

Szegedi Tudományegyetem Természettudományi Kar  
Földtudományok Doktori Iskola

**Geoinformatikai módszerek és folyamatmodellek alkalmazása  
a széleróziós vizsgálatokban**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Szatmári József**

Témavezetők:

Dr. Mezősi Gábor  
egyetemi tanár

Dr. Mucsi László  
egyetemi docens

Szeged, 2006

## 1. Előzmények és célkitűzések

Magyarország mezőgazdaságilag művelt területének (6,15 millió hektár) közel negyede, 1,45 millió hektár szélerózióval veszélyeztetett. A szél pusztító tevékenységének leginkább kitett laza futóhomokos felszínnek a legnagyobb kiterjedésben a Duna-Tisza közén terülnek el, amelynek középső és délkeleti, homokhátsági területein széleróziós vizsgálatokat végeztünk 1995 és 2005 között.

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. 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.

A szélerózió tudományos megközelítésének három típusa a következő:

1. Terepi kísérletekkel és mérésekkel követhetőek nyomon legérzékenyebben a változások.
2. A lejátszódó folyamatok aprólékos modellezése szélcsatornában lehetséges, ahol tetszés szerint változtatható a szélesebesség, 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 talajvesztés terepen mért és becsült értékeinek statisztikai összevetése a környezeti paraméterekkel (csapadékmennyiség, szélesebesség, szélirány, talajállapot, művelés).

Ez utóbbi 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 felmerülő tudományos és gyakorlati kérdésekre.

Az előző gondolatok alapján az értekezés célkitűzése az alábbi kérdésekre – a kutatómunka során – kapott válaszok megfogalmazása:

1. Van-e olyan, általunk is alkalmazható, terepi széleróziós mérési módszer, amellyel a széleróziós folyamat dinamikájáról, az anyagáram mennyiségi jellemzőiről valóság közeli adatokat kaphatunk?

2. Alkalmazhatók-e – és ha igen, milyen feltételekkel – az eltérő éghajlati körülmények között készült szélrózsiós 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 szélrózsió-veszélyeztetettségének mértékére?
4. Kimutatható-e szignifikáns kapcsolat a tavaszi és őszi szélrózsió okozta poremisszió és a települési porterhelés növekedése között a Duna-Tisza közén?

## **2. Az alkalmazott kutatási módszerek**

### **2.1 Mérőcölöpös eróziós mérés a kísérleti parcellán, szélstatisztikai számítások**

A szél által mozgatott homok mennyiségének mérésére a Majsza-Dorozsmai homokháton egy 50x50 m-es parcellát alakítottunk ki, amelyen mérőcölöpökkel, heti-kétheti rendszerességgel mértük a homokmozgást. A parcellát rendszeresen gyomirtóztuk és szántattuk, kialakítva ezzel a növényzettel gyéren borított talajfelszínt, amely a tavaszi és őszi időszakokban jellemzően és nagy kiterjedésben szélrózsió-veszélyeztetett a Duna-Tisza közén. A meteorológiai adatok mérése az állomás műszerkertjében és a parcellán elhelyezett műszerekkel történt, valamint az OMSZ szegedi állomásának részletes adatait használtam fel. Az 1963-1973 közötti időszakra a napi átlagos szélesebesség-gyakoriság értékeket határoztam meg havi bontásban, míg az OMSZ által 1997-2000 között mért 10 perces széllokések gyakorisági eloszlását Weibull-féle eloszlással közelítettem, melynek eredményeként a  $c$  (sebesség) skálatényezőket 16 szélirányra adtam meg havi bontásban.

A mérőrudakon mért értékeket felületmodellező programmal dolgoztam fel, melynek eredményeként meghatároztam az elhordott, illetve fölhalmozott anyagterefogat és homokmennyiség (tömeg) értékét.

A parcellán és környezetében 1997 tavaszán, a vizsgált időszakban észlelt legpusztítóbb szél- és homokvihar idején is folyamatosan méréseket végeztünk, valamint a deflációs és akkumulációs folyamatoknak kitett területekről talajmintákat gyűjtöttünk, amelyeket laboratóriumban megvizsgáltunk. Ezáltal az elhordott talaj mennyiségéről és minőségi változásairól is kvantitatív információkat nyertem.

## **2.2 Homokszemcsék becsapódásszámának mérése mikrofonos műszerrel**

A terepen történő széleróziós mérésekhez fizikus szakember közreműködésével kifejlesztettünk és összeállítottunk egy hordozható, digitális adatrögzítésre alkalmas mérőállomást, amely akusztikus mikrofonokból, szélsébséget és szélirányt mérő műszerekből és talajnedvesség-érzékelőkből épül fel. 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 leállításának ideje, vagyis az eróziós periódus időtartama, dinamikája és kiértékeléshez szükséges percenkénti szél- és talajnedvesség-értékek.

## **2.3 Széleróziós modellek alkalmazhatóságának vizsgálata**

Terepi mérési adataink felhasználásával két modell alkalmazhatóságát vizsgáltuk:

- Az RWEQ (Revised Wind Erosion Equation) modellt 1997 tavaszának mért és számított időjárási adataival teszteltem, hiszen ezen időszakból rendelkezünk a legnagyobb elhordási értékekkel a kísérleti területen, az adott időszak aktív, több hetes széleróziós tevékenységének következtében. A mintaterületről terepi adatokat gyűjtöttük be: 32 pontból a százalékos növényzet-borítottsági értékeket, valamint talajmintákat, amelyeknek meghatároztuk a szemcseösszetételét, szervesanyag- és karbonáttartalmát. A felvett minták vizsgálatával kapott eredményeket a modellben a “Talaj” szubmodell bemenő értékeiként használtam fel.
- A WEPS (Wind Erosion Prediction System) Erosion széleróziós szubmodell magyar viszonyokra történő adaptálását Az 1995-2000 között mért, számított, az Országos Meteorológia Szolgálatától beszerzett meteorológiai, talaj-, területhasználati, felszínborítási és talajművelési adatok felhasználásával végeztem. Munkám legfontosabb része a mintaterületről rendelkezésre álló részletes széladatokból (1997-2000 évi 10 percenkénti maximális szélsebesség és iránya) a szükséges szélstatistikai számítások – a gyakorisági eloszlás Weibull-féle eloszlással történő közelítése – algoritmizálása, programozása. A modell terepi mérési alapadatbázison történő futtatását, vagyis a tényleges szimulációt megelőzően a modell részletes kidolgozásához és alkalmazásához nélkülözhetetlen lépéseket hajtottam végre:

verifikáció, számítási háló meghatározása, paraméterek megadása, érzékenységi vizsgálat és kalibráció, validáció.

## **2.4 Integrált széleróziós geoinformatikai rendszer létrehozása**

A terepi mérési módszereket, ezek eredményeit, a vizsgált modelleket és ezek kimeneteit, valamint a távérzékelt adatok interpretációjával nyert tematikus térképi rétegeket integráltam egy komplex rendszerbe (1. ábra), amely eszközeit illetően különböző geoinformatikai eljárások összekapcsolása, összességében nem egy valódi, széleróziós program, sokkal inkább program csomag.

A Duna-Tisza közén kijelölt mintaterületen 1995-2000-ben végzett mérések eredményeinek geostatisztikai feldolgozásával kvantitatív deflációs értékeket kaptam, másrészt az RWEQ modellből a terepi mérésekkel nem vizsgált felszínre becsült eróziós értékeket generáltam. További, elsősorban raszteres geoinformatikai eljárásokkal, távérzékelt felvételek alapján, szélerózió-veszélyeztetettségi térképet szerkesztettem a Duna-Tisza közére.

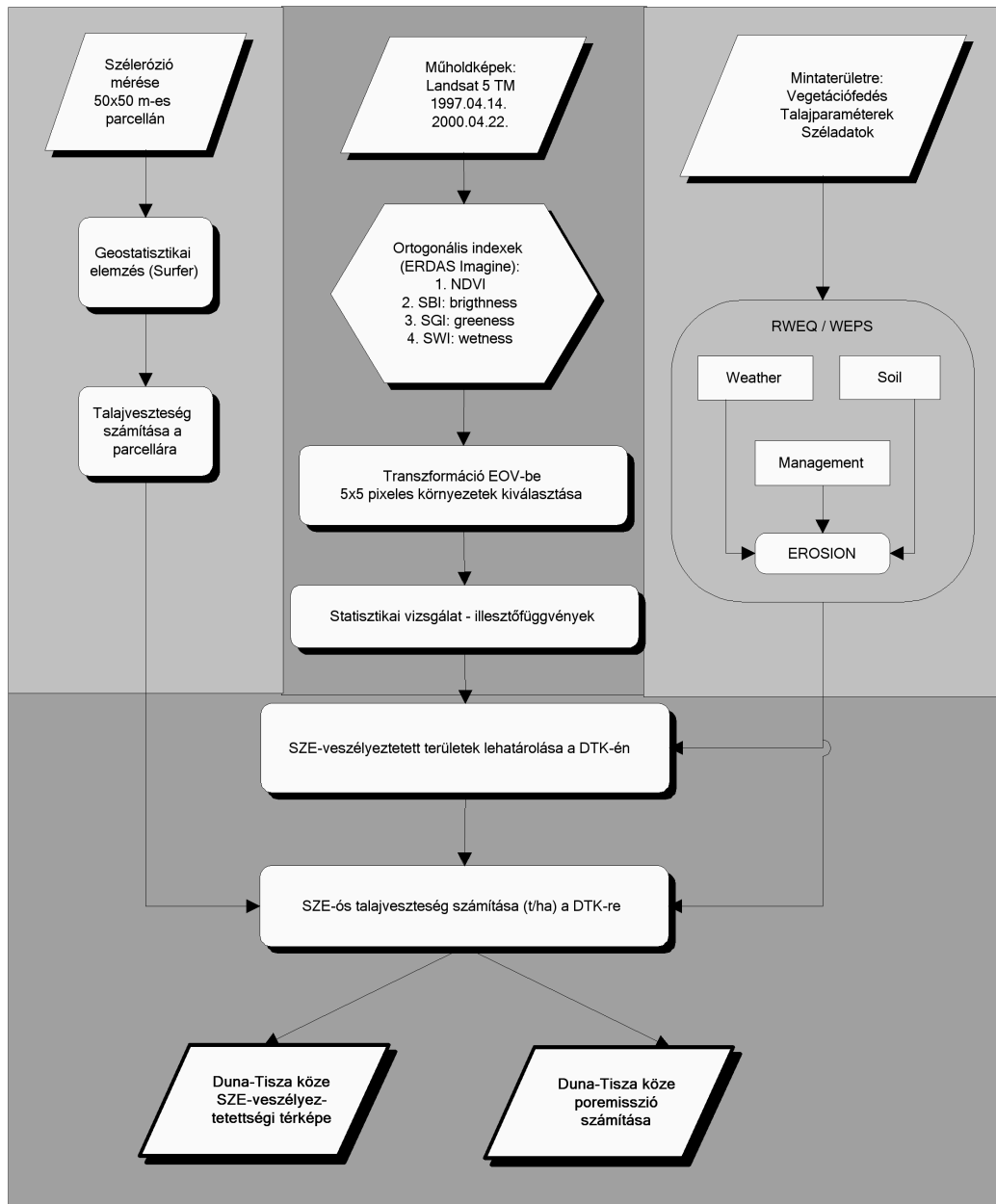
## **2.5 Települési porszennyezettség és a szélerózió kapcsolatának vizsgálata**

A vizsgált Duna-Tisza közti homokhátsági területről a magasabb légrétegekbe távozott, becsült poremisszió értékek és az 1995-2001 közötti porimmissziós mérések havi adatsorai alapján kapcsolatot kerestem a dél-alföldi települések porterhelése és a széleróziós események között.

A Dorozsma-Majsai homokhátságon mérésekkel bizonyított eróziós napokra, és ezen események során a WEPS modellel igazolt poremisszió tényéből kiindulva statisztikai kapcsolatot kerestem a szegedi PM10 mérések és a SZTE meteorológiai állomásán mért széladatok között. Mindkét adatsorból órás átlagokat készítettem és az összehasonlításhoz a terepi mérések napjai mellett a szomszédos napok adatait is vizsgáltam 2004. március 20-22-re és április 18-20-ra.

## **3.A kutatási eredmények összefoglalása**

A bevezető fejezetben megfogalmazott kérdésekre – a kutatómunka és az értekezés elkészítése során – kapott válaszokat és az értekezésben publikált tudományos eredményeimet az alábbi pontokban foglalom össze.



1. ábra Komplex geoinformatikai rendszerbe integrált szélróziós mérési módszerek

### 3.1 A mérőcölöpös mérés és a szélstatistikai számítások eredményei

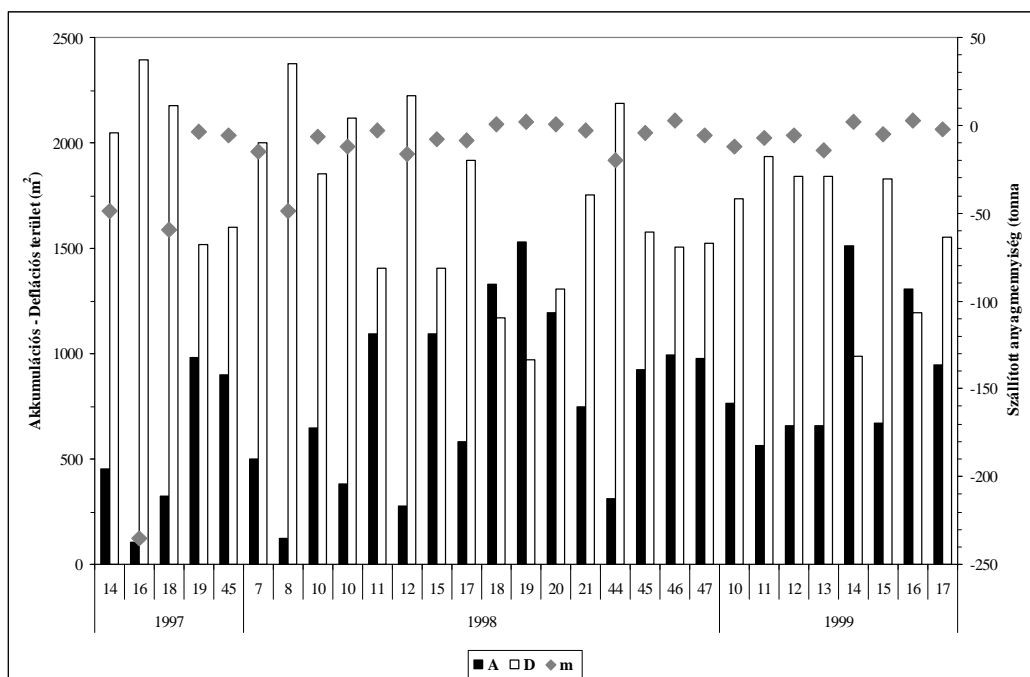
1. Az 1963-1973 között mért napi szélesebbség átlagok heti és havi gyakorisági értékei alapján kimutattam, hogy legnagyobb az átlagsebesség február, március és április hónapokban, magas értéket mutatnak még a január és november-december hónapok, míg a nyárvégi és kora őszi időszakban a legkisebb az átlagos szélesebbesség és legnagyobb a

szélcsendes napok száma. Az 1997-2000 években mért 10 perces maximális szélhőkésések sebesség és irány értékei alapján számított Weibull-eloszlás skálatényezői ugyancsak az előző állítást támasztják alá, valamint NYÉNY-ÉNY-ÉÉNY-i irányú, a tavaszi időszakban a széleróziós eseményeket kiváltó szelek munkaképességét bizonyítják.

2. 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 észleltem (pl. 1996 ősz és 1998 tavasz-ősz). Bizonyítottam, 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 szélhőkésések, 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.
3. A számítások alapján kimutattam, hogy az 1997. áprilisi, közel kéthetes szélviharos időszakban az 50x50 méteres kontroll területről, átlagosan közel 4 cm vastagságú talajtakarót erodált a viharos erejű szél. A hiányzó homokmennyiség térfogatát, majd tömegét kiszámoltam (1,75 g/cm<sup>3</sup> sűrűséggel), amelyre 230 tonna körüli értéket kaptam (2. ábra). A talajvizsgálati eredmények az 1-7 sz. mintákra 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 szembeűnő, 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, illetve 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 a nagyarányú csökkenést nem mutattuk ki.



2. ábra Parcellás mérés eredményei (1997-1999), heti összesítés. Jelm.: A: akkumuláció (m<sup>2</sup>);D: defláció (m<sup>2</sup>); m: szállított anyagmennyiség (tonna)

### 3.2 A mikrofonos műszeres mérések eredményei

1. Szélcsatornában végzett méréseink alapján azt találtam, hogy a membránra érkező összes szemcse száma ( $n$ , db) a mérési magasság ( $h$ , cm) közötti kapcsolatot a  $h = -12,31 \lg n + 60,8$  összefüggés írja le. A kumulatív szemcseszám értékei alapján bizonyítottam, 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.
2. Bizonyítottam, hogy a szemcseszámokat percenként összegezve ( $n$ ) a kapcsolatot a szélesebséggel ( $u$ ) jól leírja egy-egy harmadfokú hatványfüggvény, amely általánosan a  $n = a(u - b)^3$  alakba írható, ahol  $a$  és  $b$  értékét 95 %-os konfidenciaszinten kaptam meg.



Azt a következtetés is levontam, hogy az  $a$  együtttható értéke a mérési magassággal csökken. Ennek magyarázata az, hogy az alacsonyabb magasságokon (5-12 cm) szaltálva mozgó szemcsék száma nagyságrenddel meghaladja a nagyobb magasságokban mért szemcseszámokat.

3. A terepi mérésekkel is a mikrofonos műszer alkalmazhatóságát bizonyítottam, hiszen a szellőkések percenkénti maximumai és az 5 cm-es magasságban elhelyezett érzékelő által regisztrált percenkénti szemcsebecsapódások átlagai között a korrelációs együtttható értéke, a közepes erősségű kapcsolatot jelző, 0,61-nak adódott. A szemcsék mozgásba lendítéséhez 5-6 m/s-os szellőkések elegendőnek bizonyultak, valamint a 4,5-5 m/s-os, 15 perces átlagos szélességnél már megindult a detektált homokmozgás.
4. A mikrofonos műszer a felszínről elhordott anyagmennyiség meghatározására, vizsgálataim szerint – a szakirodalmi tapasztalatokat is alátámasztva –, csak korlátozottan alkalmas.

### **3.3 Széleróziós modellek tesztjeinek eredményei**

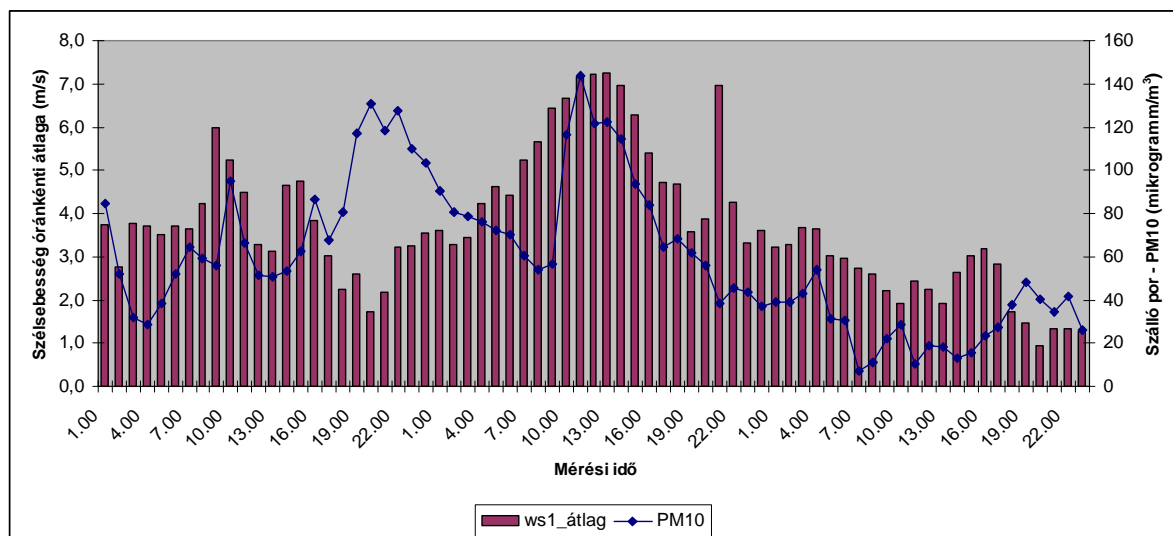
1. Az RWEQ széleróziós folyamatmodellt – amelyet a legjelentősebb, 1997. áprilisi eróziós eseménnyel validáltam – tesztelve átlagban 20%-nál kisebb eltéréseket kaptam a száraz, fedetlen homokfelszínen mérőcölöppökkel mért és a modellel becsült értékek között. A modell hazai alkalmazásának legnagyobb korlátja, hogy nehezen felépíthető időjárási adatbázist igényel, amelynek havi bontású szélstatistika az alapja és kéthetes a legrövidebb időtartam, amelyre szimuláció végezhető.
2. A WEPS Erosion modell validációja során bizonyítottam, hogy a terepi vizsgálatok során mért értékek és a szaltációs hordalékszállítás WEPS Erosion által becsült értékei között a 0,7 korrelációs érték a kapcsolat szorosságát jelzi. 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.
3. A WEPS Erosion folyamatmodell tesztelése során megállapítottam, hogy egy-egy széleróziós esemény szimulációjára a modell az RWEQ-nál megbízhatóbb, ellenőrizhetőbb és alkalmasabb modellező eszközként értékelhető, valamint javaslom alkalmazását a hazai széleróziós vizsgálatokban.

### **3.4 Az integrált széleróziós geoinformatikai rendszer alkalmazásának eredményei**

1. Az integrált geoinformatikai rendszer kimeneteként a vizsgált Duna-Tisza közti terület szélerózió-veszélyeztetettségi térképét kaptam meg. A talajnedvességi értékek alapján készült osztályozás (Landsat5 TM-SWI) és az RWEQ modellel becsült eróziós értékek alapján a Duna-Tisza közti mintaterület 20-45 %-át találtam erózió-veszélyeztetettnek, továbbá az 1997 áprilisi időszakban hozzávetőlegesen 70 millió tonnás (megközelítőleg 100 t/ha-os) homokmozgást számítottam a teljes, vizsgált területre.
2. A WEPS modell részletes kimeneti adatainak értékelésével becslést adtam – egy kéthetes széleróziós periódus során – a levegőbe került egészségkárosító por mennyiségére, mely szerint a homokhátságról kibocsátott por összömege 10-11 millió tonna volt a szélviharos időszakban (területegységre számolva 15 t/ha-os poremisszióknak felelt meg).

### **3.5 A települési porszennyezettség és a szélerózió kapcsolata**

1. A homokhátságon és a hátság peremén 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.
2. Az előző megállapítást a 2004. márciusi és áprilisi mérési eredményekkel is megerősítettem. A két rövid, három napos időszakban a középső napon volt a legerősebb a széltevékenység és ezekben a napokban a terepi állomáson is jelentős homokmozgást tapasztaltam, valamint ezzel együtt jelentős poremissziót becsültem. Ez a folyamat a szegedi monitorállomás adataiban is egyértelműen látható, hiszen mindkét időszakban megemelkedett a PM10 regisztrált értéke (3. ábra). A teljes PM10 és szélesebesség (átlag és maximum) adatsorokra korrelációt számítva a márciusi napokra gyenge, az áprilisére 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.
3. Vizsgáltam és bizonyítottam, hogy márciusi 20-án délután és este jelentkező – a veszélyességi határt, 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -t órákon keresztül közelítő és a szélesebesség növekedésével nem indokolható – PM10 csúcs (3. ábra) közlekedési eredetű.



3. ábra 2004. március 20-22. napokra az óránkénti szélesség átlagai és az óras PM10 értékek

#### 4. Az értekezés témakörében megjelent publikációk

- BÓDIS K.– SZATMÁRI J., 1998: Eolikus geomorfológiai vizsgálatok DDM felhasználásával. VII. Térinformatika a felsőoktatásban szimpózium előadásai. Budapest. pp. 102-107.
- 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.
- 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.
- SZATMÁRI J., 1996: A természeti táj ember általi átalakításának hatása a szélerózió dinamikájára Duna-Tisza közti mintaterületen. In: Geográfus doktoranduszok első országos konferenciájának előadásai. Pécs. pp. 53-63.
- SZATMÁRI J., 1997: Evaluation of wind erosion risk on the SE part of Hungary. Acta Geographica Szegediensis. XXXVI. pp. 121-135.
- SZATMÁRI J., 1997: A szélerózió hatása a Duna-Tisza közén. In: Geográfus doktoranduszok II. országos konferenciájának előadásai. Budapest. pp. 51-56.
- SZATMÁRI J., 1999: Elfújta a bőjti 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., 2004: Szélerózió-veszélyeztetettség értékelése a Duna-Tisza közén RWEQ modell alkalmazásával. II. Magyar Földrajzi Konferencia előadásai. CD kiadvány (ISBN 9634826873), Szeged. <http://www.geography.hu/cdrom/mfk2004>
- SZATMÁRI J., 2005: A szélerózió vizsgálatának újabb eredményei a Duna-Tisza közén. Tájökológiai lapok. 3. évf 1. sz. pp. 196-197.
- SZATMÁRI J., 2005: The evaluation of wind erosion hazard for the area of the Danube-Tisza Interfluve using the Revised Wind Erosion Equation. Acta Geographica Szegediensis Tomus XXXVIII. pp. 84-93.