

Homokmozgás mérése mikrofonos szemcsebecsapódás- számlálóval

Szatmári József

Bevezetés

A szélerózió 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 mezőgazdaságilag hasznosított területeken fellépő széleróziós folyamatok terepi vizsgálata komoly munkaszervezési feladat. Két kérdés vetődhet fel (Livingstone és Warren 1996). Az első a szélerózió fellépésének nagy tér- és időbeli változékonysága, például az éves eróziós tevékenység legnagyobb része egy-két rövid – néhány órá – , gyakorlatilag előre nem jelezhető, viharosan szeles periódus eredménye. Másodszor a folyamat alattomosága, hiszen – 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 a homokszemcsék 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 (Szatmári 2006).

A fentiekben ismertetett problémák megoldására az elmúlt években terepi, mobil, mikrofonos széleróziós mérőállomás kiépítésével tettünk kísérletet, 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 és (4) a működéshez szükséges energia és az állomás szervizeléséhez szükséges idő a lehető legkevesebb legyen.

Terepi körülmények között Spaan és Abeele (1991), valamint Arens (1996) alkalmazták a mikrofonos módszert. Megállapításaik megegyeznek abban, hogy a meteorológiai adatokkal együtt történő mikrofonos mérés a teljes széleróziós folyamaton belül a szaltáló szemcsék mozgásvizsgálatához járul hozzá, az egyidejű elektronikus adatregisztrálással szinte új dimenzióba helyezve 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 széleróziós károkozás elleni azonnali védekezés megvalósítható.

A mikrofonok szélcsatornás és terepi tesztelése során is történtek kísérletek a műszer kalibrálására a szállított össztömeg meghatározásához (Arens 1996, Goossens et al. 2001, Goossens 2004), de a szerzők megállapításaiból – a kapott gyenge korrelációs értékek alapján – egyértelműen kiderül, hogy a mérőeszköz jelen formájában nem, vagy csak nagyon korlátozottan alkalmas a hordalék valamely profilban szállított tömegének megállapítására.

Goossens et al. (2000) öt különböző elven működő széleróziós mérőeszközt hasonlítottak össze szélcsatornás és terepi mérési körülmények között. A mikrofonos módszer terepi tesztelését csak egy esetben tudták elvégezni, míg a további eszközökre számos további lehetőségük volt. Okként a kihelyezett mérőállomás vandál megromlását jelölték meg a szerzők, így ebből a tanulmányból használható előzetes információkat nem kaptunk a terepi mérésekhez a mikrofonos módszerről.

Módszer és mintaterület

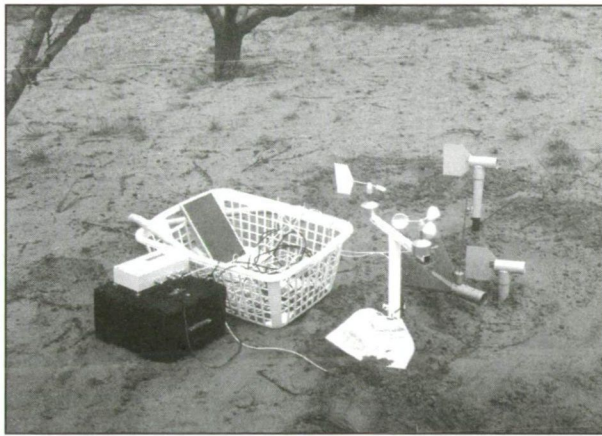
Spaan és Abeele 1991-es publikációjukban kifejtik, hogy a felszíni talajszemcséket nyugalmi állapotukból a légmozgás következtében fellépő közegellenállási erő és a felhajtóerők közül főként a Bernoulli-erő eredőjeként fellépő erő mozdítja ki. A szemcsemozgás akkor indul meg, amikor a szemcsére ható felhajtó- és közegellenállási erők eredője meghaladja a szemcse súlyából származó gravitációs-, a szemcséket egymáshoz kötő kohéziós- és a viszkozitásból származó erők eredőjét. Ennek eredményeként a talajszemcsék felemelkednek a levegőbe és a 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.

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 megoldható 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 terepi mérőállomás fejlesztéséhez a *saltiphone* elnevezésű széleróziós mérőeszköz (Spaan és Abele 1991), mint prototípus alapján láttunk hozzá. A Boreas Kft.-vel – meteorológiai műszerfejlesztő vállalkozással – történt együttműködésünk eredményeképpen létrehoztunk egy digitális, mobil meteorológiai és széleróziós állomást (1. ábra), amely alkalmas a széleróziót kiváltó szellőkések, valamint a széleróziós folyamat erősségét befolyásoló egyéb meteorológiai és talajparaméterek mérésére és tárolására.



1. ábra: Mérőállomás a kísérleti parcellán (Zsombó 2004. április)

A holland kutatók által kifejlesztett mérőeszköz 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. Az egy másodperc alatt érzékelhető maximális becsapódásszám az eredeti eszköz esetén 1000 db, míg az általunk kifejlesztett és tesztelt változatnál 3000 db.

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 0,3–1 ms-os impulzusok megjelennek a kimeneten, elektronikusan számlálódnak és tárolódnak a memóriában.

A terepi méréseket megelőzően a Debreceni Egyetem Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszékének szélcsatornájában végeztünk a mikrofonos műszerrel tesztméréseket, melyeknek célja (1) az eltérő magasságban elhelyezett mikrofonokon a becsapódási szemcseszám meghatározása, (2) az indítási küszöbsebességek meghatározása, és (3) a különböző szélesebségeken a becsapódási szemcseszám meghatározása.

Szélcsatornában végzett méréseik alapján Spaan 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:

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

Az (1) egyenlet alapján megszerkeszthető a különböző szaltációs magasságokhoz (1–46 cm) tartozó százalékos kumulatív szemcseszám grafikonja.

A szélcsatornában (mikrofonok, szélmérő) és talajlaboratóriumban (talajnedvesség-mérő) tesztelt és a terepi mérési feladatoknak megfelelő, optimális adatgyűjtésre beállított széléróziós mérőállomással a 2004–2005-ös évek tavaszán több alkalommal végeztünk egy-egy napos méréseket a Dorozsma-Majsai homokháton, Zsombó község határában elterülő parcellán. Sajnos a folyamatos, monitoring jellegű mérésorozathoz nem találtunk alkalmas területet, mert egyelőre áthidalhatatlan akadálnak látszik a nyílt, mezőgazdasági művelés alatt álló területen az állomás folyamatos felügyeletének megoldása.

Eredmények

A zsombói parcelláról vett minta esetében a szélcsatornában az érzékelőket a felszíntől 5, 15 és 25 cm-es magasságban elhelyezve és a szélesebséget fokozatosan emelve 6–14 m/s-os intervallumban mértük a szemcseszámot. Az adatsorok alapján meghatároztuk a kapcsolatot n és h között, amelyre a következő függvényt kaptuk:

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

A kumulatív szemcseszám értékei az *I. táblázat* alapján értékelhetők.

1. táblázat: Különböző mérési magasságokhoz (cm) tartozó százalékos kumulatív szemcseszám értékei

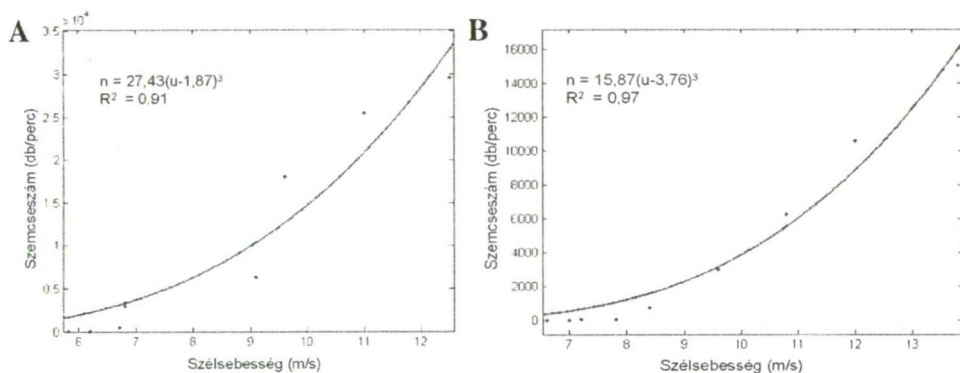
Mérési magasság (cm)	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45
Kumulatív szemcseszám (%)	52,7	81,5	92,7	97,1	98,9	99,6	99,8	99,9	100,0

Az adott mérési körülmények között és a szélesebbesség 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.

Az indítási küszöbesség meghatározásához az érzékelőket négy különböző magasságban (5, 12, 15 és 25 cm) helyeztük el és a szélesebbesség fokozatos emelése mellett az összes szemcseszámot vizsgáltuk. A várakozásoknak megfelelően az alacsonyabban elhelyezett érzékelőknél már 6 m/s-os szélnél szemcsebecsapó-dásokat detektáltunk, míg 25 cm-es magasságon kb. 9 m/s-os szélnél jelentek meg az első szemcsék. A szemcseszám percenként összegezve (n) a 2. ábrán látható összefüggéseket mutatta a szélesebbességgel (u). A kapcsolatot minden esetben jól leírja egy-egy harmadfokú hatványfüggvény, amely általánosan az

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

alakba írható, ahol a és b értékét 95%-os konfidenciaszinten kaptuk meg. Az összes szemcseszámnak a szélesebbesség harmadik hatványával talált kapcsolata emlékeztet Bagnold (1941) formulájára, valamint Borsy (1993) által közölt O'Brien-Rindlaub módosított formulájára, amelyek a szél által szállított homok tömege és a szélesebbesség között adnak meg harmadfokú függvénykapcsolatot.



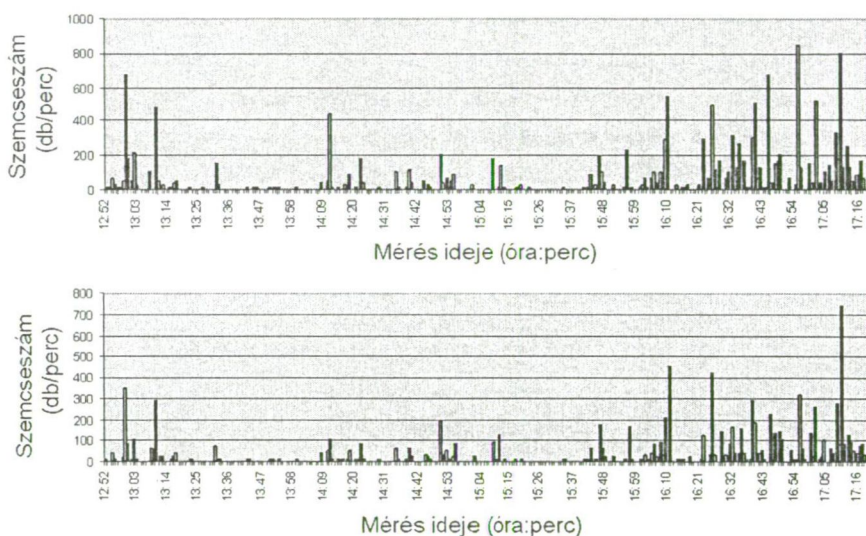
2. ábra: Az érzékelőre a szélcsatornában percenként érkezett összes szemcse száma a szélesebbesség függvényében 5 cm-en (A) és 12 cm-en (B) mérve

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 et al. 2000), hogy a durvább szemcsefrakciónál ($d > 200$ mikron) a nagyobb szélességeken a saltiphone mérési hatékonysága jelentősen megemelkedik (100–500%-os hatékonyság a kontrollmérésekhez képest).

A függvény b értékei megadják azokat a percnkénti átlagsebességeket, ahol elméletileg megindul a szemcsemozgás.

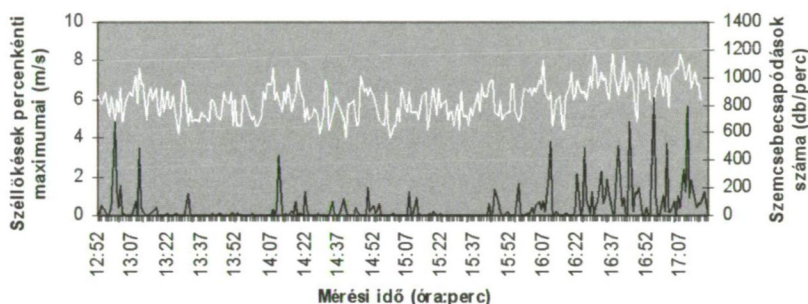
A zombói terepi pacellán 2004. évben két alkalommal – március 21-én és április 19-én (3. ábra) - észleltünk homokmozgást. A terepi mobil mérőállomással szélességet és szélirányt, talajnedvességet és a mikrofonos szemcsebecsapódás-érzékelővel becsapódásszámot mértünk és értékeltünk.



3. ábra: Széleróziós aktivitás 2004. 04. 19-én, 5 cm-en (fent) és 20 cm-en (lent) mérve a becsapódásokat

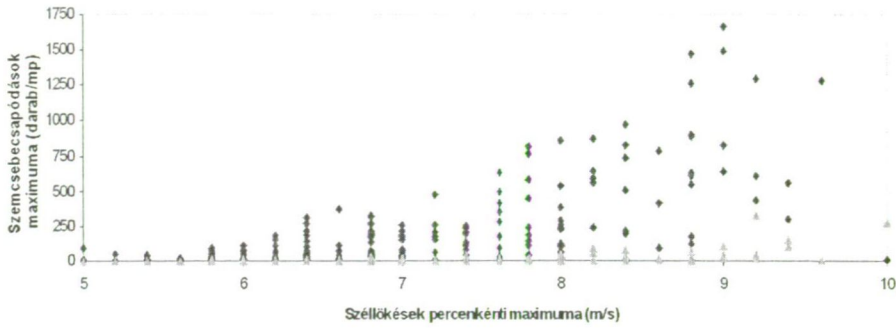
A szélességeket vizsgálva március 21-én 214 db olyan egyperces mérési periódus volt, amikor az 50 cm-es magasságban mért szellőkések sebessége meghaladta a 6 m/s-ot, a maximális szellőkés 10 m/s, a szélirány $250\text{--}300^\circ$ között volt, amely alátámasztja a korábbi szélstatistikai eredményeket (Tar 1991). A szellőkések percnkénti maximumai és az 5 cm-es magasságban elhelyezett érzékelő által regisztrált percnkénti szemcsebecsapódások átlagai között a korrelációs együttható értéke 0,61-nek adódott, míg a percnkénti maximális szemcsebecsapódással az együttható értéke 0,64. A magasabban elhelyezett, 20 cm-es érzékelőnél számítva a korreláció már lényegesen kisebbnek, 0,43-nak adódott. A

vártnál kisebb korrelációkra magyarázat lehet, hogy az adatrögzítő program jelenleg csak a percenkénti legnagyobb és átlagos becsapódásszámot rögzíti, így a szellőkések másodpercenkénti sebességéhez a statisztikai feldolgozás során nem tudjuk még a másodperces sűrűségű szemcseszám-értékeket hozzárendelni. Április 19-én a 150–210° (déli szelek) közötti percenkénti átlagsebességek maximuma 7,1 m/s, a legnagyobb szellőkés 8,4 m/s volt 17:10 óra körül, 148 alkalommal regisztrált a szélmérő 6 m/s-nál erősebb szellőkést (4. ábra). A legerősebb szellőkések idején a szaltáló szemcsék a felszínközeli 20–30 cm-es réteget szinte egyenletesen töltötték ki, így az alacsonyabban és a magasabban elhelyezett mikrofonon észlelt becsapódásszám közel egyenlő volt.

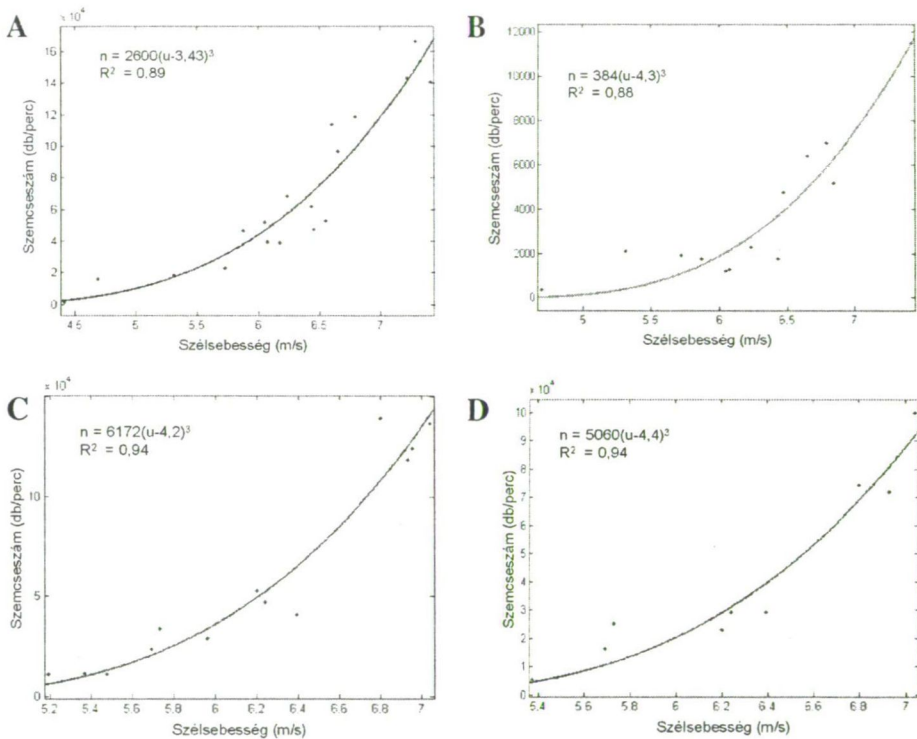


4. ábra: Szellőkések értékei (világos vonal) és a szemcsebecsapódások száma (sötét vonal) 2004. 04. 19-én

A mikrofonos szemcsebecsapódás-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 ábrázoltuk a szellőkések függvényében az 5. ábrán. Látható, hogy a szemcsék mozgásba lendítéséhez 5–6 m/s közötti szellőkések elegendőnek bizonyultak. A percenkénti maximális szellőkések függvényében ábrázolva az átlagos szemcsebecsapódások számát, hasonlóan a szélcsatornás eredményekhez, a 20 cm-es magasságban mozgatott szemcsemennyiség körülbelül 5%-a az 5 cm-es magasságban mozgatott mennyiségnek. Vizsgálataink alapján azt is leszögezhetjük, hogy alacsonyabb mérési magasságnál a szélesebbésség növekedésével sokkal meredekebben emelkedik a becsapódott szemcsék száma, mint a magasabban elhelyezett érzékelőnél. Ennek okát a szaltáló szemcsemozgás megindulásának és kialakulásának dinamikájában kell keresnünk.



5. ábra 2004. március 21-én a másodpercenkénti maximális szemcsebecsapódások száma a szélesebbesség függvényében:
 ◆ 5 cm-es és ▲ 20 cm-es: felszín feletti magasságban mérve



6. ábra: A szemcsebecsapódás-szám 15 perces intervallumokra összegezve az átlagos szélesebbesség függvényében 5 cm-es (A), illetve 20 cm-es (B) felszín feletti magasságban mérve 2004. 03. 21-én, illetve 5 cm-en (C) és 15 cm-en (D) mérve 2004. 04. 19-én

A két mérési periódusra, 15 perces mérési intervallumokra összegezve a szemcsebecsapódás-számokat, valamint ezekre az időszakokra kiszámolva az átlagos szélsébséget és a 6. ábrán jelölt statisztikai értékeket elemezve láthatjuk, hogy a szélcsatornás méréseknél tapasztalt harmadfokú (3) függvényekkel jól közelíthetők a mérési értékek. Az a együttható értéke, azaz a görbe meredeksége az alacsonyabb, 5 cm-es mérési magasságokban (6.A és C ábrák) lényegesen nagyobb (a függőleges tengelyeken itt egy nagyságrenddel nagyobb szemcseszámértékek láthatók), mint a 20 cm-es mérésnél (6.B ábra).

A függvény b értékeire (a szemcsemozgás indító szélsébsége) vonatkozóan – a tapasztaltaknak megfelelően – az 5 cm-es értékek a legalacsonyabbak, 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.

Összegzés

A terepen történő széleroziós mérésekhez meteorológiai műszergyártó vállalkozás közreműködésével kifejlesztettünk és összeállítottunk egy hordozható, digitális adatrögzítésre alkalmas mérőállomást. A különböző magasságokban (jelenleg egyidejűleg 3 szintben) mozgó 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 és dinamikája: a talajszemcsék indítási küszöbsebessége, valamint a mikrofon membránján becsapódott szemcseszám, amelyből a különböző magasságban mozgó szemcse-mennyiség relatív összefüggéseiről kaptunk kvantitatív eredményeket.

A mérések és statisztikai számítások igazolták, hogy a szakirodalomból jól ismert harmadfokú függvénnyel írható le a szélsébség és a mozgatott szemcseszám kapcsolata. A mikrofonos műszer a felszínről elhordott anyag-mennyiség meghatározására, vizsgálataink szerint, a szakirodalmi tapasztalatokat is alátámasztva, csak korlátozottan alkalmas.

A későbbiekben széleroziós méréseinket a Dél-Alföld további erózió-veszélyezett területeire, különös tekintettel a Körös-Maros közére, terjesztjük ki a mobil mérőállomás alkalmazásával és a porimmissziós mérési eredmények egyidejű értékelésével. A vizsgálati mintaterületek számának növekedésével olyan adatbázist szeretnénk létrehozni, amely alapján kellő megalapozottsággal tudjuk a

döntéshozók figyelmét felhívni – a szélerozió mezőgazdasági károkozásán kívül – az Alföld számos településén jelentkező súlyos környezet-egészségügyi problémára, a porszennyezettségre. Ez 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.

Felhasznált irodalom

- Arens S. 1996: Rates of aeolian transport on a beach in a temperate humid climate. *Geomorphology* 17, 3–18.
- Bagnold R.A. 1941: *The physics of blown sand and desert dunes*. Methuen, London. 265.
- Borsy Z. 1993: *Általános természeti földrajz*. Budapest. 461–467.
- Goossens D. 2004: Wind erosion and tillage as a dust production mechanism on north European farmland. In: Goossens D. – Riksen M. (eds): *Wind erosion and dust dynamics: observations, simulations, modelling*. ESW Publications, Wageningen University, 15–40.
- Goossens D. – Offer Z. – London D. 2000: Wind tunnel and field calibration of five aeolian sand traps. *Geomorphology* 35, 233–252.
- Goossens D. – Gross J. – Spaan W. 2001: Aeolian dust dynamics in agricultural land areas in Lower Saxony, Germany. *Earth Surf. Proc. and Landforms* 26, 701–720.
- Livingstone I. – Warren A. 1996: *Aeolian geomorphology*. Addison-Wesley Longman, Harlow, 211.
- Spaan W.P. – van den Abeele 1991: Wind borne particle measurements with acoustic sensors. *Soil Technology* 4, 51–63.
- Szatmári J. 2006: *Geoinformatikai módszerek és folyamatmodellek alkalmazása a széleroziós vizsgálatokban*. PhD értekezés. Szeged. 129.
- Tar K. 1991: Magyarország szélklímájának komplex statisztikai elemzése. OMSZ kiadványai. 67, 28–88.



X 97341