

# A HAZAI HOLOCÉN HOMOKMOZGÁSI PERIÓDUSOK, VALAMINT A LABORATÓRIUMI ÉS TEREPI MÉRÉSEKKEL MEGHATÁROZOTT SZÉLERÓZÍÓ VESZÉLYE A VÉDEKEZÉSI LEHETŐSÉGEK TÜKRÉBEN

## Zárójelentés

A most zárult négyéves kutatás egy ezt megelőző szintén OTKA kutatás folytatásának tekinthető, mindkettőben a Szegedi Tudományegyetem Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszékének a munkatársai eredményes kutatásaikkal aktívan működtek közre. A jó munkakapcsolatnak is köszönhető, hogy **a pályázati tervben kitűzött célokat sikerült hiánytalanul teljesíteni**, sőt bizonyos részterületeken még előbbre is haladtunk. Tetűk ezt abban a reményben, hogy egy újabb közös OTKA pályázat keretében folytatni tudjuk kutatásainkat. Így elérhetjük azt, hogy a választott két mintaterület (Duna-Tisza köze, Nyírség) fejlődéstörténetét új, modern módszerek alkalmazásával, újabb koradatokkal pontosítsuk. Továbbá a laboratóriumi szélcsatornás kísérletekkel és terepi széleróziós mérésekkel a szélerózió elleni védekezéshez a gyakorlati élet számára is fontos módszereket dolgozzunk ki.

A jelenlegi OTKA pályázat zárójelentésében az elért eredményeket – figyelembe véve a terjedelmi korlátokat – főbb témakörönként ismertetjük. A jelentésből kimaradó eredmények a feltüntetett **magas számú tanulmányokban** és a témakörhöz kapcsolódó, 2010 januárban a pályázatban aktívan tevékenykedő munkatársunk által megvédett **PhD értekezésben** megtalálhatók.

### Terepi kutatások eredményei

#### **a, Geomorfológiai vizsgálatok eredményei**

A geomorfológiai elemzéseink két különböző méretarányban készültek. A kisebb méretarányú elemzéseket a Duna-Tisza közti síkvidéken, a fülöpházi homokbuckák területén illetve a Dél-Nyírségben végeztük. Ezen túl, részletes geomorfológiai térképeket készítettünk minden egyes mintavételi helyünkről is a Nyírségben: Erdőspuszta, Bagamér; a Duna-Tisza közén Fülöpháza, Csengele, Apostag, Kiskunhalas és Kecel térségéből. A részletes eredmények több tanulmányban (pl. Kiss et al 2006, 2009, Nyári et al. 2006b, 2007, 2008, 2009, Sipos et al. 2009b) megtalálhatók.

Részletesen tanulmányoztuk a Nyírség és a Hajdúhát határsávjában a morfológiai formákat, a deflációs és akkumulációs területeken a löszös és futóhomokos rétegek helyzetét, vastagságát is. A mintaterületeken 14 magfúrást mélyítettünk, amelyek mintáinak az elemzése megtörtént. Mintavételre került sor a terület feltárásainak rétegsoraiból is, illetve ezeknek a mintáknak a laboratóriumi feldolgozása, kiértékelése is megtörtént.

#### **b, Terepi széleróziós vizsgálatok eredményei**

A terepi széleróziós kutatások két csoportba sorolhatók. Egyrészt terepi erodálhatósági vizsgálatok készültek, amelyek eredményeit összevetettük a szélcsatorna kísérletek eredményeivel, másrészt a védekezés szempontjából fontos mezővédő erdősávok terepi azonosítását is elvégeztük három mintaterületen, amelyek fontosak voltak a geoinformatikai feldolgozásoknál.

A széleróziós mintaterület a Csongrádi-síkon található, Apátfalva határában. A mélyben sós csernozjom talajon (25 %) kívül még számos más csernozjom talaj is található a területen, többek között nem szikes réti csernozjom (19%), mészlepedékes csernozjom (6%). A

fentieken kívül még megtalálhatóak a szikes talajok (18%), főleg réti szolonyecok. A területen a talajvízszint 3-4 m mélyen található.

A terepi mérésekhez mobil, digitális széleróziós mérőállomást (1. ábra) építettünk ki, amely a szél által mozgatott porszemcsék detektálására szolgáló szemcsebecsapódás-érzékelő mikrofonokkal és MWAC (Modified Wilson and Cooke) hordalékgyűjtő csapdákkal, valamint a digitális adatgyűjtő egységéhez csatlakoztatható meteorológiai érzékelőkkel van ellátva.



*1. ábra Széleróziós állomás és mérőműszerei Apátfalva határában*

A detektált széleróziós események adatai, valamint a meteorológiai adatok közel valós időben, mobil GPRS adatátvitellel érkeztek a laboratóriumban elhelyezett szerverre, így közvetlenül a széleróziós tevékenység után be tudtuk gyűjteni a csapdákból a mintákat, amelyek talajlaboratóriumi fizikai szemcse-, valamint kémiai vizsgálatait elvégeztük.

A vizsgált időszakban több alkalommal tudunk mérhető mennyiségű mintát a csapdákból begyűjteni. Az értékeket tanulmányozva láthatjuk, hogy az MWAC típusú csapdában az alsó, 5-15 cm-es magasságban akkumulálódott a szél által mozgatott anyagmennyiség több, mint 70 %-a és a magasság növekedésével egyértelműen jelentősen csökkent a csapdázott tömeg. Ez az adat tulajdonképpen alátámasztja a szélerózió törvényszerűségeinél korábban megismert és közölt értékeket. A felszín-közeli magasabb arányú homokmozgás az ugráltatott hordalékszállítással magyarázható.

A „Karcag” típusú csapdánál viszont az alsó, 0-30 cm magasságban a várt tömegesökkenést tapasztaltuk, majd a 30 cm-es magasság után a mintagyűjtőkben növekedett a csapdázott hordalék mennyisége. Ennek a jelenségnek a magyarázatát csak további megfigyelések és mérések után kísérlelhetjük meg megadni.

A terepi mérések eredményeit feldolgoztuk és tanulmányokban, konferenciákon ismertettük (Szatmári 2006, 2007, 2008; Szatmári et al. 2006).

A terepi széleróziós mérésekhez sorolható a levegőbe került por (2. ábra) mennyiségének meghatározása. Ezeket egyrészt saját tervezésű és kivitelezésű porcsapdával Debrecenben és Karcagon végeztük, Erre vonatkozó megfigyelések és mérések Apátfalva határában is történtek, továbbá elemeztük az ANTSZ monitorállomások adatait is. A szegedi és a debreceni eredményekből egyértelműen megállapítható, hogy a por mennyiségének növekedése szoros kapcsolatban van a tavaszi szélerózióval és szántóföldi kiporlással. Ezt a megállapítást a terepi mérési eredmények is alátámasztják. A széleróziós napokon a mérőállomáson 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 terepi kutatásokhoz tartozik a szélcsatorna kísérletekhez szükséges (karcagi, hajdúhádi és nyírségi mintaterületeket jellemző) különböző textúrájú talajoknak a begyűjtése, a mintavételi helyek EOY koordinátáinak a meghatározása, amelyek felhasználásával geoinformatikai szoftverrel térképeket szerkesztettünk.

A mezővédő erdősávok (3. ábra) terepi felmérésénél a különböző típusok elkülönítése osztályozása volt a legfontosabb feladat, amely jelentősen elősegítette a különböző adatbázisokból (topográfiai térképek, légi- és űrfelvételek) nyert értékek geoinformatikai feldolgozását. A terepen a kiértékeléshez digitális felvételeket készítettünk, és GPS-szel helymeghatározásokat végeztünk. Az erdősávok mögött a szántóterületen különböző távolságban mértük a szélesség értékeinek a változását, amelyekből megállapítható az erdősáv szélesség-csökkentő hatása.



2. ábra Talajközeli porréteg Apátfalva határában (2009)



3. ábra Egysoros zárt és többsoros erdősáv

## **Laboratóriumi kutatások eredményei**

### ***a, Szedimentológiai eredmények***

A szedimentológiai vizsgálatok a kutatások célját tekintve két csoportba sorolhatók. A geomorfológiai kutatásokhoz a magfűrészek, és feltárások mintáinak meghatároztuk a szemcseösszetételét, humusz- és  $\text{CaCO}_3$  tartalmát, valamint a pH értékét. A pollenfeltárások is a szedimentológiai laboratóriumban készültek.

A széleróziós vizsgálatokhoz a szedimentológiai laborvizsgálatok két fázisban készültek. Először a szélcsatorna kísérletekhez beszállított talajminták szemcseösszetételét, humusz- és  $\text{CaCO}_3$  tartalmát határoztuk meg, majd a kísérletek után ezek változásainak meghatározása érdekében újbóli mérésre került sor. Mivel minden mintán több sebességfokozaton ismétlődő méréseket is végeztünk, ezért nagyon nagy számú laborelemzésre volt szükség. A kapott eredményeket, a számítógépes feldolgozás után egyrészt a fejlődéstörténeti, másrészt a széleróziós tanulmányokban használtuk fel.

## ***b, Szélcsatorna kísérletek eredményei***

A Debreceni Egyetem szélcsatornájában (4. ábra) végzett kísérleteink céljai a következőkben foglalható össze:

- talajok kritikus indító sebességének és a szélprofilnak a meghatározása
- mozgatott anyagmennyiség magassági profilja
- talajok erodálhatóságának mérése
- védekezési kísérletek (víztartó képesség, kéregképződés, növényzet)
- kéregellenállás mérése mikropenetrométerrel

Mivel a szélerozió jelensége hazánkban a jelenlegi éghajlati körülmények között főként antropogén eredetű, ezért a kutatás mintaterületül olyan területeket választottunk, ahol a felszín az év jelentős részében bolygatott. A különböző táji adottságokkal rendelkező területeken a különbségekből adódó potenciális szélerozió-veszélyeztetettség eltérései jól definiálhatóak. A mintaterületek talajain mért értékeket összehasonlítottuk az ország különböző tájairól begyűjtött talajmintákkal is.



*4. ábra A Debreceni Egyetem szélcsatornája*

A különböző textúrájú talajmintákon elvégzett kísérletekkel igazoltuk, hogy az egyes textúra-osztályok kritikus indítósebessége és erodálhatósága elsősorban a talajok mechanikai összetételétől függ, de az azonos textúra-osztályon belüli eltérésekben a talajok  $\text{CaCO}_3$ - és humusztartalmának is szerepe van, mivel azok a talajaggregátum képződésben fontos szerepet játszanak. A kritikus indítósebesség értékeinek a változását a 0,02-0,01 és a 0,01-0,005 mm átmérőjű iszap és az apró homok határozza meg. A minta agyagtartalmának a hatása elhanyagolható. Megállapítottuk, hogy a homok- és az

iszaptartalom eltérően befolyásolja a kritikus indítósebesség értékeinek alakulását. A homoktartalom növekedése a kritikus indítósebesség csökkenését, míg az iszaptartalomé pedig annak növekedését eredményezi.

Az erodálhatósági vizsgálatok során az elszállított anyag tömege és a szélesebbesség közötti függvénykapcsolat exponenciálisnak bizonyult. A talajerozió (a kritikus szélesebbesség elérése után) a sebesség növelésével ugrásszerűen nő. Az összes talajminta mechanikai összetételét és az erodált anyag mennyiségét alkotó adatbázis összehasonlító elemzésével megállapítottuk, hogy a talajok homoktartalma és az erodált anyag mennyisége között pozitív lineáris kapcsolat van, továbbá az iszapfrakció növekedésével az erozió lineárisan, ugyanakkor az agyagtartalom növekedésével az erodált talaj mennyisége exponenciálisan csökken.

Az egyes talajtextúra-osztályok erodálhatóságának elemzésekor az erodált talaj mennyisége és mechanikai összetétele között csak a homok textúrájú talajoknál tudunk kapcsolatot kimutatni.

Az egyes talajtextúra-osztályok erodálhatósága és a humusztartalom közötti kapcsolat elemzése során megállapítottuk, hogy azok a szakirodalmi megállapítások, amelyek szerint a humusztartalom az erodált anyag tömegének növekedését okozza, nem igazolhatók egyértelműen. A homok és vályogos homok textúrájú talajoknál nem találtunk kapcsolatot a humusztartalom változása és az erodált anyag tömege között. A homokos vályog textúrájú talajoknál a humusztartalom növekedése az erodált anyag tömegének csökkenését eredményezte. Az

iszapos vályog textúrájú talajoknál a humusztartalom és az erodált anyag tömege közötti viszony alapján a talajmintákat két csoportra bontottuk: a minták egy részénél a humusztartalom növekedésével az erodált anyag tömege is növekedett, a másik csoportnál ennek fordítottja játszódott le. Iszapos agyagos vályog textúrájú talajoknál a humusztartalom növekedése az erodált anyag tömegének csökkenését okozta.

Az öntözési kísérletek eredményei alapján megállapíthatjuk, hogy az egyes talajminták víztartó képessége elsősorban azok mechanikai összetételétől,  $\text{CaCO}_3$ - és humusztartalmától függ. Az iszap és agyagszemcsék felszínén a vízrészecskék erősebben kötődnek, ezért a finomabb textúrájú talajok tovább képesek a vizet adszorbeálni. Kimutattuk, hogy a talajnedvesítés időbeli változásában 8-10 m/s sebességű szelek elérése esetén a száradás üteme felgyorsul.

Meghatároztuk az egyes talajtextúra-osztályokon öntözés/csapadék hatására keletkezett kéreg mechanikai összetételét, valamint a képződött kéreg ellenállását. Ennek során az alábbi következtetések vonhatóak le:

- A talaj felszínén kialakult kéreg szemcseösszetétele mindig finomabb, mint azé a talajé amin létrejöttek, mivel a nedvesség hatására a talajszemcsék szétesnek, majd a nedves talajban átrendeződnek és száradáskor más-más szemcseméretet alkotva összetapadnak.
- A különböző textúrájú talajok között a kéregképződés során bizonyos szemcseösszetételi eltolódás figyelhető meg:
  - A dominánsan homokból álló talajoknál a kéregben az aprószemű homoknál finomabb por, valamint a legdurvább szemcséjű iszapfrakció aránya növekszik meg.
  - A finomabb összetételű talajoknál (iszapos vályog, iszapos agyagos vályog) pedig a fő alkotóiknál, a pornál és az iszapnál kisebb frakciójú 0,005-0,002 mm átmérőjű iszap és agyagfrakció arányának növekedése mérhető; iszapos agyagos vályogoknál pedig a legfinomabb frakciójú agyagé.
- A humusztartalomnak elsősorban nem a kéreg keménységében van jelentősége, hanem inkább a kialakulásában játszik fontos szerepet: a víz hatására átmedvesedő humusz a finomabb frakciókat magához adszorbeálja, ezáltal a kialakuló kéreg vastagságát növeli.
- A talaj felszínén kialakult kéregen a mérhető kéregellenállás értékeit nagymértékben meghatározza a kiindulási talaj mechanikai összetétele, valamint a  $\text{CaCO}_3$ -tartalma. A finomabb textúrájú talajokon kialakult kéregben az iszap és agyagszemcsék erősebben tapadnak egymáshoz, egyrészt mivel ezek felülete nagyobb, mint a durvább szemcséké, másrészt pedig nagyobb mennyiségű humuszt és vizet képesek megkötni, ami szintén a szemcsék közötti tapadóerőt növeli.

*A fenti kísérletek vizsgálati eredményeinek a részletesebb ismertetése Négyesi Gábor: „Szélerózió-veszélyeztetettséget befolyásoló tényezők vizsgálata alföldi mintaterületeken.” című PhD értekezésében megtalálható.*

A szegedi kollégák terepi széleróziós méréséhez összehasonlító szélcsatorna kísérleteket is végeztünk két mintacsoporton egymástól függetlenül. Az első esetben a szélerózió hatását a természetes állapothoz közel álló aggregátumos szerkezeten vizsgáltuk. A másik esetben a tört-szitált mintasorozattal hajtottuk végre a kísérleteket. Ezek az eredmények összehasonlíthatók a korábbi szélcsatornás vizsgálatokkal.

A kísérletek során bebizonyosodott, hogy az aggregátumos szerkezetű kötöttebb talaj a legnagyobb szélesebbségen sem mozdult meg értékelhető mértékben, így nem tudunk elegendő mennyiséget gyűjteni a laborvizsgálatokhoz. Ezzel szemben a tört-szitált mintákon már 12 m/s-os sebességen is elegendő minta erodálódott és gyűlt össze. A kísérleteket négy sebes-

segtartományban és minden egyes sebességtartományon háromszor végeztük el. Minden kísérlet 15 percig tartott.

A szélerősség és az erodált anyagmennyiség között az apátfalvi mintára közel lineáris összefüggést tapasztaltunk. A 12,0-13,0 m/s-os sebesség tartományon kevés anyag erodálódott talajmintákból. A szomszédos területekről kontrollként vett másik két mintában (Csordakút és Csanádpalota) 660 g és 670 g, míg az apátfalvi mintában 490 g az erodálódott anyagmennyiség. A következő sebességtartományban jelentős ugrást tapasztaltunk az erodált mennyiségeket nézve. A minták eróziós vesztesége közel háromszoros volt a következő sebességtartományban, míg a 14,0-15,0 és 15,0-16,0 m/s-os sebességtartományokon az erodált mennyiség kissé csökkent.

A szemcseeloszlás vizsgálati eredményeiből az a tendencia látható, hogy a kis szemcsék által alkotott aggregátumos szerkezeti egységek hamar kiülednek. Ezzel szemben a nagyobb szemcsékből álló, de összességében kisebb szerkezeti egységet alkotók továbbhaladnak. A szemcsevizsgálatoknál – hogy az eredmények összehasonlíthatóak legyenek – a teljes szemcseeloszlás eredményeiből a leiszapolható mennyiségeket számoltunk és úgy hasonlítottuk össze a többi eredménnyel. A minták leiszapolható szemcséinek százalékos aránya 33-48 % közöttinek adódott. A mintatartó után felhalmozódott üledékben a finom szemcsék aránya nagy, míg a fogókból gyűjtött mintákban a leiszapolható szemcsék aránya kisebb lett, mint az alapmintáé, pl. a 13,0-14,0-es sebességtartományon a mérés előtti gyűjtött minta leiszapolható mennyisége 40,6 %, az első fogóé 38,8 %, a másodiké 35,8 %, viszont a mintatartó utáni mintában már 44,4%-os ez az arány. Meg kell jegyezni, hogy sebesség növekedésével a minták leiszapolható mennyiségének százalékos arányai nem változtak meg.

A talajok humusztartalma felelős egyrészt a talajok morzsás szerkezetéért, amely tényező alapvető fontosságú a jó víz és levegőgazdálkodáshoz. A kísérlet során mért humusztartalmak az 1,2 - 2,0 %-os tartományban szóródnak. A vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy a mintatartó után felhalmozódott üledék tartalmazza a legtöbb humuszt, például a 12,0-13,0 m/s-os sebességtartományban a mérés előtt gyűjtött minta humusztartalma 1,8 %, az I. és II. fogóban 1,6 %, míg mintatartó után felhalmozódott üledékben 2,0 %. Ez az értéksor jól reprezentálja az uralkodó tendenciát: a szélesebb sebesség növekedésével a gyűjtött humuszmennyiségek kis mértékben növekedtek, míg az arányok lényegében nem változtak.

### **c, A kormeghatározások eredményei**

A geomorfológiai vizsgálatok alapján meghatározott formák mozgási korának meghatározásához OSL (fény-lumineszcenciás) méréseket alkalmaztunk (Sipos – Kiss 2006, Sipos et al. 2009a), illetve a homokrétegek közötti talajosodott rétegek korát  $^{14}\text{C}$  meghatározással, valamint régészeti leletek segítségével határoztuk meg. A Nyírségben 2 helyről, míg a Duna-Tisza közén 5 helyről származnak a minták és a koradatok (1. táblázat).

*1. táblázat: A Nyírségben és a Duna-Tisza közén megmintázott homokformák homokanyagának OSL kora*

	<i>Mintavételi hely</i>	<i>Szelvény /minta (mélység - cm)</i>	<i>OSL minta</i>	<i>OSL kor (év)</i>
<b>NYÍRSÉG</b>	Bagamér	Bag 1B / 15	OSZ140	90±30
		Bag 1B / 30	OSZ139	230±60
		Bag 1B / 45	OSZ138	360±90
		Bag 1B / 60	OSZ137	440±150
		Bag 1B / 75	OSZ136	960±210
		Bag 1B / 90	OSZ135	1140±170

		Bag 1B / 105	OSZ134	1370±330	
		Bag 1B / 120	OSZ133	2470±330	
		Bag 1B / 135	OSZ132	2510±320	
		Bag 1B / 150	OSZ131	5960±740	
		Bag 1B / 165	OSZ130	7030±960	
		Bag 1B / 180	OSZ129	9160±1130	
	Erdőpuszta	Erd.5. / 15	OSZ 26	317±213	
		Erd.5. / 45	OSZ 27	2509±81	
		Erd.5. / 70	OSZ 28	3720±65	
DUNA-TISZA KÖZE	Fülöpháza	F alj / 380	OSZ297	216±39	
		F lee /140	OSZ317	119±22	
		F lee /220	OSZ320	142±31	
		F lee /300	OSZ403	143±25	
		F lee /540	OSZ407	146±26	
		F luv /120	OSZ408	196±42	
		F luv /180	OSZ409	818±148	
		F luv /240	OSZ410	846±156	
		F luv /300	OSZ411	1211±209	
		F luv /540	OSZ415	1063±185	
		F szárny / 300	OSZ419	148±27	
		F szárny / 520	OSZ423	145±26	
		Csengele III. homokbánya	CS I / 80	OSZ 12	616±68
			CS I / 240	OSZ 13	3376±179
			CS II / 305	OSZ 14	1227±116
			CS II / 355	OSZ 15	1371±123
			CS II / 410	OSZ 16	1599±261
		Apostag	AP I / 40	OSZ 17	851±146
			AP I / 75	OSZ 18	982±218
			AP II / 50	OSZ 19	1765±189
			AP II / 190	OSZ 21	9094 ± 1096
		Kiskunhalas	Halas 1 / 40	OSZ 41	596±68
			Halas árok / 55	OSZ 45	1739±201
			Halas 3 / 120	OSZ 46	12728±1241
			Halas 2 / 70	OSZ 42	1215±194
			Halas 2 / 100	OSZ 43	1587±212
			Halas 2 / 130	OSZ 44	2914±316
		Kecel	K 1 / 65	OSZ 50	9900±1570
			K 1 / 190	OSZ 51	12650±2250
			K 2 / 55	OSZ 47	150±30
		K 2 / 80	OSZ 48	1140±140	
		K 2 / 120	OSZ 49	1190±220	

A Nyírségben további két feltárásban olyan fosszilis talajréteget találtunk, amely fa-szenet tartalmazott, így lehetőség nyílt radiokarbon kormeghatározásra. A <sup>14</sup>C vizsgálatokat az MTA Atommagkutató Intézetének Környezetanalitikai Laboratóriumában végezték. A gé-

gényi feltárásban, a fosszilis talaj kora  $3.700 \pm 50$ , a kántorjánosi talajé pedig  $9.300 \pm 90$  BP évnek adódott.

#### ***d, Palinológiai eredmények***

A Nyírség DK-i részén végzett pollenanalitikai vizsgálatok eredményeiről tanulmányokban (Kiss – Sipos 2006, 2007, 2009, 2010) számoltunk be. A Duna-Tisza közén a palinológiai elemzéseket régészeti adatokkal egészítettük ki (Nyári – Kiss 2005ab, Nyári et al. 2006ab, 2009).

A Nyírség és a Hajdúhát peremterületén a lepelhomok-rétegek vastagságának vizsgálatánál a magfúrások pollentartalmának értékelésénél a következő eredmények születtek:

A fúrásokat nedves, magasabb vízállású területekbe mélyítettük. A terület üledékanyaga ennek megfelelően pollen felhalmozódásra is alkalmas lehetett, amennyiben a vízborítás állandó volt. Az első két fúrás pollentartalmáról elmondható, hogy az üledék nagyon kevés pollent tartalmazott. Ennek több oka lehet, mindenekelőtt az, hogy a vízborítás nem volt állandó. Időnként kiszáradt a terület, vagy nagyobb áradások átmoshatták, friss oxigéndús vízzel felfrissíthették a terület üledékanyagát és eloxidálták azt.

Az üledék szerves törmelékben bővelkedett, ami felismerhetetlen szöveti maradványokat jelent, ebben a közegben az ellenállóbb pollenek megmaradtak. Az üledéki környezet nem volt alkalmas teljesen pollentárolásra. A nedves környezet, ami az első minta esetében egykori tavi állapot lehetett, a második esetben egy inkább időszakos magas vízállású területről van szó, amely hosszabb rövidebb ideig akár tavi állapottá is alakulhatott, majd gyakran ki is száradhatott. Ez a jelenség nem kedvez a pollen felhalmozódásnak, mert a pollenek oxidálódnak, a lebontó szervezeteknek – mikrobáknak – nem tudnak ellenállni, valamint teljesen kiszáradnak, ami a pusztulásukat okozza.

A hajdúvidi mintavételnél homokos, iszapos, agyagos üledékekből készült pollenvizsgálat. A pollenanyag csak minőségi értékelésre volt elegendő. A pollenösszetétel lágyszárú tóparti társulás elemeit tükrözi. A partközeli ernyősvirágzatúak (*Umbelliferae*), nád (*Phragmites*) a távolabbi területek füves társulásainak elemei közül a pázsitfűfélék (*Gramineae*), a fészkesvirágzatúak (*Compositae*) pollenei kerültek elő. 170-140 cm között felismerhetetlen pollenszemek jelenléte fekete koromszemcsék kíséretében azt jelenti, hogy az üledék áthévíült, a pollenszemek megsültek, a fekete koromszemcsék pedig a tüzeset nyomát jelzik.

A tedeji mintákból szintén csak kvalitatív értékelésre nyílt lehetőség. Erősen feltöltődött, detrituszos, szerves málladékban gazdag közegből csak néhány lágyszárú növény pollene, többnyire kultúr növények és gyomnövények pollenei kerültek elő a 80-90 cm-es felső szintből, így kukorica (*Zea mays*), majd 130 cm-ről gabonafélék közül búza (*Triticum*) pollene, kerserűfű-félék (*Chenopodiaceae*) virágporainak kíséretében. A terület eredetileg tavi jelleget mutat 180-190 cm mélyen, ahol a nád (*Phragmites*) megjelent, majd fokozatos kiszáradás, mocsarasodás jellemzi, amit a mocsári zsurló (*Equisetum palustre*) spórája igazol 160 cm-en. 150-130 cm között, valamint 70 cm-től csak a pázsitfűfélék (*Gramineae*) és kerserűfű-félék (*Chenopodiaceae*) pollenei fémjelzik az üledéket. Ezeknek a mintáknak az elemzése során kormeghatározást sajnos nem tudtunk végezni, mivel a pollenösszetétel mennyisége nem volt arra alkalmas. A kukorica pollent tartalmazó 80-90 cm viszont igen fiatal üledékről árulkodik. A mélység lehet, hogy megtévesztő, de az antropogén hatást nem szabad figyelmen kívül hagyni.

A további mintavételi helyeket Újfehértó környékén nedves, magasabb vízállású területekbe mélyítettük. A terület üledékanyaga ennek megfelelően pollen felhalmozódásra is alkalmas lehetett, amennyiben a vízborítás állandó volt.



Mindegyik minta egykori tó üledékéből származik. A tó medre teljesen feltöltődött, csak csapadékosabb időjárás idején vált tocsogóssá a terület. Ezt az állapotot jól jelzi a libapimpó, és a magasabb talajvízszintet jelző növények jelenléte (pl. káka).

A fűrásmintákban a pollenanyag csak minőségi értékelésre volt elegendő. A tavi állapot mocsarasodásba fejlődött, amely nem kedvezett a pollen konzerválódásának. A mintákban igen sok pernye található, ami közeli tüzet jelent. A pollenanyag nem perzselődött meg, tehát nem a tó nádasra éghetett, hanem a tó közelében valahol. Mivel statisztikai értékelésre nem volt elegendő a pollenanyag, ezért nem lehet megmondani, hogy természetes keletkezésű tűzről van-e szó, vagy antropogén eredetűről. Az üledék mikroszkopikus képében sok a lösz frakcióra jellemző 20-50µm nagyságú szervesetlen szemcse, ami hideg fázis üledékére utal, ezt a feltételezést néhány fenyő (*Pinus*) pollen is alátámasztja. A pollen mennyisége nem volt elegendő ahhoz, hogy tajga jellegű erdőt feltételezzünk, ahol gyakori a természetes erdőégés, szárazabb nyarakon a fenyőlevélből álló avartakaró magas gyantatartalma miatt könnyen meggyullad. A fenyőpollen mellett pázsitfű-féléket – *Poaceae* (*Gramineae*) találtunk, ami viszont erdőssztyeppet feltételez. Mivel lombos fák pollenjeit nem találtunk, ezért hideg fázisra kell gondolnunk. Majd pollenmentes szintet találtunk, amelyben szervesetlen szemcsék nagysága a löszfrakcióra volt jellemző. A felső 50 cm-en az üledék nagyon kevert pollenképet mutatott. A lágyszárúak és a vízinövények pollenkeveréke. A lágyszárúak közül a pázsitfűfélék (*Gramineae* – *Poaceae*) dominanciája volt a jellemző, de jelen volt az üröm (*Artemisia*) és a libatop-félék (*Chenopodiaceae*) pollenje is. A vízinövények közül a tócsagaz (*Myriophyllum*), süllőhínár (*Ceratophyllum*) virágpóra volt felismerhető.

Összegzésként megállapíthatjuk, hogy az üledék a felhalmozódása a pleisztocénba vagy a későglaciális hideg fázisába nyúlik vissza. A tócsagaz már melegebb tavak növénye, az üröm viszont szikesedésre utal, tehát száraz, szélsőségesebb nyarakat feltételezhetünk

## **Geoinformatikai kutatási eredményei**

### ***a, Homokbuckák digitális domborzatmodellézése***

A Fülöpházi Homokbuckák területén az volt a célunk, hogy teszteljük, hogy vajon a DDM alapján mely formák ismerhetőek fel, melyeket lehet automatizáltan térképezni, s az adott DDM mennyire tükrözi ezen változatos felszín tényleges formát (Kiss és Tornyánszki 2006).

A terepi geomorfológiai felmérés során a mintaterületen a szélbarázda – garmada – maradékgerinc formacsoportokhoz tartozó formákat, utólagos szélmarás-nyomokat térképeztünk fel. A terepi felmérések segítségével a másodlagos szélmarásnyomok is feltérképezhetőek voltak (ami a DDM-en nem látszott), illetve a mintaterület ÉNy-i szegletében gyűrűszerű, buckanyom-vonulattal rendelkező garmadákat is találtunk, melyek a formakincs fiatal jellegére utalnak.

Az elkészített digitális domborzatmodell segítségével elkülöníthetővé váltak egyes mintázati zónák. A terület központi, akkumulációs része a környezete fölé 8-10 m-rel magasodik, rajta összetörödött garmadák jellemzőek. A mintaterület ezen részén 40 garmadát, 9 önálló maradékgerincet és 62 szélbarázdát, illetve 21 komplex formát számoltunk össze. Ezek a formák egymásba olvadása, valamint a felújuló homokmozgás során jöhetnek létre. Az akkumulációs mező szélén, alacsonyabb helyzetben az egyes formák (szélbarázda, garmada, maradékgerinc) jól elkülönülnek, ugyanakkor alacsonyabbak is. A legkülső, eróziós sávban a terület ellaposodásával a mezóformák elmosódása figyelhető meg.

A DDM hátránya a felbontásából következik, hiszen rajta a másodlagos szélmarásnyomok nem látszanak. Ugyanakkor a terepi munka megalapozásához kiválóan alkalmas, hiszen a formák rendszeréről pontos képet ad. A domborzatmodellből készített alkalmazások (lejtőkategória, kitétségi térkép) a garmadák áthordási vonalának és a szélbarázdák tengely-

vonalanak pontosítására tökéletes, a garmadák lee oldalának elhatárolására is használható, azonban a képződmények határvonalát ezek sem pontosították.

### ***b, Homokbuckák morfológiai elemzése***

A Dél-Nyírség formáinak geoinformatikai elemzése lehetővé tette a homokbuckák morfológiai alapon történő osztályozását (Kiss et al. 2009). Összesen 5 csoportba soroltuk a nagyobb pozitív formákat, de a kisebb formák morfológiai elemzése nem volt kielégítő, ugyanis a közöttük lévő különbség inkább szedimentológiai, mint morfológiai. A buckatípusok térbeli vizsgálata lehetővé tette egyes késő pleisztocén környezeti tényezők (pl. völgyek nedvességi viszonyai, szélirány) rekonstrukcióját.

Vizsgálataink szerint minden pozitív homokforma legalább 1-2,5 méterrel alacsonyabb lett a holocénben az erózió következtében, bár amelyek intenzívebb emberi hatás alatt álltak azok akár 4-6,5 métert is alacsonyodhattak. Ezért azokat a buckákat kiválasztva, amelyek (a) a csoport-átlaguknál legalább 4 méterrel alacsonyabbak, vagy (b) a felszabdaltságuk 2,8 feletti, vagy a dűnék magassági ritmusába nem illenek, kijelölhetőek voltak mindazon területek a Dél-Nyírségben, amelyek jelentősebb emberi hatás alatt állhattak a történelmi idők során. Ezeknek a buckáknak több, mint fele a korábbi, illetve jelenlegi települések 1 km-es sugarú körén belül fekszenek (tehát ezzel a módszerrel további, eddig még nem kutatott potenciális régészeti lelőhelyek is kijelölhetőek a területen).

Megállapítottuk, hogy az ember környezetre gyakorolt hatása a legintenzívebb a 13-16. századra tehető, amikor a terület sűrűn lakott volt és a települések közvetlen környezetét intenzíven használták, illetve a 19-20. században, amikor az intenzíven használt területek területe nőtt, és azokat a területeket is érintette, amelyeket korábban nem. Ennek ellenére a talajerózió mértéke, tehát a buckák alacsonyodása a középkorban volt a legjelentősebb.

### ***c, A szélrózió kutatások geoinformatikai értékelése***

#### ***– szélrózió modellek alkalmazása***

A WEPS (Wind Erosion Prediction System) Erosion szubmodell validációja során bizonyítottuk, 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. A WEPS Erosion folyamatmodell tesztelése során megállapítottuk, hogy egy-egy szélrózió esemény szimulációjára a modell az RWEQ (Revised Wind Erosion Quotation) programnál megbízhatóbb, ellenőrizhetőbb és alkalmasabb modellező eszközként értékelhető. A WEPS modell részletes kimeneti adatainak értékelésével becslést adtunk a levegőbe került egészségkárosító por mennyiségére.

#### ***– a szélcsatorna kísérletek adatainak a feldolgozása – térképi ábrázolások***

A szélcsatornában mért adatok alapján erodálhatósági kategóriákat állítottunk fel, amelyeket a mintaterületek 1:100 000-es méretarányú agrotopográfiai térképéhez rendeltünk. Az így kapott szélrózió térképekből kivontam az egyes mintaterületek területhasználati térképét és komplex potenciális szélrózió-veszélyeztetettségi térképet szerkesztettünk. Ezáltal lehetővé vált az egyes erodálhatósági kategóriák területi kiterjedésének bemutatása.

### – a mezővédő erdősávok felmérése, osztályozása

A mezővédő erdősávok és fásítások felmérését alapvetően a *geoinformatika* eszközeivel végeztük el, a II. világháború alatt elvégzett magyar katonai térképezés, az 1970-es évekbeli topográfiai térképek és a 2005-ös űrfelvételek raszteres térképállományának vektorizálásával. A különböző időpontokban elvégzett térképészeti felmérések jó lehetőséget nyújtottak a mezővédő fásítások és erdősávok területi kiterjedésének időbeli követésére. Az elkészített digitális térképállományokat adatbázisokkal töltöttük fel, amelyek a mezővédő erdősávok néhány főbb tulajdonságát tartalmazzák (sorok száma, porozitás, irány, funkcionális típus). Itt figyelembe vettük a terepi kutatások eredményeit, digitális felvételeit.

A térképek és űrfelvételek feldolgozásával kimutattuk, hogy az egyes mintaterületek erdőborítottságában és a mezővédő erdősávrendszerek hosszában az alábbi jelentős különbségek mutathatók ki:

Az erdőborítottság aránya a nyírségi mintaterületen a legmagasabb (33%), míg a hajdúhádi (3,5%) és a karcagi mintaterületen elenyészően kicsi (2,7%). Ugyanez mondható el hasonló sorrendiséggel a mezővédő fasorok és erdősávok hosszáról is. Az egyes területek között meglévő erdősültségi különbségeknek talajtani és ebből eredően területhasználati okai is vannak. A Nyírségben, ahol a különféle homoktalajok fordulnak elő, a talaj termőképessége és a fellépő deflációs veszély miatt a mezőgazdasági termelés a löszterületekhez viszonyítva nem annyira kifizetődő. Emiatt a földterületek nagyobb hányadát erdősítették be, mivel így egyrészt a növényborította felszínen nem érvényesül a szél eróziós tevékenysége, másrészt pedig az erdőnek gazdasági haszna is a benne rejlő, értékesíthető faanyag miatt. A hajdúhádi mintaterület, talajtani szempontból összetettebb, ez a mezővédő erdősávok megoszlásában is látszik. A Hajdúhát K-i részén (főként Hajdúnánás és Hajdúdorog között) több mezővédő erdősáv van, mint a Hortobágy felé eső területeken. Ennek oka, hogy amíg a jó termőképességű csernozjom talajú szántóföldeket védték erdősávokkal, addig a Hortobágy kötöttebb talajú talajait már nem.

Az erdőterületek és erdősávok hosszának változásában a három mintaterületen hasonló tendenciák játszódtak le. Az 1940-es és 1970-es évek között mind az erdőterületek területe, mind a mezővédő erdősávok hossza nőtt. 1970 és 2005 között az erdőterületek aránya a nyírségi mintaterületen tovább növekedett, a másik két mintaterületen viszont kismértékben csökkent. A mezővédő erdősávok hossza 1970 és 2005 között a földtulajdonban bekövetkezett változások miatt mindhárom mintaterületen csökkent.

A mezővédő erdősávok szerkezetére és irányára vonatkozóan 0-5 közötti pontszámokból álló pontozásos minősítési rendszert dolgoztunk ki, melyben az erdősávot alkotó sorok számát, porozitását és irányát vettük figyelembe. A mezővédő erdősávok szerkezetét tekintve elmondható, hogy azoknak több, mint 80%-a csak részben, 40-50%-a pedig egyáltalán nem felel meg az erdősávok telepítési szabályainak.

### Összegzés

A most zárult project – a debreceni és a szegedi egyetem szélerózióval foglalkozó geográfusainak az együttműködésével – a kitűzött célok teljesítésével valósult meg. Az elmúlt négy évben a geomorfológia és szélerózió témakörökbe sorolható kutatásainkat laboratóriumokban és terepen végeztük.

A geomorfológiai, fejlődéstörténeti kutatások keretében új (OSL) és hagyományos ( $^{14}\text{C}$ , palynológiai) kormeghatározási módszerek alkalmazásával a Nyírségben és a Duna-Tisza közén kiválasztott mintaterületeken olyan új adatokat nyertünk, amelyekkel a holocén homokmozgási periódusok meghatározását pontosítottuk. Ennek figyelembe vételével a holocén tájfejlődés a választott mintaterületeken röviden az alábbiakban foglalhatjuk össze.

A *Nyírségben* az első holocén homokmozgás a preboreálisban fordult elő, ami klimatikus okokra vezethető vissza, s ez megegyezik a korábbi eredményekkel. A boreális homokmozgások tekintetében a hazai szakirodalomban ellentétes vélemények vannak, de mi bizonyítékot találtunk kora boreális, klímaváltozás indukálta homokmozgásra is. Ezt valószínűleg emberi tevékenység okozta, hiszen a neolitikum emberei felégették az erdőt a talajváltó gazdálkodáshoz, míg a rézkorban legettették a területen, tehát a fázisok nedves klímája ellenére előfordulhatott szélérozió. A szubatlantikus fázis elején, a vaskorban is volt homokmozgás a bagaméri mintaterületen. A népvándorlás idején Bagaméron többször is mozgásba lendült a homok, Erdőspusztán legalább egyszer, ami arra utal, hogy a homokmozgás nagy területeket érinthetett. Számos kutató hivatkozott a történeti időkben, a 18-19. században bekövetkező homokmozgásra, amit az erdőirtásokkal és földműveléssel hoztak kapcsolatba. Mi is hasonló eredményre jutottunk, hiszen több homoklepel korát is sikerült ebből az időszakból meghatározni. A 18. századi mozgások feltűnően egy időszakra esnek mindkét területen, ami arra utal, hogy igen kiterjedt térségeket érinthettek.

A *Duna-Tisza közén* a füves vegetációjú homokterületet elsősorban a nagyállattartó népcsoportok számára volt hasznosítható. A leletek földrajzi helyzete azt mutatja, hogy a területen lakók jellemzően a buckák és a lapos területek közötti határzónában, elsősorban a buckák délies (pl. Apostag) vagy délnyugati (pl. Csengele) oldalán telepedtek le. Az állattartó csoportok nagy népességűek lehettek, így a túllegetetés következtében többször is mozgásba lendült a homok: i.e. 1200-1500-ban a késő bronzkor elején a "Halomsíros" kultúrához kötődően, az i. sz. 3-4. században a szarmaták, a 6-9. században az avarok idején, majd a 13. század közepén, és végül a 14. században a kunok letelepedésekor.

*Összehasonlítva a nyírségi és a Duna-Tisza közeli adatokat* megállapítható, hogy jóval többször mozgott a homok a Duna-Tisza közén. Ennek oka, hogy ez a Kárpát-medence legszárazabb vidéke, s mint ilyen, a legérzékenyebb a klíma változásaira és az emberi hatásokra. A klímaadatokból kiindulva már a korábbi kutatások is feltételezték homokmozgást a preboreális, boreális fázisokban és az atlantikus szárazabb időszakokban. Ezek a száraz klímához kötött széléroziós időszakok egybeesnek a Nyírségben és a Duna-Tisza közén, tehát feltételezhetően nagyobb területeket érintettek, mint azt korábban gondolták. A holocén második felében a szélérozió már egyértelműen emberi tevékenységhez köthető, amint azt az OSL és régészeti adatok is mutatják. Összehasonlítva a két homokvidék homokmozgási időszakait kitűnik, hogy a Nyírség eddig kutatott területein a bronzkori és 13. századi homokmozgások hiányoznak. Ez magyarázható azzal, hogy a két táj éghajlata és növényzete jelentősen eltér, és ezért a megtelepedő kultúrák is mások lehettek. A Nyírséget csaknem folyamatosan erdő, míg a Duna-Tisza közét főleg füves növényzet borította, és itt a csapadék is kevesebb. A füves térszíneket pedig jobban tudták hasznosítani a nagyállattartással foglalkozó népcsoportok, így a bronzkoriak vagy a kunok, ezért a Duna-Tisza-köze ezekben az időszakokban sűrűbb népességű lehetett, és nagyobb terhelésnek is volt kitéve, mint a Nyírség.

A szélérozió és az ellene való környezetkímélő védekezés témakörébe tartozó laboratóriumi és terepi kísérletek keretében elvégeztük a laboratóriumi és a terepi mérések összehasonlító elemzését. A pályázat támogatásával beszerzett új műszerekkel végzett kísérletek adatai tovább bővítették korábbi ismereteinket. Meghatároztuk a kiválasztott mintaterületek eltérő textúrájú talajainak a kritikus indító sebességét, és e talajokat erodálhatóságuk alapján kategóriákba soroltuk. A kísérletsorozat eredményei lehetőséget biztosítottak potenciális széléroziós térképek szerkesztésére, és jelentősen bővült a hazai Széléroziós Információs Rendszer adatbankja. Új kísérletek bevezetésével, illetve új módszerek alkalmazásával a szélérozió elleni védekezéshez nyertünk új információt. Ez egyrészt a különböző talajok víztartó képességének meghatározásában, a felszínen kialakuló kérégek jellemzésében, továbbá a geoinformatikai és terepi módszerekkel felmért mezővédő erdősávok jellemzésében mutatkozik. A kutatásnak elsősorban a szélérozió elleni védekezésnél, illetve a védekezés tervezésénél van gyakorlati jelentősége. A globális klímaváltozással várhatóan együttjáró szárazodási folyamat – különösen a Duna-Tisza közén – a szélérozió mértékének növekedését idézheti elő, ezért ezeket az eredményeket fontosnak tartjuk és a kutatások folytatását tervezzük.