorból órás átlagokat készítettem és az összehasonlításhoz a terepi mérések napjai mellett a szomszédos napok adatait is vizsgáltam március 20-22-re és április 18-20-ra (7.9-10 ábra).



7.9 ábra 2004. március 20-22. napokra az óránkénti szélsebesség átlagai és az órás PM10 értékek



7.10 ábra 2004. április 18-20. napokra az óránkénti szélsebességek átlagai és az órás PM10 értékek

Az ábrák alapján, az adatsorok többnyire hasonló viselkedéséből, a grafikonok lefutásából nem nagy merészség valamifajta kapcsolatra következtetni, bár alapvetően is azt gondoljuk, hogy a szél élénkülése és a porterhelés növekedése korrelál egymással. Ez így is van, kivéve azokat az eseteket, amikor pl. a szélvihar már eleve csapadékkal érkezik, vagy azokat a heti időszakokat, napszakokat, amikor viszont a természetes légmozgástól függetlenül a köz-

[13] http://www.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/

lekedés generálja a porszennyezést. Így igen összetett feladat egy hosszú adatsorban megtalálni a mért porimmissziós értékek emelkedésének valódi okait (MOTIKA G., 2006).

A két rövid, néhány napos időszakban, viszont egyértelműen ki lehet szűrni az okokat. Az órás maximális széllökéseket is figyelembe véve (M-13) mindkét időszakban a középső napon volt a legerősebb a széltevékenység és ezekben a napokban a terepi állomásunkon is jelentős homokmozgást tapasztaltunk, valamint ezzel együtt jelentős poremissziót becsültünk. Ez a folyamat a szegedi monitorállomás adataiban is egyértelműen látható, hiszen mindkét időszakban megemelkedett a PM10 regisztrált értéke. A 7.8 táblázatban a teljes PM10 és WS (szélsebesség átlag és maximum) adatsorokra korrelációt számítva a márciusi napokra gyenge, az áprilisira zérus közeli értéket kaptam, míg ha csak az élénk szeles középső napokat vettem be a számításba, akkor erős, 0,7-0,8 közötti kapcsolatot találtam. Érdekes megvizsgálni, hogy a márciusi 20-án délután és este jelentkező – a veszélyességi határt, 150 $\mu g/m^3$-t órákon keresztül közelítő – csúcsot mi okozhatta. Ez egy szombati nap volt, a mérőállomás pedig néhány száz méterre helyezkedik el a legnépszerűbb és legnagyobb szórakoztató és bevásárló központtól, a Szeged Plázától, ahová és ahonnan folyamatos kocsisorokban özönlenek ebben az időszakban a látogatók.

7.8 táblázat A 2004 márciusi és áprilisi mérési időszak széladatainak (WS_átlag és max) és a szálló por értékek (PM10) 3-3 napos adatsorainak korrelációs mutatói (Adatok forrása: SZTE meteorológiai állomás, Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat szegedi monitorállomása)

			WS_átlag	*WS_max*
PM10	Március	Teljes	0,47	0,46
		Redukált	0,77	0,75
	Április	Teljes	0,15	0,12
		Redukált	0,75	0,69

Összegezve a szélerózió és a PM10 összefüggéseinek feltárására irányuló méréseket, modellbecsléseket, statisztikai számításokat megállapítható, hogy egy rendkívül összetett és hatásában még nem kellően felismert veszélyességű rendszerről van szó, amelynek ok-okozati feltáró vizsgálata, a veszélyforrások lehetséges kezelési módszereinek tudományos megalapozottságú kidolgozása és már ezzel egy időben a védekezés kézenfekvő egyszerű lehetőségeinek alkalmazása (pl. forgalomkorlátozások kritikus helyeken és napokon, közutak locsolása szombaton a „Plázánál", stb.), vagy az uralkodó szélirányokban az évtizedek óta előírt, de végre nem hajtott fásítási programok elindítása halaszthatatlan, mert nem a távoli jövő generációi, hanem már közvetlenül saját gyermekeink számára tesszük lakhatatlanná és élhetetlenné környezetünket!

8. Összefoglalás

8.1 Az elért eredmények összefoglalása

A bevezető fejezetben megfogalmazott kérdésekre – a kutatómunka és az értekezés elkészítése során – kapott válaszokat az alábbi 6 pontban foglalom össze:

1. A kömpöci széleróziós kísérleti parcellán, mérőcölöpös mérési módszerrel, az 1995. június és 2000. május közötti időszakban egy jelentős homokmozgási periódust (1997. március-április) és több kisebb széleróziós eseményt észleltünk (pl. 1996 ősz és 1998 tavasz-ősz). A vizsgálatok során bebizonyosodott, hogy csak azok a deflációs, illetve akkumulációs értékek vehetők figyelembe, amelyek legalább 2-3 milliméteres, a mérőcölöpök mellett leolvasott felszínmagasság változásból származnak, valamint amelyek mozgatott anyagmennyiségre átszámolva legalább 30-45 t/ha-os homokmozgásokat jelentenek. Ehhez viszont erős széllökések, valamint ezzel egy időben növényzet által nem védett, száraz talajfelszín szükséges. Ez állapot egy-egy év során csak ritkán, illetve bizonyos években egyáltalán nem áll elő. A cölöpös mérési módszerrel, tehát a kisebb, de sokkal gyakrabban előforduló széleróziós események biztonsággal nem észlelhetők.
2. A terepen történő széleróziós mérésekhez fizikus szakember közreműködésével kifejlesztettünk és összeállítottunk egy hordozható, digitális adatrögzítésre alkalmas mérőállomást. A homokszemcsék becsapódásait akusztikus mikrofonokkal érzékelő és az analóg impulzusokat digitális jellé átalakító műszereket szélcsatornában és terepi körülmények között is teszteltük. Az érzékelőkkel, amelyek 1-3000 db szemcsebecsapódást képesek detektálni másodpercenként, rendkívül pontosan meghatározható a homokszemcsék megindulásának, valamint a szaltációs mozgás leállásának ideje, vagyis az eróziós periódus időtartama és dinamikája. A mérések és statisztikai számítások igazolták, hogy a szakirodalomból jól ismert harmadfokú függvénnyel írható le a szélsebesség és a mozgatott szemcseszám kapcsolata. A mikrofonos műszer a felszínről elhordott anyagmennyiség meghatározására, vizsgálataink szerint – a szakirodalmi tapasztalatokat is alátámasztva –, csak korlátozottan alkalmas.
3. Az RWEQ széleróziós folyamatmodellt – amelyet a legjelentősebb, 1997. áprilisi eróziós eseménnyel validáltam – adatainkkal tesztelve átlagban 20%-nál kisebb eltéréseket kaptam a száraz, fedetlen homokfelszínen mérőcölöpökkel mért és a modellel becsült értékek között. A modell hazai alkalmazásának legnagyobb korlátja, hogy nehe-

zen felépíthető időjárási adatbázist igényel, amelynek havi bontású szélstatisztika az alapja és kéthetes a legrövidebb időtartam, amelyre szimuláció végezhető.

4. A WEPS Erosion folyamatmodell teszteléséhez felhasználtam az összes 1995-2000 közötti széleróziós eseményt és a kalibrált, valamint validált programmal szimulációkat végeztem az 1997 tavaszi, a 2004 márciusi és áprilisi eseményekre. Miután a program képes fogadni a részletes talaj- és meteorológiai paramétereket, valamint egy adott parcellára két dimenzióban ad eróziós becslést, így egy-egy széleróziós esemény szimulációjára az RWEQ-nál megbízhatóbb, ellenőrizhetőbb és alkalmasabb modellező eszközként értékelem, valamint javaslom alkalmazását a hazai széleróziós vizsgálatokban.
5. A terepi mérések, távérzékelt felvételekből nyerhető adatok, az RWEQ széleróziós modell által becsült talajelhordási értékek és a WEPS szimulációkból kapott poremisszió értékek egy rendszerben történő kezeléséhez és feldolgozásához kidolgoztam egy komplex geoinformatikai rendszert, melynek kimeneteként a vizsgált terület szélerózió-veszélyeztetettségi térképét kaptam meg és becslést adtam, egy kéthetes széleróziós periódus során, a levegőbe került egészségkárosító por mennyiségére. A talajnedvességi értékek alapján készült osztályozás (Landsat5 TM–SWI) és az RWEQ modellel becsült eróziós értékek alapján a Duna-Tisza közi mintaterület 20-45 %-át találtam erózió-veszélyeztetettnek, továbbá az 1997 áprilisi időszakban hozzávetőlegesen 100 t/ha-os homokmozgást számítottam a vizsgált területre. A homokhátságról kibocsátott por össztömegét 10-11 millió tonnának becsültem a szélviharos hónapban, amely területegységre számolva 15 t/ha-os poremissziónak felel meg.
6. A homokhátságon és a hátsági peremen elhelyezkedő településeken a porimmisszió értékeinél a két értékelt időszakban (1995-2001 és 2004-2005) számos alkalommal többszörös határérték-túllépést tapasztaltam, de a szélsőségesen magas értékek az 1997 tavaszi időszakban az ülepedő port tekintve a Bács-Kiskun megyei településeken, míg a szálló por méréseknél a Csongrád megyei településeken jelentkeztek, amelyek szoros kapcsolatban vannak a tavaszi szélerózióval és szántóföldi kiporlással. Ezt a megállapítást a 2004 márciusi és áprilisi mérési eredményekkel is megerősítettem.

8.2 A széleróziós kutatás folytatásának irányai, lehetőségei

A következő kutatási időszakban széleróziós méréseinket a Dél-Alföld további erózió-veszélyeztetett területeire, különös tekintettel a Körös-Maros közére, terjesztjük ki a mobil

mérőállomás alkalmazásával. A vizsgálati mintaterületek számának növekedésével olyan adatbázist szeretnénk kiépíteni, amely alapján kellő megalapozottsággal tudjuk a döntéshozók figyelmét felhívni, a szélerózió mezőgazdasági károkozásán kívül, az Alföld számos településén jelentkező súlyos környezet-egészségügyi problémára, a porszennyezettségre, amely az általunk vizsgált dél-alföldi településeken a legnagyobb mértékben haladja meg az immissziós határértékeket és amelyet erdők, erdősávok, fasorok körültekintő és tudományosan megalapozott telepítésével, illetve a művelésből kivont területek gyepesítésével lehet eredményesen csökkenteni. Ezekhez, a reményeink szerint végre elinduló tájrendezési munkálatokhoz kívánunk alapadatokat szolgáltatni.

Az ismertetett széleróziós modellek tesztelését a további kísérletekbe bevont mintaterületeken felvett és mért adatokkal mindenképpen érdemes folytatni, hiszen az értekezésben részletezett tesztelési eredmények, főként a WEPS modell tekintetében, biztatónak mondhatók. Az eltérő jellegű és kellő számú mintaterületre kalibrált és validált széleróziós modellel az éghajlatváltozási, feltételezhetően szárazodási tendenciákat figyelembe véve szimulációs prognózisok készíthetők, amelyek alapján becsléseket adhatunk a szántóföldi széleróziós folyamatok dinamikájának jövőbeli alakulására és egyúttal a közvetett hatásként jelentkező települési porterhelés várható növekedési tendenciáira is.

9. Summary

9.1 Methods, results and conclusions

The gradual increase observable in aridity values, and the increasing susceptibility to heavy droughts in Hungary should be attributed to a possible climate change affecting primarily the area of the Great Hungarian Plain, and most heavily the region of the Danube-Tisza Interfluve is included. The observed trends of rising temperatures, decreasing precipitation rates, as well as the gradual drop in soil moisture and groundwater levels recorded in regional studies all tend to influence the potential susceptibility of an area to wind erosion as well.

Wind erosion processes endanger nearly 23% of the total surface of the Danube-Tisza Interfluve region. Agricultural land, which is most susceptible to wind erosion is situated in a large blown-sand area in the southern part of Hungary, between the Danube and Tisza rivers. Wind-blown sand areas play a considerable part in farming and their importance is ever growing. Thus it is apparent that conservation of light sand soils against wind erosion is vital. In 1980's a countywide soil protection network directed the research to reduce the damages. After the compensation (1990-1992) the landuse type and structure changed. The results of this process were overlapped with the natural aridification tendency of the South Hungarian Region. Both changes indicated us to launch a research project to answer the next questions:

- Is it possible to work out applicable wind erosion field measuring methods which are able to serve acceptable information about the dymanics of process and volumetric characteristics of flux?
- Can we apply the process model of USDA in our research under the Hungarian climatic and pedological conditions and which constraints should we take into consideration during the application?
- What kind of geoinformation techniques are applicable to predict wind erosion risk of large areas based on measured and modelled data on study parcels ?
- Is it possible to find statistically relevant correlation between dust emission caused by wind erosion and the increasing dust immission on settlements of Danube-Tisza Interfluve?

I concluded the answers to the above questions during the research and the preparation of my thesis and I summarized them in the next 6 paragraphs:

1. To study deflation occurring in the Danube-Tisza Interfluve, a research station was located for measurements of deflation and accumulation of sandy soils, of meteorological and climatic conditions of wind erosion. In order to record the amount of sand exposed to aeolian transportation, a 50x50 m pilot area was outlined on the sand ridge of Kiskunmajsa-Dorozsma in. Sand movement was measured with the help of measuring rods at weekly and fortnightly intervals. The pilot area was systematically plowed and exposed to chemical weed control to sustain a surface with scant vegetation cover. The most intensive sand movement could be observed during the springs of 1997 and 1998, when the amount of monthly total transported sand exceeded 50 tons for the one-quarter hectare of the lot. Within a two-week long observation interval (from 3 April 1997 till 14 April 1997) sand was eroded on the parcel by an extremely strong wind effects (235 tons from the test parcel). The quantity of eroded soil seems to be high, but there were the strongest wind in the last decade, the wind gusts were about 20-25 m/s several times in this period. This method proved that only those deflation and accumulation data could be evaluated which we recorded at least 2-3 mm surface height differences next to the measuring sticks and which showed at least 30-45 t/ha sand movement if we calculate the quantity of the eroded material. Measurement by sticks was not suitable for detecting smaller but more frequent wind erosion phenomena.

2. With the help of physicists we managed to set up a portable digital measurement station for monitoring wind erosion on the field. The special device we placed in wind tunnel and also on the field can transform the impulses from acoustic microphones that detect sand particle impact into digital ones. The sensors in this device can detect 1-3000 particle impacts per second, thus we can conclude the exact time when the saltated particles begin and finish to move, namely the length and dynamism of erosive period. Measurements and statistics proved that the cubic function well-known in scientific literature can describe the correlation between the wind speed and the quantity of the number of the saltated particles. Our experiments supported scientific literature that the applicability of the device with acoustic microphone is limited to defining the quantity of the eroded material.

3. Ours was one of the very first Hungarian work focusing on wind erosion processes, which applied a test of wind erosion models as well. With the help of the recorded values, we were to test the applicability of the USDA RWEQ (Revised Wind Erosion Equation) to Hungarian sites and examples. The pilot studies yielded a standard deviation of less than 20% from the average for dry barren sandy surfaces affected by heavy gusts with the largest recorded value of erosion and the largest predicted value of the same variant, which is acceptable. Naturally no long-term verification statements could be drawn regarding the model as we have only dealt with data for a single event and a single area only so far. The main problem with the application of the model in Hungary is that it needs a meteorological data base which is diffucult to obtain: wind statistics broken down by the month, and two weeks is the shortest period for which simulation is done.

4. To test WEPS (Wind Erosion Prediction System) Erosion model I used all the wind erosion events between 1995-2000 and with the calibrated and validated programmes I ran simulations for the events in the spring of 1997 and March and April of 2004. As the programme could deal with the detailed estimations in two dimensions for a certain parcel it proved to be more reliable, controllable and suitable device than RWEQ, and this is why I recommend its application in Hungarian wind erosion experiments.

5. Beside the traditional research methods, most up-to-date methods should also be applied, which enables us to gain information from isolated field data measured on relatively small territories to bigger regions. The specific structure of pedological, land use and water balance features defines the rate of extrapolation. With the help of satellite images we can investigate the most important reasons of wind erosion, e.g. condition of vegetation and soil moisture. By using the Landsat5 TM SWI- (soil wetness index) image we have classified the driest areas which are exposed to wind erosion to a greater extent. According to the calculated values of soil moisture, and the received erosion rates taken from the RWEQ model, 20-45% of the pilot area could be considered as potentially violated by wind erosion. From the calculated soil wetness index (SWI) we can draw conclusions reflecting our recorded values for the two spring periods. The April of 1997 was relatively poor in rainfall with frequently recurring strong gusts, also yielding the highest erosion rates on our pilot area during the 6 years of the study. Based on the classification prepared via the analysis of the satellite images the

regions potentially liable to wind erosion exceeded 40% of the pilot area of the Danube-Tisza Interfluve, 9% of which was moderately and highly affected by wind erosion. Data coming from different sources, including field measurements and calculated values from remote sensing analyses, as well as general model algorithms, have been integrated into a complex geoinformatic system. The different classes of wind erosion hazard are drawn on actual wind erosion map which were set up for the 6420 km^2 area of the Danube-Tisza Interfluve. If these values are taken approximately as the real values at least in their magnitude, then during April 1997 at least a total of 70 million tons of sand must have suffered transportation in the area of the Danube-Tisza Interfluve. This mass of transported sand could have been 70-80% less in April 2000 assuming similar wind conditions due to the higher rates of moisture of upper soil layer. In case of a natural wind erosion process 10-20% of the total transported matter is given by dust particles. Based on this value approximately 7-14 million tons of dust could become airborne during our studied period causing significant air quality problems in the nearby settlements.

6. One of the major goals of our wind erosion studies was to develop a database, which might be not only useful in directing the attention of decision makers to the potential hazards of wind erosion in the agriculture, but to an important and very serious environmental and public health problem observable in several cities and villages of the Great Hungarian Plain: dust pollution of the air. Dust pollution observable in the settlements of the Southern part of the Great Hungarian Plain well exceeds the limit of emission, with the largest recorded value present. In the investigated settlements of the Danube-Tisza Interfluve I detected that dust immission significantly exceeded the end values for many times in the analysed periods (1995-2001 and 2004-2005). I found that this is closely related to spring wind erosion and dust emission from agricultural fields. The main source of the floating dust particles present in the air can be linked to agricultural dusting of arables.

9.2 Prospects and tendencies in further wind erosion research

In order to gain better and more reliable information on wind erosion regarding such parameters as critical wind speed, and soil conditions, by applying mobile measurement stations in the next research period we are going to extend measurements to other regions in the southern part of the Great Hungarian Plain endangered by wind erosion, paying special atten-

tion to the Körös-Maros Interfluve. By increasing the number of the experimental areas we would like to create a data base which helps draw decision makers' attention to the fact that wind erosion creates damages not only in agriculture but it is the cause of serious health problems in several settlements of the Great Hungarian Plain. Wind erosion is also responsible for dust pollution which exceeds immission level the most in the region's settlements and which can be successfully decreased by carefully and scientifically founded plantation of forest, shelter belts, lines of trees and also by changing non-cultivated areas into grasslands. We hope our data can contribute to this future landscape planning projects.

It is worth to continue to test the above introduced wind erosion models with data taken and measured on newer test areas as the test results mentioned in my dissertation, especially in case of WEPS model, are very promising. If we consider climate change, more exactly aridifiction tendencies, with a wind erosion model calibrated and validated on different and numerous test areas we can make simulation predictions which can be the basis of estimations on the development of the dynamism of wind erosion on arable lands and also an expectedly increasing dust immission on settlements as an indirect effect.

Köszönetnyilvánítás

> "Az élet olyan, mint a jazz. Adott egy dallam, a hangok magasban szárnyalhatnak, vagy a mélybe zuhanhatnak – mindig másképpen, sohasem egyformán. S a dallam töredék marad, sosem lesz tökéletes… a folyamat jelzi csak a tökéletességre való törekvést."
>
> / Valaki a XX. századból /

Az utolsó, de legfontosabb tennivalóm, az értekezés végén megköszönni mindenkinek a segítséget, a számtalan baráti biztatást és a nagyon hasznos fenyegetéseket, amelyek emlékeztettek kötelességeimre, vállalásaimra.

Hálával tartozom dr. Mezősi Gábornak, hogy megteremtette és biztosította a szakmai és anyagi hátteret a vizsgálatokhoz és végtelen, néha szinte érthetetlen türelemmel kísérte ténykedésemet.

Köszönöm dr. Mucsi László segítségét a fölmerült geoinformatikai kérdésekben, valamint hasznos tanácsait az értekezés végső formába öntésében. Köszönöm tanszéki kollégáimnak a sok segítséget, észrevételt: Bódis Katalinnak a DDM elkészítéséhez, dr. Barta Károlynak a modellezéshez, Fábián Tamásnak a terepi munkákban nyújtott segítségét, Pigniczkiné Tápai Ibolyának a talajminták laborvizsgálatait és minden tanszéki és egyetemi kollégának az észrevételeket, a rendelkezésemre bocsátott anyagokat.

Az RWEQ modell felhasználásához jelentős segítséget kaptam dr. Ted M. Zobeck talajspecialistától, az USDA - Agricultural Research Service (USA) munkatársától és kollégáitól. Köszönet illeti dr. Lóki Józsefet (Debreceni Egyetem) hasznos tanácsaiért, a biztatásért és Magyarország potenciális szélerózió-veszélyeztetettségi térképéért. Hálás vagyok dr. Dirk Goossensnek (Erosion and Soil and Water Conservation Group, Wageningen University), aki a LAWINE projekt szakmai anyagának elkészítése során a szélerózió off-site hatásainak vizsgálatára buzdított. A szegedi egyetemi meteorológiai állomás adatait dr. Unger Jánostól kaptam, köszönet érte.

Köszönöm családomnak a türelmet, hogy elviseltek, feleségemnek az angol fordításokat is.

A kutatást az F 029240 és T 37249 sz. OTKA pályázatok támogatták.

Felhasznált irodalom

ARENS, S.M., 1996: Rates of aeolian transport on a beach in a temperate humid climate. Geomorphology 17(1-3). pp. 3-18.

BAGNOLD, R. A., 1941: The physics of blown sand and desert dunes. Methuen, London. p. 265.

BARNA T., 1999: Az erdőtelepítés, mint a vidékfejlesztés része. In: Az Alföld a XXI. század küszöbén (szerk.: Baukó T). Békéscsaba. pp. 181-184.

BARTA K., 2004: Talajeróziós modellépítés a EUROSEM modell nyomán. PhD értekezés. Szeged. p. 84.

BARTHOLY J. – MATYASOVSZKI I., 1998: A Kárpát-medence hőmérsékleti és csapadék viszonyainak alakulása a globális éghajlatváltozások tükrében. In.: Az éghajlatváltozás és következményei (szerk.: Dunkel Z.). OMSZ, pp.117-127.

BARTHOLY J. – MIKA J., 2005: Időjárás és éghajlat - cseppben a tenger? – Magyar Tudomány 7. szám, pp.789-798.

BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. – TORMA CS. – HUNYADY A., 2006: A Kárpát-medence térségére a XXI. Századra várható klímaváltozás becslése. III. Magyar Földrajzi Konferencia tudományos közleményei. CD kiadvány. ISBN 9639545120 p.11.

BAUKÓ, T. (szerk.), 1995: Erdősávrendszerek telepítésének lehetőségei Békés megyében. Zárójelentés, MTA RKK ATI, Békéscsabai Osztály. p. 84.

BAUKÓ T. – BEREGSZÁSZI P., 1990: Egyszerűsödő agrár-térszerkezet – fokozodó szélkárosodás Békés megyében. Környezetgazdálkodási évkönyv, pp. 87-95.

BÄRRING, L. – JÖNSSON, P. – MATTSSON, J.O. – ÅHMAN, R., 2003: Wind erosion on arable land in Scania, Sweden and the relation to the wind climate - a review. Catena 52(3-4). pp. 173-190.

BÍRÓ M. – MOLNÁR ZS., 1998: A Duna-Tisza köze homokbuckásainak tájtípusai, azok kiterjedése, növényzete és tájtörténete a 18. századtól. In: Történeti Földrajzi tanulmányok 5. (szerk: Frisnyák S.). Nyíregyháza. p. 34.

BODOLAY, I., 1966a: Szélerózió elleni védekezés öntözött homokterületeken (Protection from wind erosion in irrigated sand areas). Agrokémia és talajtan. 14. 1-2. pp. 1-15.

BODOLAY, I., 1966b: A szélerózió hatása a Bácskai-löszháton. Agrokémia és talajtan. 15. 1-2. pp. 372-383.

BÓDIS K. – SZATMÁRI J., 1998: Eolikus geomorfológiai vizsgálatok DDM felhasználásával. VII. Térinformatika a felsőoktatásban szimpózium előadásai. Budapest. pp. 102-107.

BORSY Z., 1972a: Recent results of wind-erosion studies in Hungarian blown-sand areas. Földrajzi Értesítő XXIII. 2. pp. 227-236.

BORSY Z., 1972b: A szélerózió vizsgálata magyarországi futóhomok-területeken. Földrajzi Közlemények. 156-160.

BORSY Z., 1977: A Duna-Tisza közi hátság homokformái és a homokmozgás szakaszai. Alföldi Tanulmányok. pp. 43-58.

BORSY Z., 1993: Általános természeti földrajz. Budapest. pp. 461-467.

BORSY Z. – FÉLSZERFALVI J. – LÓKI J. – FRANYÓ F., 1982: A jánoshalmi MÁFI alapfúrás homoküledékeinek elektronmikroszkópos vizsgálata. Acta Geographica Debrecina. XX. pp. 35-50.

BÖHNER, J. – SCHÄFER, W. – CONRAD, O. – GROSS, J. – RINGELER, A., 2003: The WEELS model: methods, results and limitations. Catena 52. pp. 289-308.

BUTTERFIELD, G.R., 1999: Application of thermal anemometry and high-frequency measurement of mass flux to aeolian sediment transport research. Geomorphology 29(1-2). pp.31-58.

COEN, G.M. – TATARKO, J. – MARTIN, T.C. – CANNON, K.R. – GODDARD, T.W. – SWEETLAND, N.J. 2004: A method for using WEPS to map wind erosion risk of Alberta soils. Environmental Modelling and Software 19(2). pp. 185-189.

COOKE, R. – WARREN, A. – GOUDIE A., 1993: Desert Geomorphology. UCL, London. p. 526.

CRIST, E.P. – KAUTH, R.J., 1986: The tasseled cap de-mystified. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52.1. pp. 81-86.

DE JONG, S.M., 1994: Derivation of vegetative variables from a Landsat TM image for modelling soil erosion. Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 19, pp. 165-178.

DE JONG, S.M. – RIEZEBOS, H.T., 1992: Assessment of erosion risk using multitemporal remote sensing data and an empirical erosion model. Research report for IRSA-JRC, Utrecht. p. 60.
DIKKEH, M., 1991: A szélerózió néhány törvényszerűségének és védekezési lehetőségének vizsgálata. Kandidátusi értekezés. Gödöllő. p. 128.
DIKKEH, M. 2004: Comparing wind erosion field measurements with simulated by WEPS. Proceedings of ESSC Conference. Budapest. p. 350.
EPERJESY K., 1928: Kézirati térképek Magyarországról a bécsi levéltárakban. A Bécsi Collegium Hungaricum füzetei III. Szeged. p. 56.
FOLLY, A. – QUINTON, J.N. – SMITH, R.E., 1997: Evaluation of the Eurosem model using data from the Catsop watershed, The Netherlands. Proc. of the GCTE modelling exercise in Utrecht. pp. 507-519.
FUNK, R. – SKIDMORE, E.L. – HAGEN, L.J., 2002: Comparison of wind erosion measurements in Germany with simulated soil losses by WEPS. In: Proceedings of ICAR5/GCTE-SEN Joint Conference, (Eds: Lee, J.A. - Zobeck, T.M.). Lubbock, Texas, USA. pp. 235-239.
FUNK, R. - DEUMLICH, D. - VÖLKER, L. - STEIDL, J., 2004: GIS application to estimate the wind erosion risk in the Federal State of Brandenberg. In: Wind erosion and dust dynamics: observations, simulations, modelling (ed.: Goossens, D. and Riksen, M.) ESW Publications, Department of Environmental Sciences, Erosion and Soil and Water Conservation Group, Wageningen University, pp. 139-150.
FRYREAR, D.W. – KRAMMES, C.A. – WILLIAMSON, D.L. – ZOBECK, T.M., 1994: Computing the wind erodible fraction of soils. Journal of Soil and Water Conservation 49(2). pp.180-183.
GÁBRIS GY., 2003: A földtörténet utolsó 30 ezer évének szakaszai és a futóhomok mozgásának főbb periódusai Magyarországon. Földrajzi Közlemények pp. 1-13.
GÁL J. 1974: A defláció és a légszennyeződés elleni védekezés fásítással. Az Erdő.p. 320.
GILLETTE, D.A. – HERBERT, G. – STOCKTON, P.H. – OWEN, P.R., 1996: Causes of the fetch effect in wind erosion. Earth Surface Processes and Landforms 21(7). pp. 641-660.
GOMES L. – ARRUE J.L. – LOPEZ M.V. – STERK G. – RICHARD D. – GRACIA R. – SABRE M. – GAUDICHET A. – FRANGI J.P., 2003: Wind erosion in a semiarid agricultural area of Spain: the WELSONS project. CATENA, 52. 3. pp. 235-256.
GOOSSENS, D., 2002: On-site and off-site effects of wind erosion. In: Wind erosion on agricultural land in Europe (ed.: Warren, A.). Office for Official Publications of the European Communities. EUR 20370, pp. 29-38.
GOOSSENS, D., 2004a: Net loss and transport of organic matter during wind erosion on loamy sandy soil. In: Wind erosion and dust dynamics: observations, simulations, modelling (ed.: Goossens, D. and Riksen, M.) ESW Publications, Department of Environmental Sciences, Erosion and Soil and Water Conservation Group, Wageningen University, pp. 81-102.
GOOSSENS, D., 2004b: Wind erosion and tillage as a dust production mechanism on north European farmland. In: Wind erosion and dust dynamics: observations, simulations, modelling (ed.: Goossens, D. and Riksen, M.). ESW Publications, Department of Environmental Sciences, Erosion and Soil and Water Conservation Group, Wageningen University, pp. 15-40.
GOOSSENS, D. – OFFER, Z. – LONDON, D., 2000: Wind tunnel and field calibration of five aeolian sand traps. Geomorphology 35. pp. 233-252.
GOOSSENS, D. – GROSS, J. – SPAAN, W., 2001: Aeolian dust dynamics in agricultural land areas in Lower Saxony, Germany. Earth Surface Processes and Landforms 26. pp. 701-720.
GOOSSENS, E.M.C. – GOOSSENS, R.E.A. – GHABOUR, T.K. – GAD, A.G., 1993: Detailed assessment of degradation processes in the agricultural land of a newly reclaimed area in Egypt, using multitemporal high resolution satellite data. EARSel, vol. 2.3. pp. 91-101.
GREGORY, J.M. – WILSON, G.R. – SINGH, U.B. – DARWISH, M.M., 2004: TEAM: integrated, process-based wind-erosion model. Environmental Modelling and Software 19.2. pp. 205-215.
GROSS, J. – SCHÄFER, W., 2004: Quantification of erosion-induced dust emissions. . In: Wind erosion and dust dynamics: observations, simulations, modelling (ed.: Goossens, D. and Riksen, M.). ESW Publications, Department of Environmental Sciences, Erosion and Soil and Water Conservation Group, Wageningen University, pp. 41-58.
GYÖRFFY GY. – ZÓLYOMI B., 1994: A Kárpát-medence és Etelköz népe egy évezred előtt. In: Honfoglalás és régészet (szerk.: Kovács L.). Budapest. pp. 13-38.

HAGEN, L.J., 1991a. Development of a new Wind Erosion Prediction System. In: Proc. of the International Wind Erosion Workshop (Szerk.: Karácsony J. et al.). Budapest.
HAGEN, L.J., 1991b: A wind erosion prediction system to meet user needs. J. Soil and Water Conservation 46(2). pp.:105-111.
HAGEN, L.J., 1996: Erosion submodel. WEPS technical documentation. USDA. p. 49.
HAGEN, L.J., 2004: Evaluation of the WEPS erosion submodel on cropland fields. Environmental Modelling and Software 19.2. pp. 171-176.
HARMATI I., 1989: A szélerózió kialakulása, károkozása és az ellene való védekezés agrotechnikai módszerei. In: A szélerózió elleni védekezés lehetőségeinek, módszereinek feltárása Csongrád megye homokterületein (szerk: Zentay T.). MTA Szeged Committee. pp. 93-108.
HENNEMANN, G.R. – NAGELHOUT, A., 2004: Searching for effective, low-cost methods to detect and assess wind erosion damage: the promise of small-format aerial photography (SFAP). In: Wind erosion and dust dynamics: observations, simulations, modelling (ed.: Goossens, D. and Riksen, M.) ESW Publications, Department of Environmental Sciences, Erosion and Soil and Water Conservation Group, Wageningen University, pp. 123-137.
HRADEK, M. – SVEHLÍK, R., 1995: Dust storms in Moravia and Silesia. In: Natural hazards in the Czech Republic, Brno, pp. 81-109.
HUETE, A.R., 1988: A soil-adjusted vegetatio index (SAVI). Remote Sensing of Environment. 25. pp. 295-309.
HUSZAR, P.C. – PIPER, S.L., 1986: Estimating the Off-site Costs of Wind Erosion in New Mexico. Journal of Soil and Water Conservation. 6. pp. 414-416.
JAKUCS L., 1989: Csongrád megye homoktalajainak természetföldrajzi tájelemzése. In: A szélerózió elleni védekezés lehetőségeinek, módszereinek feltárása Csongrád megye homokterületein (szerk: Zentay T.). MTA Szeged Committee. pp. 7-30.
JUSTUS C. G. et al., 1977: Methods for Estimating Wind Speed Frequency Distributions. Journal of Applied Meteorology V.17. pp. 350-353.
KARÁCSONY J., 1992: A szélerózió elleni védekezés fizikai alapjai. Kandidátusi értekezés. Gödöllő, p. 117.
KERTÉSZ Á., 1974: A morfometria és a morfometrikus térképezés célja és módszerei. Földrajzi Értesítő XXIII./4. pp. 433-442.
KERTÉSZ Á. – PAPP S. – SÁNTHA A., 2001: Az aridifikáció folyamatai a D-T közén, Földrajzi Értesítő, pp.115-126.
KEVEINÉ BÁRÁNY I. – MEZŐSI G., 1991: Regional differences between wind erosion and wind energy in Great Hungarian Plain. In: Proc. of the International Wind Erosion Workshop (Szerk.: Karácsony J. et al.). Budapest.
KIENITZ, G. (ed.), 1974: Data of representative and experimental basins. I. Fehértó–Majsa experimental catchment. Budapest. pp. 105-472.
KIRÁLY, M., 1970: A Duna–Tisza közi ültetvények talajvédelme. Doktori értekezés. Budapest.
KOVÁCS B. 2004: Hidrodinamikai és transzportmodellezés I. Miskolc. p. 159.
KOVÁCS F., 2006: Tájváltozások értékelése geoinformatikai módszerekkel a Duna–Tisza közén különös tekintettel a szárazodás problémájára. PhD értekezés. p. 106.
KOVÁCS, F. – SZATMÁRI, J. – RAKONCZAI, J. 2006a: Assessment of the special soil degradation (bench erosion) with GIS methods from the Great Hungarian Plain - in.: Shaping the future of Geographic Information Science in Europe. Proceedings of 9th AGILE Conference on Geographic Information Science (Eds.: Suarez, J. – Márkus, B.). pp.29-35.
KOVÁCS F. – SZATMÁRI J. – RAKONCZAI J., 2006b: Szikpadkás talajerózió értékelése az Alföldön térinformatikai módszerekkel. - III. Magyar Földrajzi Konferencia tudományos közleményei. CD kiadvány. ISBN 9639545120 p.10.
LIVINGSTONE, I. – WARREN, A., 1996: Aeolian geomorphology: an introduction. Addison-Wesley Longman, Harlow, 211 pp.
LÓKI J., 1994: Mezőgazdaság-központú természetföldrajzi vizsgálatok a Duna-Tisza köze É-i felének példáján. Kandidátusi értekezés. Debrecen. p. 199.
LÓKI J., 2003: A szélerózió mechanizmusa és magyarországi hatásai. MTA doktori értekezés. Debrecen p. 265.

LÓKI J., 2006: Holocén felszínváltozás a hazai futóhomok területeken. III. Magyar Földrajzi Konferencia tudományos közleményei. CD kiadvány. ISBN 9639545120 p.10.
LYLES, L., 1975: Possible effects of wind erosion on soil productivity. Journ. Soil and Water Cons. 30:279-283.
LYLES, L., 1985: Predicting and controlling wind erosion. Agricultural History 59(2). pp. 205-214.
LYLES, L. – SCHRANDT, R.L., 1972: Wind erodibility as influenced by rainfall and soil salinity. Soil Science 114(5). pp. 367-372.
MENSINK, C. (ed), 2003: LAWINE (Land degradation by Wind induced desertification – an INtegrated assessment approach to European soils). A proposal to the 6th Framework Programme for research, technological development and demonstration. Topic 6.3.IV.1.b: Assessment of the vulnerability to desertification and early warning options.
MEZŐSI G., 1996: The predicted wind erosion rate in the Carpathian Basin. Abs. of the IAG ERC'96. Budapest, pp. 86.
MEZŐSI G. – RICHTER, G., 1991: Az Epic (Erosion-Productivity Impact Calculator) modell tesztelése. Agrokémia és Talajtan 1991. 3-4. pp. 46l-468.
MEZŐSI G. – KEVEINÉ BÁRÁNY I. – GÉCZI R., 1996: A Duna-Tisza köze néhány táji értékének prognosztizálható változása. In: A termőföld védelme (szerk.: Szabó L.). Gödöllő. pp. 34-48.
MEZŐSI G. – SZATMÁRI J., 1996: Széleróziós vizsgálatok a Duna-Tisza közén. In: A termőföld védelme (szerk.: Szabó L.). Gödöllő. pp. 24-33.
MEZŐSI G.– SZATMÁRI J., 1998: Assessment of wind erosion risk on the agricultural area of the southern part of Hungary. Journal of Hazardous Materials 61. Amsterdam. pp. 139-153.
MEZŐSI M. – SIMON A., 1981: A meteorológiai szélmérés elmélete és gyakorlata. Meteorológiai Tanulmányok 36.
MIKA J. – AMBRÓZY P. – BARTHOLY J. – NEMES CS. – PÁLVÖLGYI T., 1995: Az Alföld éghajlatának időbeli változékonysága és változási tendenciái a hazai szakirodalom tükrében. Vízügyi közlemények LXXVII.évf. pp.262-283:
MOHAMMAD, D., 1991: A szélerózió néhány törvényszerűségének és védekezési lehetőségének vizsgálata. Kandidátusi értekezés. Gödöllő.
MOTIKA G., 2006: Szeged levegőminőségi értékelése 1998-2004 között. Készült Szeged Város Önkormányzata részére. Kézirat. p. 18.
MUCSI, L., 1993: Soil erosion and sand movement in the Southern part of Hungary, in: Proc. of EARSeL '93 Conf., Dundee. pp. 189-200.
MUCSI L., 2005: Műholdas távérzékelés. Egyetemi jegyzet. SZTE, Szeged. p. 238.
MUCSI, L. – SZATMÁRI, J., 1998. Landscape changes of a blown sand surface on the Great Hungarian Plain. The problems of landscape ecology Vol. III. Warsaw. pp. 215-222.
MULDERS, M.A., 1987: Remote sensing in soil science. ELSEVIER. p. 377.
NYÁRI D. – KISS T. – SIPOS GY., 2006: Történeti időkben bekövetkezett futóhomok mozgások datálása lumineszcenciás módszerrel a Duna-Tisza közén. III. Magyar Földrajzi Konferencia tudományos közleményei. CD kiadvány. ISBN 9639545120 p.10.
PASINSZKI J. 1990: Az ülepedő por mennyiségi és minőségi jellemzése. In: Kiss Ferenc Csongrád Megyei Természetvédelmi Egyesület Évkönyve. Szeged. pp. 25-28.
PASINSZKI J. 1996: Levegőhigiénés mérések Szegeden. In: Kiss Ferenc Csongrád Megyei Természetvédelmi Egyesület Évkönyve II. Szeged. pp. 62-76.
PETRASOVITS, I. – KARÁCSONY, J., 1990: A hazai szélerózió-kutatás múltja, jelene és jövője. Agrárvilág 3/1. sz. pp. 17-22.
PODSIADLOWSKI, S. – HAGEN, L.J., 2000: An integrated tillage system to prevent soil pulverization and wind erosion of sandy soils. In: Proc. of the 15th International Conference of the International Soil Tillage Research Organization (ISTRO), (Ed: Morrison, J.E.)
RÁCZ L., 1989: Éghajlatingadozások a Kárpát-medencében 1540-1779 között. Doktori értekezés. Szeged. p. 142.
RAKONCZAI J. et al., 2000a: Csongrád megye kistérségi komplex környezetvédelmi programja. Szeged. Kézirat. http://www.geo.u-szeged.hu/kornyprog/csongrad
RAKONCZAI J. et al., 2000b: Békés megye kistérségi komplex környezetvédelmi programja. Szeged. Kézirat. http://www.geo.u-szeged.hu/kornyprog/bekes

RAKONCZAI J. et al., 2005: A szegedi kistérség környezetvédelmi programja. Szeged. Kézirat. p. 138.
RÉDEI K., 1989: A szélerózió elleni védekezés erdészeti lehetőségei erdőtelepítéssel és erdősávok ültetésével. In: A szélerózió elleni védekezés lehetőségeinek, módszereinek feltárása Csongrád megye homokterületein (szerk: Zentay T.). MTA Szeged Committee. pp. 109-118.
RÉTHLY A., 1970: Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1701-1800-ig. Akadémiai Kiadó, Budapest. p.
RICHTER, G. – MEZŐSI, G., 1990: Bodenerosion, Winderosion und Bodenfruchtbarkeit - eine quantitative Naherung mit der EPIC Model. Acta Geogr. 28-30. pp. 67 - 82.
RIKSEN M., 2004: Off-site effects of wind erosion on agricultural land in NW Europe. In: Wind erosion and dust dynamics: observations, simulations, modelling (ed.: Goossens, D. and Riksen, M.) ESW Publications, Department of Environmental Sciences, Erosion and Soil and Water Conservation Group, Wageningen University, pp. 103-122.
RIKSEN M. – BROUWER, F. – DE GRAAFF J., 2003: Soil conservation policy measures to control wind erosion in NW Europe. CATENA, 52/3. pp. 309-326.
SHI, P. – YAN, P. – YUAN, Y. – NEARING, M.A., 2004: Wind erosion research in China: past, present and future. Progress in Physical Geography 28,3. pp. 366-386.
SMARA, Y. – TAIBI, N., 1995: Methodology for degradation monitoring in an arid and semi arid region, in: Proc. of EARSeL '95 Conf., Czech Republic. pp. 30-39.
SPAAN, W.P. – VAN DEN ABEELE, 1991: Wind borne particle measurements with acoustic sensors. Soil Technology, vol.4, pp.51-63.
STEFANOVITS P., 1992: Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest. p. 379.
STEFANOVITS P., 1996: A talajvédelmi szemlélet globális és regionális módosulása. In: A termőföld védelme (szerk.: Szabó L.). Gödöllő. pp. 3-12.
SZATMÁRI J., 1999: Elfújta a böjti szél. In: Az Alföld a XXI. század küszöbén (szerk.: Baukó T). Békéscsaba. pp. 391-394.
SZATMÁRI J., 2000: A megye környezeti állapotának értékelése. 1.1 Levegő. In: Csongrád megye kistérségi komplex környezetvédelmi programja (Szerk: Rakonczai J.). Szeged. http://www.geo.u-szeged.hu/kornyprog/csongrad/helyzet.pdf
SZATMÁRI J., 2002: Modellezés és szimuláció oktatási segédlet geográfusoknak. SZTE TFGT Oktatási segédletek: http://www.geo.u-szeged.hu/oktatas/tutorial.html
TANSEY, K. – WHITE, K. – MILLINGTON, A. – BATTIKHI, A., 1997: Comparison of modelled backscatter response and ERS-1 SAR data for desert surfaces, the Eastern Badia of Jordan. Abs. of 3rd ERS Symposium: http://earth.esa.int/workshops/ers97/papers/tansey/
TAR K., 1991: Magyarország szélklímájának komplex statisztikai elemzése. In: OMSZ kisebb kiadványai. 67.sz. pp. 28-88.
TATARKO, J. – HAGEN, L.J. – SKIDMORE, E.L. – ARMBRUST, D.V., 1995a: Application of WEPS to croplands. In: Wind Erosion Prediction System Technical Description. WEPP/WEPS Symposium, Soil and Water Conservation Society.
TATARKO, J. – SKIDMORE, E.L. – WAGNER, L.E., 1995b: Wind simulation for WEPS. In: Wind Erosion Prediction System Technical Description. WEPP/WEPS Symposium, Soil and Water Conservation Society.
THIERMANN, A. – Sbreny, J. – Schäfer, W., 2002: GIS in WEELS. Geoinformatics, 9. pp. 30-32.
UBELL K. – AUJESZKY G., 1965: A Fehértó-Majsai belvízképződési és belvízgazdálkodási kutatási terület és telep. In: VITUKI Munkássága 4. p. 86.
VAN PELT, R.S., 2002. Validation of the Wind Erosion Stochastic Simulator (WESS) and the Revised Wind Erosion Equation (RWEQ) for Single Events. In: Proceedings of ICAR5, Texas, USA pp. 292-295
VISSER, S.M. – STERK, G. – KARSSENBERG, D., 2005: Wind erosion modelling in a Sahelian environment. Environmental Modelling and Software 20.1. pp. 69-84.
WARREN, A. (ed.), 2002: Wind erosion on agricultural land in Europe. Office for Official Publications of the European Communities. EUR 20370, p. 76.
WEIDINGER T. – BARTHOLY J. – MATYASOVSZKY I., 2000: A globális éghajlatváltozás lokális hatásainak vizsgálata hazánkban. Földrajzi Közlemények, pp.75-92.
WOODRUFF N.P. – SIDDOWAY F.H., 1965: A wind erosion equation. Soil Science Society of America, Proceedings 29. pp. 602-608.

ZENTAY T., 1989: Csongrád megye homokterületeinek agrogeológiai értékelése, talajjavítási lehetőségek. In: A szélerózió elleni védekezés lehetőségeinek, módszereinek feltárása Csongrád megye homokterületein (szerk: Zentay T.). MTA Szeged Committee. pp. 31-76.

ZOBECK, T.M. – POTTER, K.N., 1988: Measurement and estimation of temporal surface soil properties affecting wind erosion. In: Proceedings of the Wind Erosion Conference, Lubbock, Texas. pp. 139-149.

ZOBECK, T.M. – GILL, T.E. – POPHAM, T.W., 1999: A two-parameter Weibull function to describe airborne dust particle size distributions. Earth Surface Processes and Landforms 24(10). pp. 943-955.

ZOBECK, T.M. – PARKER, N.C. – HASKELL, S. – GUODING, K., 2000: Scaling up from field to region for wind erosion prediction using a field-scale wind erosion model and GIS. Agriculture, Ecosystems & Environment 82(1-3). pp. 247-259.

ZOBECK, T.M. – STERK, G. – FUNK, R. – RAJOT, J.– L., STOUT, J.E. – VAN PELT, R.S., 2003: Measurement and data analysis methods for field-scale wind erosion studies and model validation. Earth Surface Processes and Landforms 28(11). pp. 1163-1188.

ZOBECK, T.M. – VAN PELT, R.S., 2006: Wind-induced dust generation and transport mechanics on a bare agricultural field. Journal of Hazardous Materials 132(1). pp. 26-38.

Felhasznált WEB-oldalak[14]

http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/kiadvanyok (KVVM Szennyeződés-terjedési modellek alkalmazása, 2002)

http://www.weru.ksu.edu/ (Wind Erosion Research Unit)

http://www.ars.usda.gov/weps (WEPS Technical documentation)

http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/weppmain (WEPP Technical documentation)

http://www.kpk.gov.pl/konf-6PR/prezentacje/26/d/mensink.ppt (LAWINE: Land degradation by wind erosion – an integrated assessment approach to European soils)

http://www.csrl.ars.usda.gov/wewc/rweq/readme.htm (RWEQ documentation and software)

http://www.boreas.hu (Boreas Fejlesztő és Szolgáltató Kft. honlapja)

http://www.kvvm.hu/olm/index.php (Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat)

http://www.terport.hu/doctar/public/eu/esdp_200012.doc (Európai Területfejlesztési Perspektíva)

Egyéb források

ESRI, 1994: Cell-based Modeling with GRID. Environmental Systems Research Institute, Inc. p. 481.

EROSION CONTROL: Journal of the International Erosion Control Association. 1998. November/December. p. 94.

IECA (International Erosion Control Association), 1996: Proc. of the First European Conference and Trade Exposition On Erosion Control. Barcelona – Sitges.

MÓRA FERENC MÚZEUM, 1999: M5 autópályaásatás dokumentációja. Szeged. Kéziratos térképek.

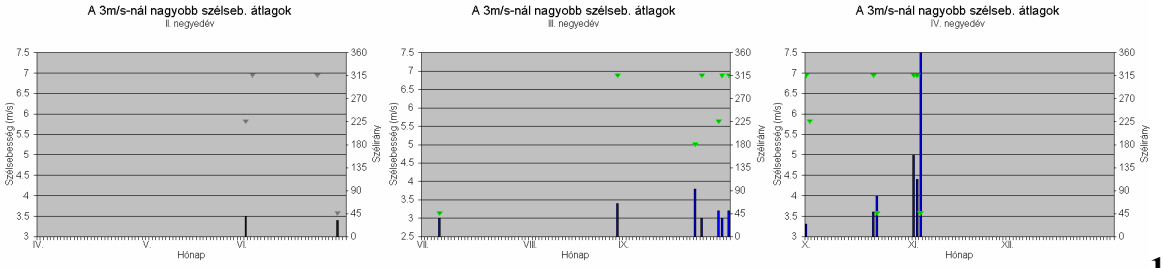
SURFER, 1996: User Help. Golden Software, Inc.

TIM, 1995: Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer. Módszertan. 1. kötet. Budapest. p. 92.

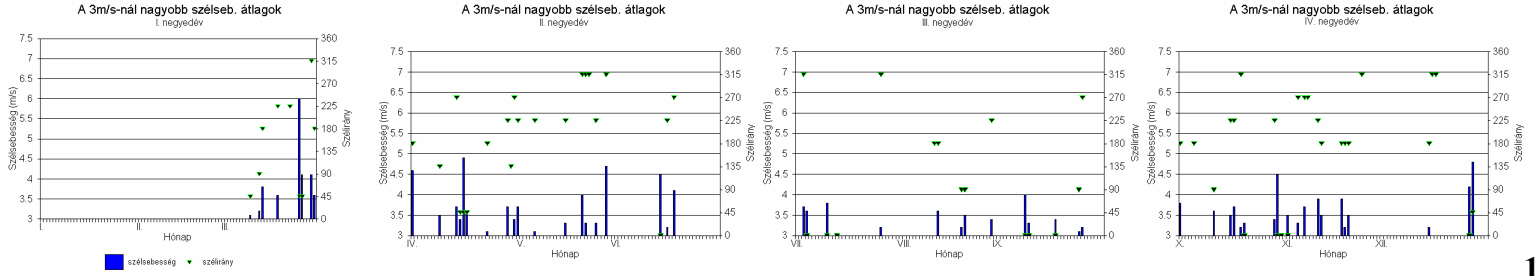
[14] Az összeállításban található összes WEB-es hivatkozás utolsó ellenőrzési dátuma: 2006. október

Mellékletek

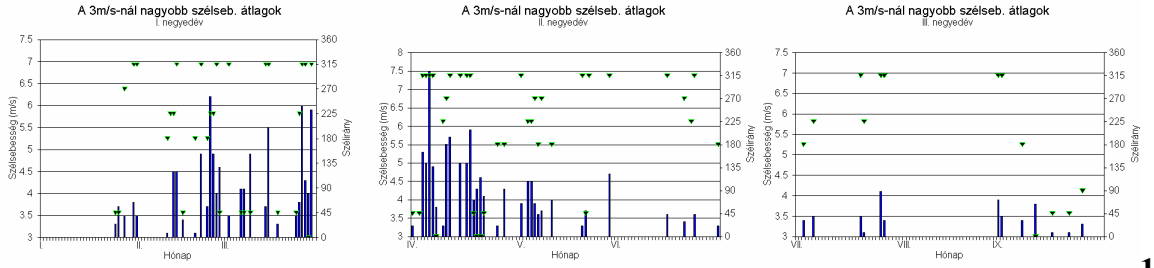
M-1 A parcellás mérés idején mért széladatok negyedévi bontásban



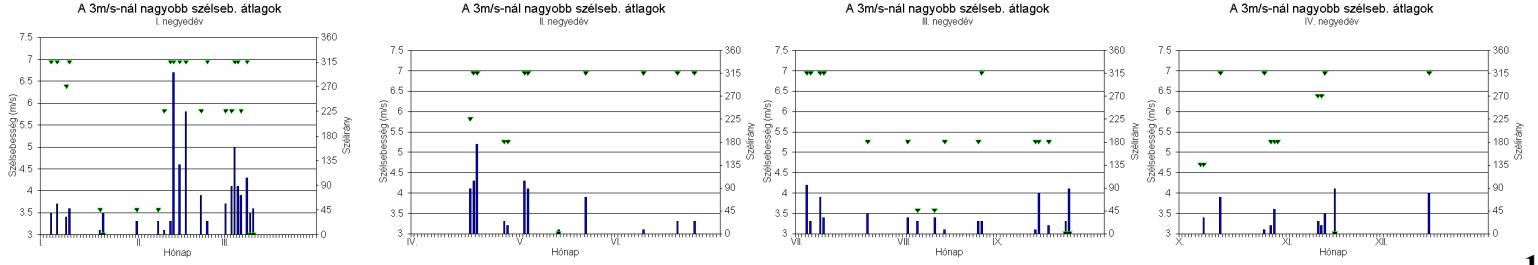
1995



1996

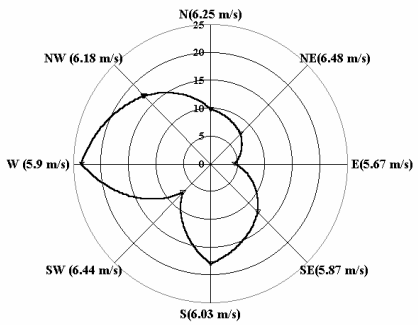


1997

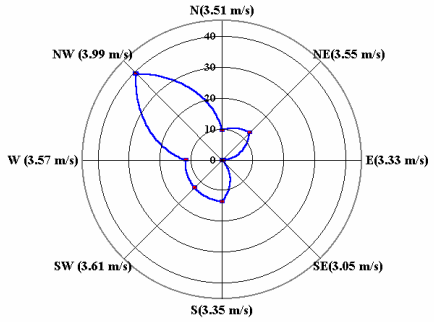


1998

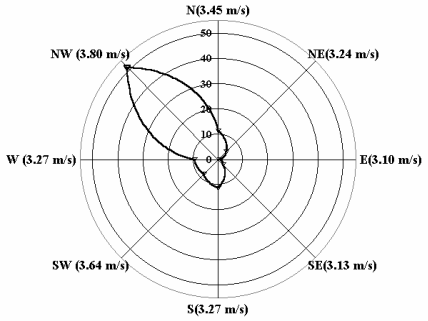
M-2 Az uralkodó szélirányok



1963-72 napi átlag



1997 órás átlag



1998 órás átlag

M-3 A parcellás mérések időpontjai

Év	Hónap / nap											
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
1995.	-	-	-	-	31	14/ 28	12/ 26	09/ 23	06/ 20	04/19	01/15/ 29	-
1996.	-	-	29	05/12/ 19/26	03/24	07/21	05/19	02/16/30	16/27	25	01/12	03
1997.	-	-	12	03/14/28	20	-	-	-	-	-	07/10	-
1998.	-	14/16/18	05/06/11/17	08/20/27	06/12/21	-	-	-	-	14/27	04/11/20	-
1999.	-	-	08/16/23/29	07/12/16/20	-	-	-	-	-	-	-	-
2000.	-	29	07/13/20/	03/10/25	03/16	-	-	-	-	-	-	-

M-4 Minta a Surfer *.dat állományokból a kömpöci széleróziós parcella mérőcölöpös méréseiből

x	y	jun_14	jun_28	jul_12	jul_26	aug_9	aug_23	sep_6	sep_20	okt_4	okt_19	nov_1
0	0	0,000	0,000	-0,005	0,005	-0,001	0,001	-0,001	0,001	0,003	0,000	-0,001
0	5	-0,001	0,004	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	-0,001	0,001	-0,002	0,002
0	10	-0,004	0,000	-0,001	-0,002	-0,001	0,003	-0,005	0,000	0,004	-0,001	-0,001
0	15	0,001	0,000	-0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,008	-0,001	0,001
0	20	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	-0,001	-0,005	0,002	0,005	-0,002	0,000
0	25	-0,001	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000	-0,007	-0,002	0,015	-0,001	0,000
0	30	-0,002	0,000	0,000	-0,001	-0,002	0,000	0,009	-0,006	-0,002	0,000	-0,001
0	35	-0,002	0,000	0,000	-0,002	0,002	0,000	-0,004	0,003	-0,004	-0,001	-0,001
0	40	0,010	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000	0,002	0,011	0,012	0,005	-0,002
0	45	0,009	-0,001	0,002	0,000	0,003	0,002	-0,005	0,001	-0,001	0,007	-0,001
0	50	0,006	0,000	0,000	0,000	-0,003	0,003	-0,002	0,002	0,000		-0,003
5	0	0,000	0,000	0,000	-0,002	0,001	0,001	0,000	-0,001	0,006	-0,001	-0,004
5	5	0,002	0,005	0,003	-0,002	0,002		0,015	0,003	-0,001	0,000	-0,002
5	10	0,000	0,000	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	-0,001
5	15	0,001	0,000	-0,002	-0,001	0,002	0,000	-0,002	-0,007	0,014	-0,001	-0,003
5	20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,004	-0,002	0,006	0,000	0,000
5	25	-0,003	0,000	0,000	-0,002	0,000	0,001	-0,002	0,000	0,016	-0,001	-0,002
5	30	0,004	0,000	0,000	0,000	0,002	-0,001	0,004	0,002	0,003	-0,001	-0,001
5	35	0,007	0,001	0,000	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	-0,024		-0,005
5	40	0,009	-0,002	0,000	0,003	0,001	0,001	0,005	0,001	0,002	-0,001	-0,002
5	45	0,007	0,001	0,005	-0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,002
5	50	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,003	-0,002	0,001
10	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,003	-0,002	0,000
10	5	-0,001	-0,002	0,000	0,002	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
10	10	-0,004	-0,001	-0,001	-0,003	-0,001	0,001	-0,004	-0,002	0,004	-0,002	0,000
10	15	-0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001	-0,003	0,009	-0,002	0,000
10	20	0,002	0,001	-0,003	0,000	0,003	0,002	-0,003	0,002	0,004	-0,001	-0,002
10	25	-0,005	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	-0,005	0,000	0,010	-0,001	-0,001
10	30	-0,003	-0,002	0,000	-0,002	0,000	0,000	0,005	-0,003	0,003	-0,001	-0,002
10	35	-0,001	-0,001	0,000	0,000	-0,001		0,004	-0,003	0,001	0,000	-0,002
10	40	0,006	0,002	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,001	0,006	-0,001	0,001
10	45	0,007	0,001	0,000	0,000	0,003	0,001	-0,001	0,001	0,002	-0,001	0,005
10	50	0,007	0,001	0,000	0,000	0,003	0,000	-0,002	0,003	0,006	-0,003	0,002
15	0	0,001	-0,005	-0,010	0,010	-0,002	0,001	-0,001	-0,001	0,013	-0,002	0,000
15	5	-0,004	0,001	0,000	-0,002	0,001	0,001	-0,002	0,001	0,002	-0,001	-0,001

M-5 A kömpöci széleróziós parcellán mért erózió-akkumuláció értékek heti összesítése

év	1995												
hét	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
A(m^2)	1222,8	1364,9	1345,2	819,8	2025,1	1913,8	902,7	1661,5	2134,5	385,1	1408,2	1286,6	748,4
D(m^2)	1277,2	1135,1	1154,8	1680,2	474,9	586,2	1597,3	838,5	365,5	2114,9	1091,8	1213,4	1751,6
m (t)	5,57	2,36	-0,53	-3,2	9,2	2,55	-3,24	9,51	25,12	-2,86	11,27	-0,95	-4,54

év	1996																	
hét	14	15	16	17	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	44	46	48
A(m^2)	1304,9	506,5	1790,1	363,3	2500	1121,8	1445,4	2098,3	942,4	1459,9	916,3	2154,7	1445,6	1369	773,8	874,3	350	504,2
D(m^2)	1195,1	1993,5	709,9	2136,7	0	1378,2	1054,6	401,7	1557,6	1040,1	1583,7	345,3	1054,4	1131	1726,2	1625,7	2150	1995,8
m	1,63	-5,87	3,37	-7,05	23,68	-0,42	0,87	8,34	-2,75	1,65	-5,86	15,13	0,38	4	-5,37	-6,42	-13,45	-9,45

év	1997				
hét	14	16	18	19	45
A(m^2)	451,8	108,1	326,2	982,1	902,4
D(m^2)	2048,2	2391,8	2173,8	1517,9	1597,6
m (t)	-48,9	-235,2	-59,3	-3,5	-5,9

év	1998															
hét	7	8	10	10	11	12	15	17	18	19	20	21	44	45	46	47
A(m^2)	498,4	125,8	648,9	381	1096,3	276	1096,3	582,6	1326,9	1528,7	1195	749	309,6	925,1	991,4	973,8
D(m^2)	2001,6	2374,2	1851,1	2119	1403,7	2224	1403,7	1917,4	1173,1	971,3	1305	1751	2190,4	1574,9	1508,6	1526,2
m (t)	-14,61	-49,03	-6,6	-12,05	-2,61	-16,1	-7,66	-8,75	0,43	1,86	0,91	-3,06	-19,76	-4,28	2,84	-5,96

év	1999							
hét	10	11	12	13	14	15	16	17
A(m^2)	765	564	656	656	1510	673	1305	947
D(m^2)	1735	1936	1844	1844	990	1827	1195	1553
m (t)	-11,82	-7,26	-5,86	-14,42	1,72	-5,35	2,78	-2,27

M-6 A kömpöci széleróziós parcellán mért erózió-akkumuláció értékek havi és évszakos összesítése

év	**1995**					
Hónap	Jún	Júl	Aug	Szep	Okt	Nov
A	1293,85	1082,5	1969,45	1282,1	1259,8	1147,733
D	1206,15	1417,5	530,55	1217,9	1240,2	1352,267
m	3,965	-1,865	5,875	3,135	11,13	1,926667

év	**1996**							
Hónap	Ápr	Máj	Jún	Júl	Aug	Szep	Okt	Nov
A	991,2	1810,9	1771,85	1201,15	1535,5	1071,4	874,3	427,1
D	1508,8	689,1	728,15	1298,85	964,5	1428,6	1625,7	2072,9
m	-1,98	11,63	4,605	-0,55	4,635	-0,685	-6,42	-11,45

év	**1997**			
Hónap	Már	Ápr	Máj	Nov
A	451,8	217,15	982,1	902,4
D	2048,2	2282,8	1517,9	1597,6
m	-48,9	-147,25	-3,5	-5,9

év	**1998**					
Hónap	Feb	Már	Ápr	Máj	Okt	Nov
A	312,1	600,55	839,45	1199,9	309,6	963,4333
D	2187,9	1899,45	1660,55	1300,1	2190,4	1536,567
m	-31,82	-9,34	-8,205	0,035	-19,76	-2,46667

év	**1999**			**2000**		
Hónap	Már	Ápr	Máj	Már	Ápr	Máj
A	661,6667	1036	947	1675	1440	1200
D	1838,333	1464	1553	825	1060	1300
m	-8,31333	-3,8175	-2,27	29	13,5	-2,65

év	**1995**			**1996**			**1997**			**1998**			**1999**		**2000**
évszak	NY	Ő	TA	NY	Ő	TA	NY	Ő	TA	NY	Ő	TA	NY		TA
A	1448,6	1229,878	1401,05	1502,833	790,9333	334,475	982,1	902,4	584,0333	1199,9	636,5167	848,8333	947		1438,333
D	1051,4	1270,122	1098,95	997,1667	1709,067	2165,5	1517,9	1597,6	1915,967	1300,1	1863,483	1651,167	1553		1061,667
m	2,658333	5,397222	4,825	2,896667	-6,185	-98,075	-3,5	-5,9	-16,455	0,035	-11,1133	-6,06542	-2,27		13,28333

M-7 Szélcsatornás tesztmérések összesítő táblázata

Szemcse-méret (mm)	Szélsebesség (m/s)	Mért idő (s)	Bemért tömeg (g)	BCU idő	Szemcse-becsapódás-szám átlag (1/s)	Maximum szemcsebecsapódás-szám (1/s)	Szemcsebecsapódás-szám (db/min)	Összes szemcsebecsapódás-szám (db)
0,2-0,5	*14,5*	*180*	*10850*	13:37	95	168	5700	
				13:38	120	162	7200	
				13:39	106	149	6360	
				13:40	13	59	780	20400
<0,2	*14,5*	*570*	*3790*	13:48	60	94	3600	
				13:49	76	99	4560	
				13:50	65	92	3900	
				13:51	50	67	3000	
				13:52	45	63	2700	
				13:53	40	63	2400	
				13:54	37	52	2220	
				13:55	33	47	1980	
				13:56	33	50	1980	
				13:57	10	45	600	26940
<0,5	*14,5*	*210*	*8580*	14:01	118	190	7080	
				14:02	121	163	7260	
				14:03	63	100	3780	
				14:04	33	60	1980	20100
<0,5	*11,5*	*490*	*6980*	14:11	8	20	480	
				14:12	12	25	720	
				14:13	13	22	780	
				14:14	16	24	960	
				14:15	22	39	1320	
				14:16	27	43	1620	
				14:17	26	63	1560	
				14:18	9	25	540	
				14:19	1	15	60	8040
<0,5	*8,0*	*240*	*5580*	14:29	0	3	0	
				14:30	0	3	0	
				14:31	0	2	0	
				14:32	0	3	0	
				14:33	0	4	0	0

M-8 **A Dorozsma-Majsai homokháton kijelölt mintaterületről vett talajminták laboratóriumi vizsgálatának eredményei**

Minta száma	durva 1-0,63	közép 0,63-0,32	közép 0,32-0,2	apró 0,2-0,1	finom 0,1-0,06	finom/por 0,06-0,02	iszap 0,02-0,002	agyag 0,002>	CaCO3 %	szervesanyag %	pH (H_2O)
1.	0,2	3,31	28,25	56,4	9,03	0,48	1,88	0,35	3,12	2,61	
2.	0,1	2,21	34,51	53,79	6,63	0,67	1,43	0,56	2,65	1,16	7,64
3.	0	2,07	46,29	44,72	0,3	4,09	1,79	0,69	4,03	0,7	
4.	0,2	1,15	44,47	47,47	1,6	3,08	1,6	0,38	2,96	1,6	
5.	0,15	2,6	37,25	52,1	5,8	0,1	1,6	0,38	2,99	1,77	
6.	0,05	2,14	63,22	30,21	1,14	2,14	0,88	0,22	0	1,25	7,4
7.	3,97	19,55	16,4	26,48	12,32	7,2	10,22	2,85	12,1	10,37	7,83
8.	0,3	10,6	56,67	28,36	2,49	0,1	1,14	0,23	0,42	3,44	7,78
10.	0,25	1,01	35,11	48,24	5,43	6,7	3,07	0,15	1,92	3,18	7,79
11.	0,1	4,74	61,05	30,83	0,1	1,6	1,39	0,16	3,89	4,16	
12.	0,05	0,1	47,51	46,15	3,86	0,9	1,23	0,14	6,79	1,12	
14.	0,1	1,85	38,81	53,85	3,65	0,1	1,43	0,19	5,54	1,31	
15.	0,35	3,3	39,61	50,28	4,16	0,3	1,86	0,06	3,27	1,96	7,87
16.	0,1	4,01	41,1	46,01	5,12	1,9	1,44	0,2	0,95	1,99	
17.	0	2,72	46,1	44,49	4,6	0,3	1,63	0,13	3,51	0,49	
18.	0,2	2,14	34,6	44,9	0,51	9,4	6,8	1,36	5,91	7,33	
19.	0,2	6,05	30,22	48,32	8,68	2,4	3,65	0,46	0	2,73	
20.	0,25	1,36	43,32	47	1,86	4,3	1,76	0,08	1	2,95	
21.	0,1	0,7	45,83	47,07	0,8	3,9	1,4	0,16	3,77	2,31	
22.	1,66	12,41	44,95	34	0,25	3,9	1,62	0,52	21,94	0,6	8,56
23.	0,25	1,48	51,58	41,74	0,15	2,55	1,86	0,34	3,89	1,89	
24.	0,3	3,66	40,41	49,7	4,27	0,2	1,19	0,14	0	1,72	
25.	0,75	5,16	40,55	45,56	4,95	0,7	1,8	0,27	2,26	3,32	
26.	0,2	0,95	45,1	48,1	0,55	3	1,61	0,28	8,25	0,48	
27.	0,3	1,61	55,02	38,3	2,66	0,2	1,53	0,31	3,22	1,75	
28.	0,25	2,37	29,83	52,92	9,7	0,4	3,74	0,79	6,74	2,97	7,99
29.	0,25	4,05	46	43,6	3,7	0,4	1,61	0,27	1,4	1,65	
30.	0,55	4,47	31,27	50,37	5,98	1,6	4,87	0,79	7,12	5,73	
31.	0,15	1,2	53,06	39,13	0,25	4,2	1,59	0,32	0,95	1,33	
32.	0,15	2,9	39,07	49,4	5,15	0,8	2,11	0,28	0,9	1,28	
33.	0,4	1,76	51,18	39,56	0,7	4	1,52	0,7	2,42	1,46	
34.	0	1,91	43,25	48,07	5	0,2	1,29	0,27	1,65	1,01	
35.	0,2	1,6	50,15	40,9	3,8	0,75	2,21	0,28	0	1,79	
36.	0,15	2,7	39,05	49,6	6	0,6	1,53	0,31	2,41	2,32	

M-9 A WEPS Erosion szubmodell input paramétereinek listája, jellemző és alkalmazott értékei

WEPS Erosion input paraméterek	Tipikus érték	input1_Kömpöc	input2_Zsombó
1. Szimulációs terület			
1.1. Sarokpontok koordinátái (m): x_1, y_1, x_2, y_2	-	50 x 50	100 x 100
1.2. Tájolása (szögfok É-tól)	-	225	180
2. Barrierek			
2.1. Száma	0 - 5	0	0
2.2. Koordinátái (m)	-		
2.3. Magassága (m), sűrűsége (m^2/ m^2), szélessége (m)	-	0	0
3. Biomassza / növényzet			
3.1. Magassága (m)	-	0	0
3.2. Szár-index (m^2/m^2), levél-index (m^2/ m^2)	-	0	0
3.3. Sortávolság (m), helyzet (0 = barázda, 1 = gerinc)	-	0	0
3.4. Borítottság (m^2/m^2)	-	0	0
4. Talaj			
4.1. Szintek száma	3 - 10	3	3
4.2. Rétegvastagság (mm)	-	230, 400, 600	230, 400, 600
4.3. Sűrűség (g/cm^3)	0.8 – 1.6	1.25	1.25
4.4. Homok tartalom: 0.05-2.0 mm (kg/kg)	-	0.98	0.975
4.5. Finom homok: 0.05-0.1 mm (kg/kg)	-	0.11	0.075
4.6. Vályog (kg/kg)	-	0.018	0.02
4.7. Agyag (kg/kg)	-	0.002	0.005
4.8. Vázanyag (m^3/ m^3)	0 – 0.5	0	0
4.9. Aggregátum sűrűség (g/cm^3)	0.8 – 2.0	1.87	1.87
4.10. Aggregátum stabilitás (ln[J/kg])	0.5 – 5.0	0.9	0.9
4.11. Aggregátumok átlagos átmérője (mm)	0.1 - 15	0.3	0.3
4.12. Aggregátumok legkisebb átmérője (mm)	0.006 – 0.02	0.01	0.01
4.13. Aggregátumok legnagyobb átmérője (mm)	2.0 – 100.0	27.0	27.0
4.14. Aggregátum-átmérő szórása (mm)	4.0 – 15.0	7.5	7.5
4.15. Kéreg: kiterjedése (m^2/m^2), vastagsága (mm), sűrűsége (g/cm^3), stabilitása (ln[J/kg])	0.0 - 1.0 0.0 – 10.0 0.8 – 1.6 0.3 – 5.0	0 0 0 0	0 0 0 0
4.16. Allmaras random érdesség (mm)	2.0 – 10.0	4	4
4.17. Gerinc: magasság (mm), távolság (mm),	0.0 – 300.0	0	0

szélesség (mm), tájolás (szögfok É-tól)	60.0 – 1000.0 100.0 – 2000.0 0.0 – 179.0	0 0 0	0 0 0
5. Talajnedvesség			
5.1. Holtvíztartalom a hervadáspontnál (kg/kg)	0.005 – 0.242	0.053	0.053
5.2. Talajszintek nedvessége (kg/kg)	0.01 – 0.335	0.01	0.01
5.3. Feltalaj óránkénti talajnedvessége (kg/kg)	0.005 – 0.44	0.0	0.0
6. Meteorológia (szél)			
6.1. Légsűrűség (g/cm^3)	1.2	1.2	1.2
6.2. Szélirány (fok)	-	e.v.	e.v.
6.3. Szélmérések száma / nap (max: 96)	-	96	96
6.4. Szélmérő: magassága (m), aerodinamikai érdesség (mm), elhelyezkedése (0: parcellán; 1: parcellán kívül)	- - -	8.4 25.0 1	0.5 25.0 0
6.5. Szél/Weibull jelző (0: Weibull paraméterek; 1: szélsebesség)	-	e.v.	e.v.
6.6. Szélstatisztika (ha 6.5. Szél/Weibull jelző = 0): szélcsend tartama (h/h); Weibull „c” faktor (m/s); Weibull „k” faktor	-	e.v.	e.v.
6.7. Szélsebesség (ha 6.5. Szél/Weibull jelző = 1): a mérési intervallumra számított átlagsebesség (m/s).	-	e.v.	e.v.

M-10 Minta a WEPS Erosion bemenő szöveges állományaiból az 1997. április 13-i széleróziós eseményre

```
#     +++ PURPOSE +++
#
#     Input file which is read by subroutine
erodin.for
#
#     +++ DEFINITIONS +++
#
#     All lines beginning with a "#" character
are comment lines
#     and are skipped.
#     All comments are prior to each line of
data input
#
#     Debug flag for providing different
levels of debug info
#        value of 0 will print no debug
information
#        value of 1 will print out and number
all input lines
#        value of 2 will print out and number
all DATA input lines

#        value of 3 will do both 1 and 2
 0
#
#     EROSION initialization flag
 .TRUE.
#     EROSION "print" flag
 1
#
# +++ SIMULATION REGION +++
#
#     Simulation region diagonal coordinates
(m)
#     specify in this form: x1,y1  x2,y2
 0.0,  0.0  50.0,  50.0
#     Simulation region orientation angle
(degrees from North)
 225.0
#
# +++ ACCOUNTING REGIONS +++
#
#     Number of accounting regions (must be 1)
 1
#     Accounting region diagonal coordinates
(m)
#     specify in this form: x1,y1  x2,y2
 0.0, 0.0  50.0, 50.0
#
# +++ BARRIERS ++++++ BARRIERS ++++++ BARRIERS
++++++ BARRIERS +++
#
#     Number of barriers (0-5)
 0

#
#     Barrier linear coordinates (m)
#       specify in this form: x1,y1  x2,y2
# 0.0,     0.0  0.0  276.0
#     Barrier height (m), porosity (m2/m2),
width (m)
# 0.2 0.5 276.0
#     Repeat the above two input lines for
each barrier
# 0.0,   276.0  276.0  276.0
# 0.2 0.5 276.0
# 0.0,   0.0    276.0  0
# 0.1 0.3 276.0
# 276.0, 0.0    276.0  276.0

# 0.3 0.4 276.0
#
# +++ SUBREGIONS +++
#     Number of subregions (must be 1)
 1
#     Subregion diagonal coordinates (m)
#       specify in this form: x1,y1  x2,y2
 0.0, 0.0  50.0, 50.0
#
# +++ BIOMASS ++++++ BIOMASS ++++++ BIOMASS
++++++ BIOMASS ++++++ BIOMASS +++
#
#      Height of standing biomass (m)
 0.0
#
#      stem area index (m2/m2), leaf area
index (m2/m2)
#        both refer to STANDING biomass only
 0.0  0.0
#
#      crop row spacing(m),0.0=broadcast;
plant location (0=furrow,1=ridge)
 0.0, 0
#
#      Flat biomass cover (m2/m2)
 0.00
#
# +++ SOIL ++++++ SOIL ++++++ SOIL ++++++ SOIL
++++++ SOIL ++++++ SOIL +++
#
#      Number of soil layers (3-10)
 3
#
#      The following soil inputs are repeated
for each layer
#      layer thickness (mm)
 230     400       600
#      bulk density (g/cm3)
 1.5    1.25      1.25
#      sand content, 0.05-2.0 mm (kg/kg)

 0.78   0.80     0.80
#      very fine sand, 0.05-0.1 mm (kg/kg)
 0.31   0.20     0.20
#      silt content (kg/kg)
 0.2    0.015     0.00415
#      clay content (kg/kg)
 0.015   0.05     0.05
#      rock volume (m3/m3)
 0.0     0.0       0.0
#      aggregate density (g/cm3)
 1.873   2.000     2.000
#      aggregate stability (ln[J/kg])
 1.2    1.874     1.874
#
# The next 4 parameters define the aggregate
size distribution
#      aggregate geometric mean diameter (mm)
 0.4    1.1    1.9
#      minimum aggregate size (mm)
 0.010   0.010     0.010
#      maximum aggregate size (mm)
 27.0 25.4    45.8

#      aggregate geometric standard deviation
(mm/mm)
 7.5 16.175     9.981
#
#    fraction of soil surface that is crusted
(m2/m2)
#    crust (consolidated zone) thickness (mm)
#    fraction of crusted surface covered by
loose material (m2/m2)
#    mass of loose material on crusted surface
(kg/m2)
#    crust density (g/cm3)
#    crust stability (ln[J/kg])
 0.0  0.0  0.0  0.0  1.87 1.87
#    Allmaras random roughness (mm)
 1
#
#    Ridge height (mm)
#    Ridge spacing (mm)
#    Ridge width (mm)
#    Ridge orientation (degrees from North)
 0.0  0.0  0.0  0.0
#    Dike spacing (mm)
 0.0
#
```

```
#     +++ HYDROLOGY +++
#    Snow depth (mm)
 0.0
# +++ SOIL WATER ++++++ SOIL WATER ++++++ SOIL
WATER ++++++ SOIL WATER +++
#    Soil layer wilting point water content
(kg/kg)
 0.04     0.048     0.045
#    Soil layer water content (kg/kg)
 0.00  0.012  0.03
#
#    HOURLY soil water content at soil surface
(kg/kg)
#       two lines, with 12 values on each line
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0
#
# +++ WEATHER ++++++ WEATHER ++++++ WEATHER
#    Air density (g/cm3)
 1.2
#    Wind direction (deg)
 320.0
#    Number of intervals/day, maximum = 96
 96
#
#    anemometer height (m)
#    aerodynamic roughness at anemometer site
(mm)
#    anemometer location flag (0 - away from
field, 1 - on field)
 8.4   25.0    1
#
#      Wind/Weibull flag  (0 - use Weibull
parameters, 1 - use wind speeds)
 1
#        wind statistics
#    Fraction of time that winds are calm
(hr/hr)
#    Weibull "c" factor (m/s)
#    Weibull "k" factor
#    The 3 parameters below are only present
when the Wind/Weibull flag = 0
# 0.1  9.125  1.66
#    Wind speeds (m/s)
#    The wind data are only present when the
Wind/Weibull flag = 1
#    Must have as many wind speeds as number
of intervals/day.
#    Must have 6 values per line.
#    Wind data should be AVERAGES for the
period.
#    Hourly averages will likely underestimate
wind erosion somewhat.
#    30-min averages or shorter is more
suitable.
 4.4   4.6    4.7    5.4    6.3    7.4
 7.9   9.0    8.7    6.6    7.6    10.0
 8.0   8.0    7.4    5.3    5.0    5.3
 4.6   4.7    4.7    5.4    5.3    5.6
 5.9   6.1    7.2    5.6    6.1    6.4
 6.4   6.2    5.6    6.2    6.2    8.4
 9.8   12.7   13.3   13.0   17.8   17.0
 16.3  16.8   16.5   16.3   17.3   19.0
 19.3  19.8   23.0   23.0   24.0   20.6
 23.6  22.7   22.8   23.9   23.2   25.7
 23.0  24.9   22.1   22.9   21.4   20.1
 18.7  20.1   20.5   20.5   19.5   18.5
 18.7  20.4   17.3   18.0   17.2   13.8
 16.1  15.5   13.0   11.1   9.6    11.8
 14.3  12.5   11.2   10.7   10.2   10.5
 9.8   8.0    8.0    5.2    4.8    6.9
#
# +++ VARIABLES TO WRITE TO 'PLOT.OUT' ++++++
VARIABLES TO WRITE TO 'PLOT.OUT'
#    flag for writing variables to 'plot.out'
#   -1 = write nothing
#    0 = write erosion variables; write
variables below if flagged with a 1
 0
#   Next are 2 lines per variable:
#   1st line: flag (0=don't write, 1=do write)
and variable description
#   2nd line: this info is used as a header in
'plot.out'
#             place header within first 12
positions of the line
#   field length (m)
 0
 Length(m)
#   biomass height(m)
 0
 bio_ht(m)
#   stem area index (m2/m2)
 0
 stem_area
#   biomass leaf area index (m2/m2)
 0
 lai_area
#   biomass flat fraction cover (m2/m2)
 0
 flat_cov
#   soil fraction very fine sand in layer 1
(kg/kg)
 0
 vfsand
#   soil fraction sand in layer 1 (kg/kg)
 0
 sand
#   soil fraction silt in layer 1 (kg/kg)
 0
 silt
#   soil fraction clay in layer 1  (kg/kg)
 0
 clay
#   soil volume rock in layer 1(m3/m3)
 0
 rock_vol
#   soil aggregate stability (ln[J/kg])
 0
 ag_stab
#   aggregate geometric mean diameter (mm)
 0
 ag_gmd
#   minimum aggregate size (mm)
 0
 ag_min
#   maximum aggregate size (mm)
 0
 ag_max
#   aggregate geometric standard deviation
(mm/mm)
 0
 ag_std
#   fraction of soil surface that is crusted
(m2/m2)
 0
 crust_cv
#   crust (consolidated zone) thickness (mm)
 0
 crust_z(mm)
#   fraction of crusted surface covered by
loose material (m2/m2)
 0
 los_cv
#   mass of loose material on crusted surface
(kg/m2)
 0
 los(kg/m2)
#   crust density (g/cm3)
 0
 cr_den
#   crust stability (ln[J/kg])
 0
 cr_se
#   Allmaras random roughness (mm)
 0
 rr(mm)
#   Ridge height (mm)
 0
 z_rgh(mm)
#   Ridge spacing (mm)
 0
 x_rgs(mm)
#   Ridge width (mm)
 0
```

M-11 Minta a WEPS Erosion szubmodell kimeneti állományaiból az 1997. április 13-i széleróziós eseményre

```
OUTPUT FROM ERODOUT.FOR

Total grid size: ( 13 , 13 )   Inner grid size: ( 11 , 11 )

     Border        egt (kg/m)
top (i=1,imax-1, j=jmax) bottom (i=1,imax-1, j=0) right (i=imax, j=1,jmax-1) left (i=0, j=1,jmax-1)
      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
    178.48    168.19    154.78    137.62    117.61     96.00     73.93     52.67     34.26     19.44      8.18
      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
    254.89    249.68    241.87    230.33    213.43    189.58    159.48    123.13     84.95     48.33     19.52

     Border        egtss (kg/m)
top (i=1,imax-1, j=jmax) bottom (i=1,imax-1, j=0) right (i=imax, j=1,jmax-1) left (i=0, j=1,jmax-1)
      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
     40.02     34.88     29.69     24.59     19.62     14.78     10.29      6.50      3.63      1.63      0.46
      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
     57.15     54.03     50.10     45.27     39.58     33.14     26.03     18.39     11.22      5.39      1.59

     Border        egt10 (kg/m)
top (i=1,imax-1, j=jmax) bottom (i=1,imax-1, j=0) right (i=imax, j=1,jmax-1) left (i=0, j=1,jmax-1)
    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000
    0.2936    0.2580    0.2219    0.1863    0.1510    0.1151    0.0807    0.0511    0.0284    0.0124    0.0032
    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000
    0.4193    0.3976    0.3703    0.3368    0.2972    0.2521    0.2011    0.1438    0.0884    0.0425    0.0120

     Field         egt (kg/m^2)
     -3.30     -3.29     -3.27     -3.23     -3.19     -3.13     -2.95     -2.93     -2.81     -2.58     -2.27
     -5.31     -5.23     -5.13     -5.00     -4.82     -4.63     -4.40     -4.08     -3.62     -3.11     -2.49
     -7.41     -7.08     -6.92     -6.69     -6.38     -5.98     -5.51     -4.92     -4.25     -3.43     -2.60
     -8.42     -8.32     -8.19     -8.00     -7.65     -6.99     -6.37     -5.55     -4.62     -3.62     -2.66
     -9.00     -9.00     -8.81     -8.44     -8.22     -7.83     -6.94     -5.99     -4.89     -3.72     -2.69
     -8.69     -8.78     -8.90     -8.95     -8.55     -8.15     -7.49     -6.31     -5.06     -3.78     -2.70
     -8.30     -8.59     -8.67     -8.88     -8.86     -8.32     -7.74     -6.50     -5.17     -3.82     -2.71
     -7.51     -8.17     -8.61     -8.78     -8.98     -8.42     -7.91     -6.63     -5.24     -3.83     -2.71
     -6.88     -7.64     -8.41     -8.69     -8.94     -8.53     -8.00     -6.71     -5.29     -3.90     -2.71
     -6.44     -7.25     -8.19     -8.70     -8.92     -8.69     -8.06     -6.77     -5.31     -3.91     -2.71

     -6.13     -6.98     -7.98     -8.67     -8.90     -8.77     -8.10     -6.80     -5.33     -3.92     -2.72

     Field         egtss (kg/m^2)
     -0.25     -0.25     -0.25     -0.24     -0.23     -0.22     -0.21     -0.19     -0.16     -0.12     -0.07
```

-0.63	-0.62	-0.60	-0.58	-0.55	-0.51	-0.46	-0.40	-0.31	-0.22	-0.10
-1.04	-0.98	-0.95	-0.90	-0.84	-0.76	-0.67	-0.56	-0.43	-0.28	-0.12
-1.38	-1.33	-1.27	-1.20	-1.11	-0.97	-0.84	-0.68	-0.51	-0.31	-0.13
-1.62	-1.58	-1.51	-1.41	-1.30	-1.16	-0.96	-0.77	-0.56	-0.33	-0.14
-1.72	-1.67	-1.63	-1.57	-1.44	-1.27	-1.07	-0.82	-0.59	-0.34	-0.14
-1.82	-1.76	-1.69	-1.63	-1.54	-1.35	-1.13	-0.86	-0.61	-0.35	-0.14
-1.93	-1.84	-1.75	-1.67	-1.59	-1.40	-1.18	-0.89	-0.62	-0.35	-0.14
-2.01	-1.91	-1.80	-1.70	-1.61	-1.44	-1.21	-0.90	-0.63	-0.37	-0.14
-2.06	-1.96	-1.84	-1.73	-1.63	-1.47	-1.22	-0.91	-0.63	-0.37	-0.14
-2.09	-2.00	-1.87	-1.75	-1.65	-1.49	-1.23	-0.92	-0.64	-0.37	-0.14

Field egt10 (kg/m^2)

-0.0019	-0.0019	-0.0019	-0.0018	-0.0017	-0.0017	-0.0015	-0.0014	-0.0011	-0.0008	-0.0004
-0.0051	-0.0049	-0.0048	-0.0046	-0.0044	-0.0041	-0.0037	-0.0032	-0.0024	-0.0016	-0.0007
-0.0083	-0.0078	-0.0075	-0.0071	-0.0066	-0.0061	-0.0054	-0.0045	-0.0034	-0.0021	-0.0008
-0.0106	-0.0103	-0.0099	-0.0094	-0.0087	-0.0076	-0.0066	-0.0054	-0.0040	-0.0024	-0.0009
-0.0121	-0.0119	-0.0116	-0.0108	-0.0100	-0.0091	-0.0075	-0.0061	-0.0044	-0.0026	-0.0010
-0.0123	-0.0122	-0.0121	-0.0118	-0.0110	-0.0098	-0.0084	-0.0065	-0.0047	-0.0027	-0.0010
-0.0128	-0.0124	-0.0122	-0.0121	-0.0117	-0.0104	-0.0089	-0.0068	-0.0049	-0.0027	-0.0010
-0.0134	-0.0129	-0.0124	-0.0121	-0.0119	-0.0108	-0.0092	-0.0070	-0.0050	-0.0027	-0.0010
-0.0140	-0.0133	-0.0127	-0.0123	-0.0120	-0.0110	-0.0094	-0.0071	-0.0050	-0.0029	-0.0010
-0.0143	-0.0137	-0.0129	-0.0124	-0.0121	-0.0113	-0.0096	-0.0072	-0.0051	-0.0029	-0.0010
-0.0145	-0.0139	-0.0131	-0.0124	-0.0122	-0.0114	-0.0097	-0.0073	-0.0051	-0.0029	-0.0010

AVERAGES

total egt	salt/creep	susp egtss	PM10 egt10
kg/m^2			
-6.15	-5.19	-0.96	-0.0072

Crossing Boundaries kg/m

downward order: top, bottom, right, left

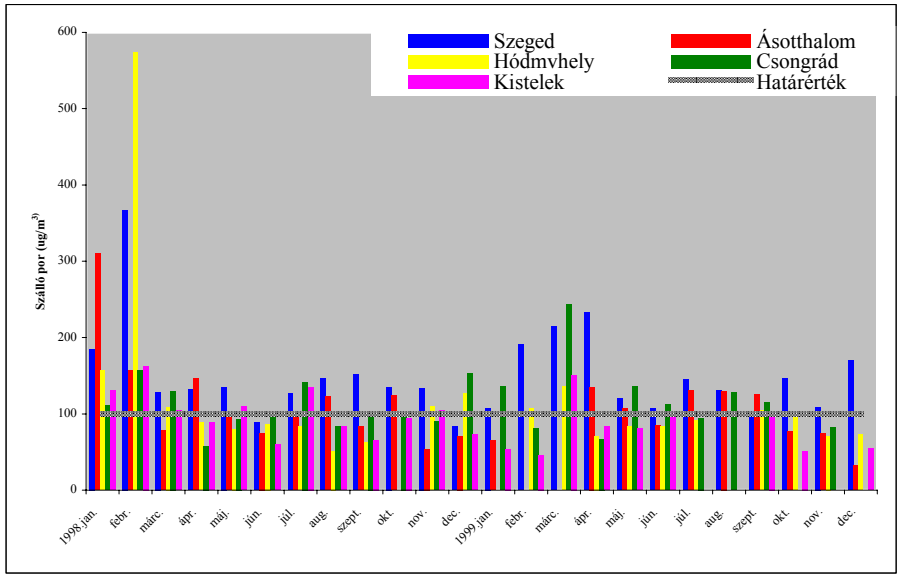
0.00	0.00	0.00
94.65	16.92	0.13
0.00	0.00	0.00
165.02	31.08	0.23

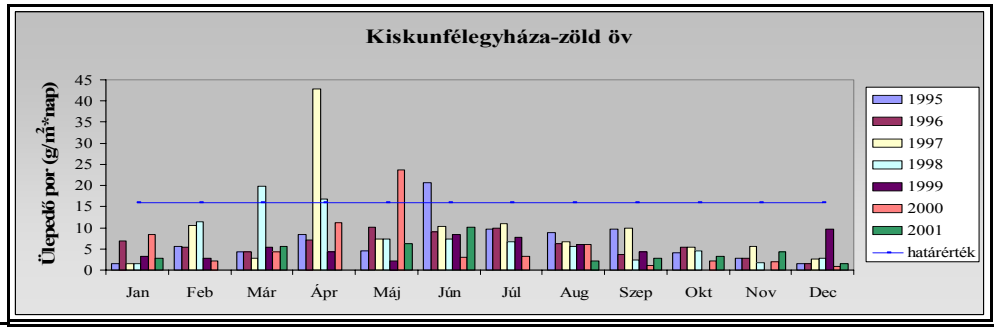
comparision of interior & boundary loss

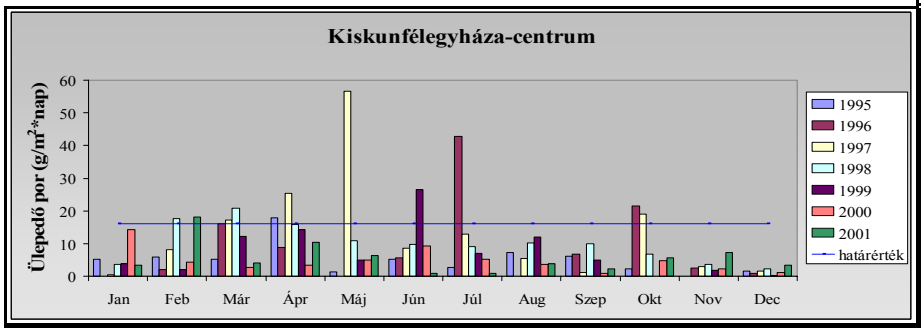
interior	boundary	int/bnd ratio
-15383.08	15383.08	-1.00

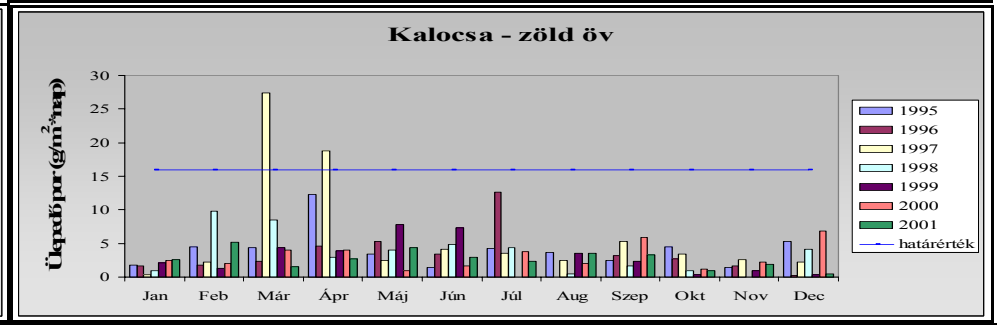
repeat of total, salt/creep, susp, PM10: 6.15 5.19 0.96 0.0072

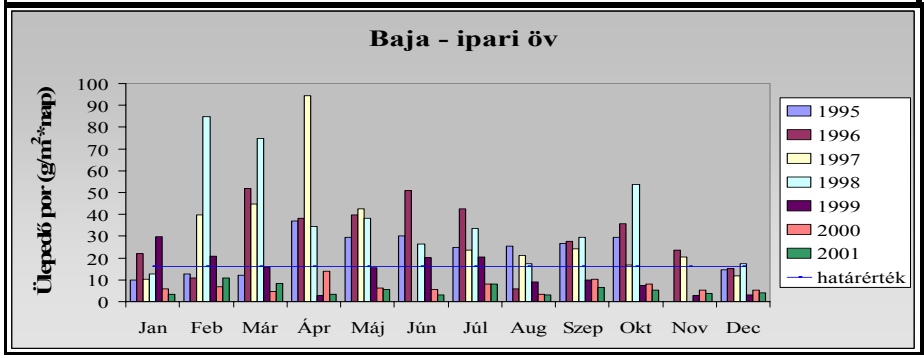
M-12 Szálló por értékek Csongrád megyében 1998-99-ben és ülepedő por értékek Bács-Kiskun megyében 1995-2001-ben

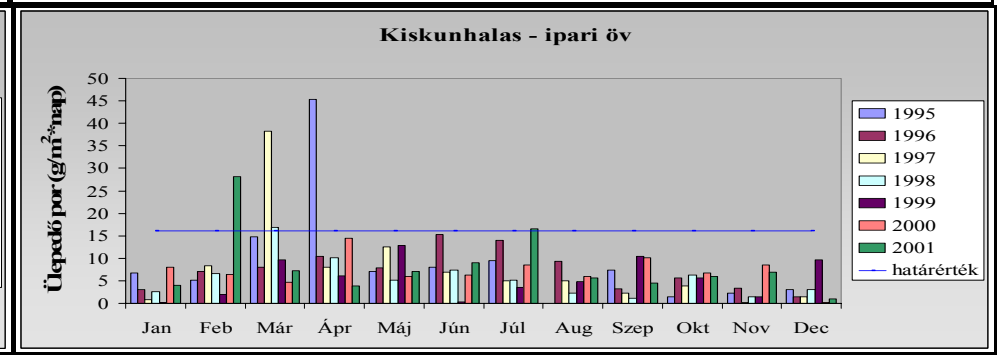




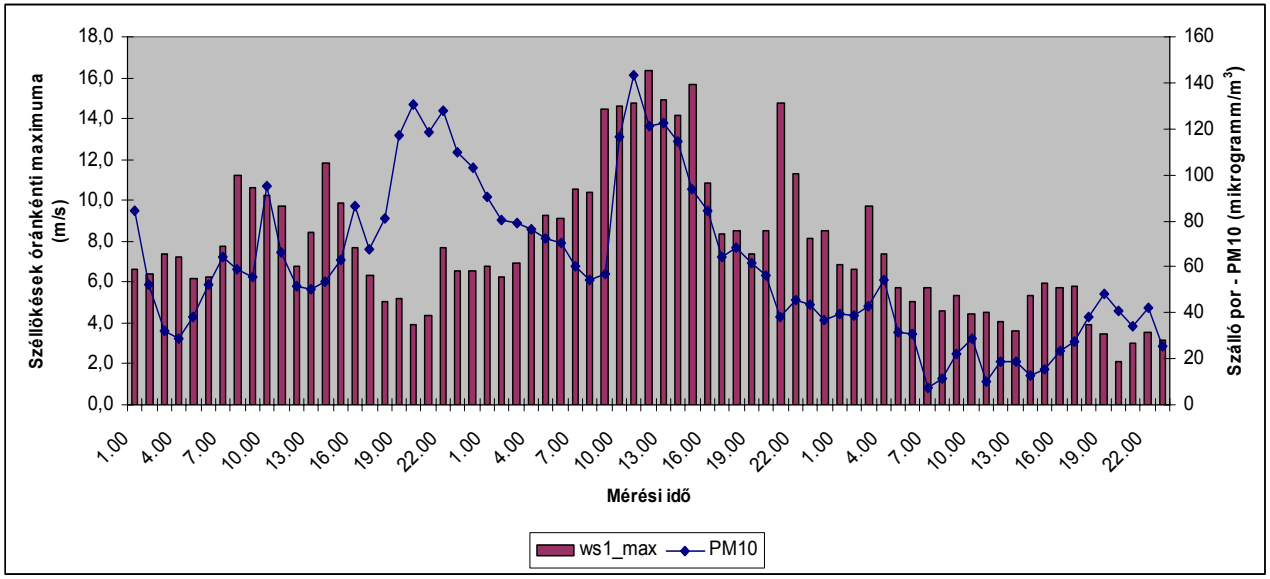


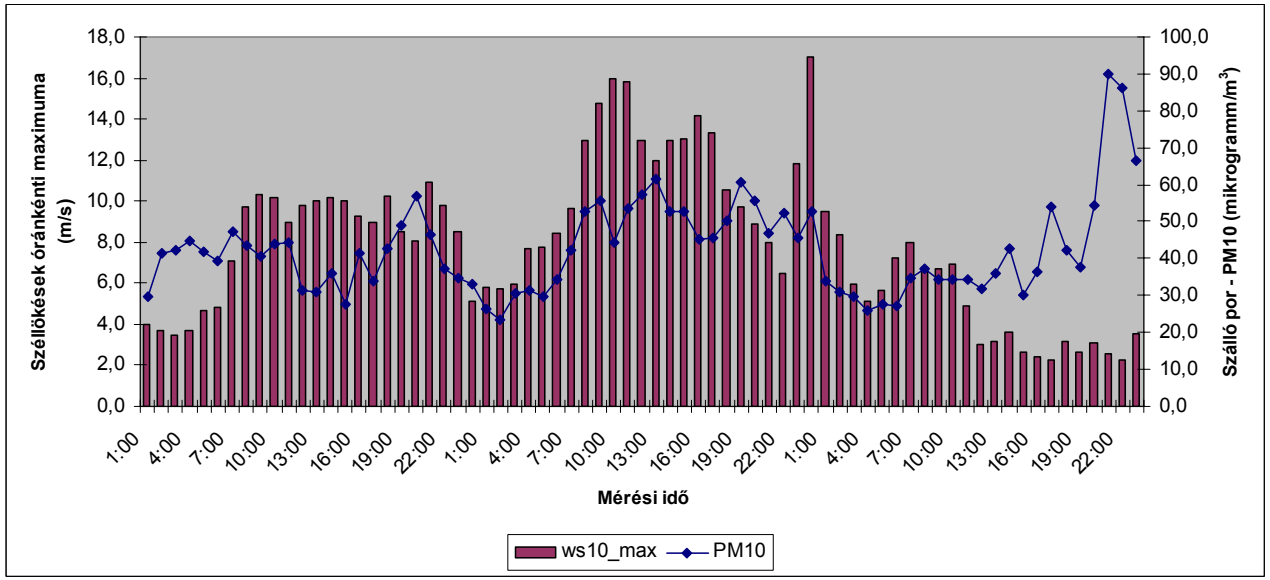






M-13 **A 2004 márciusi (fent) és áprilisi időszak óránkénti szélsebesség-maximumai és a monitorállomáson mért PM10 értékek**





***M-K* Homokfodrok a kömpöci parcellán (felső sor) és a fülöpházi homokbuckákon**