

UAV-ALAPÚ TEREPI SZÉLERÓZIÓS MÉRÉSEK EGY NYÍRSÉGI GARMADÁN

NÉGYESI GÁBOR – TÚRI ZOLTÁN – SZABÓ GERGELY
– BERTALAN LÁSZLÓ

UAV-BASED FIELD WIND EROSION MEASUREMENTS
ON A GARMADA IN NYÍRSÉG

Abstract

The fragile landscape of the Nyírség region is highly susceptible to wind erosion due to its soil properties and intensive agricultural land use. Accurately estimating wind erosion rates is crucial for managing these affected environments and optimizing locations for erosion control. In this study, we conducted field measurements of wind erosion on the experimental plot of the DE ASC Westsik Vilmos Research Institute near Nyíregyháza in late winter and early spring of 2024. We aimed to investigate wind erosion dynamics concerning two key climate parameters: wind velocity and precipitation. We utilized UAV aerial imaging during periods of erosive winds and tested eight different point cloud co-registration methods to evaluate their relative performance. Significant differences were observed due to topographic conditions and the absence of permanent ground control points. Further improvements in survey design are necessary to quantify centimeter-scale material displacement accurately.

Keywords: wind erosion, Nyírség, blown sand, field measurements, UAV

Bevezetés

A szélerózió a Föld számos területén, így hazánkban is komoly problémákat és jelentős károkat okoz (ZHENG, X. 2009). Ez a jelenség elsősorban a homoktalajokat veszélyezteti, de a kötöttebb talajok termőképességének leromlásában is fontos szerepet tölt be (GUO et al. 2014). A károk egy része lehet mezőgazdasági (talajvesztés, termőképesség-csökkenés stb.), illetve közegészségügyi (poremmisszió, kemikáliák levegőbe jutása) (GOESSENS, D. – BUCK, B. 2011).

A szélerózió nagyságrendjének meghatározása és nyomon követése a talajdegradáció és az ebből következő élelmiszerbiztonság szempontjából is fontos (RAVI, S. et al. 2010). Habár a szélerózió elleni védekezés fontosságát széles körben elismerik, a szél által mozgatott anyag mennyiségének meghatározása jelenleg is kihívást jelent (BATISTA, P.V. G. et al. 2019). Annak ellenére is így van ez, hogy a szélerózió mérésére és térképezésére ma már számtalan lehetőségünk van: szélcsatornában végzett mérések, eróziós tük (WARREN 2013), üledékcsapdák (NICHOLS, M. 2006) távérzékelés (POORMORTEZA, S. et al. 2023) vagy éppen az adatbányászati modellek (GHOLAMI, et al. 2020).

Hazánkban a mezőgazdasági szakemberek közül WESTSIK V. (1965) volt az, aki elsőként

foglalkozott kifejezetten a nyírségi homoktalajok termőképességének javításával és a defláció elleni védekezés lehetőségeinek a kidolgozásával. A Nyírségben az első terepi széleróziós vizsgálatokat BORSY Z. végezte az 1960-as évek elejétől kezdődően (BORSY Z. 1974). Több éven keresztül végzett megfigyeléseivel igazolta, hogy a szélerózió szempontjából a tavasz a legveszélyesebb időszak, annak is főként a márciusi és az április elejéig tartó szakasza, mivel ekkor a talaj fedettsége nem megfelelő (a növények nem keltek ki vagy nem erősödtek meg).

LÓKI J. (1985) tanulmányában a téli széleróziót vizsgálta, ugyanis megfelelő időjárási helyzetekben télen is jelentős szélerózió sújthatja a nem megfelelően védett homokfelszíneket, különösen akkor, ha a téli hónapokban kevés csapadék hullik és emiatt a talajban kicsi a nedvességtartalom, a szél erőssége viszont nagy.

KISS T. (1997) a Nyírség déli részén végzett több éven keresztül üledékcsapdás eróziós méréseket, különböző magasságú, lejtőhosszú, kitett-ségű és növényzetű lejtőkön. Megállapította, hogy a buckák csapadék okozta lepusztulása a kora nyári esők idején a legintenzívebb, a szárazabb késő nyári, őszi időszakban pedig a legkisebb. A legintenzívebb lepusztulást a buckák lee oldalán, az inflexiós sáv feletti lejtőszakasznál mérte.

A Debreceni Egyetem Természetföldrajz és Geoinformatika Tanszékén 2011 óta végzünk széléróziós méréseket egy, a nyíregyházi Westsik Vilmos Kutatóintézet kísérleti területéhez tartozó garmadán (BURÓ B. et al. 2018). A terepi mérések során a szél által okozott felszínváltozások kvantitatív jellemzéséhez eróziós karókat használtunk. A mérési időszakban a mért maximális anyagelhordás vastagsága elérte a 10 cm-t. A mérések során korlátozó tényezőként jelentkezett, hogy a kutatóintézet termelési rendszerének sajátosságai miatt a méréseinket csak a tavaszi időszakban tudtuk kivitelezni. A mérési eredményeket tekintve ez nem jelentett problémát, mivel a májusi és a júniusi esők hatására a növényzet annyira megerősödött, hogy teljesen lekorlátozta a szélérózió lehetőségét. Másrészt pedig a parlagon hagyott területen a csapadék hatására erőteljes gyomosodás indult meg, ezért azt májusban feltárcsázták, ami a további mérések folytatását értelmetlenné tette, mivel ez a beavatkozás megbolygatta a felszínt. Az eredmények értékelését tovább nehezítette, hogy a mérési metodikából adódóan csak pontszerűen szolgáltatott releváns eredményeket, így a mérési pontok között elhelyezkedő területek felszínváltozásáról nem, ráadásul a leolvasások során azok bolygatásra is kerültek.

Ennek kiküszöbölésére 2020-tól kezdődően fotogrammetriai és földi lézerszkennelésen alapuló módszereket kezdünk el alkalmazni. Ezek többek között arra is alkalmasak, hogy segítséggel a szélérózió felszínformáka és talajpusztulásra gyakorolt hatását elemezzük (LACKÓÓVÁ, L. et al. 2023). Ez többek között azzal magyarázható, hogy ezek az eszközök (1) rugalmasan alkalmazhatók, (2) jobb térbeli és időbeli felbontású felvételeket szolgáltatnak, mint a műholdas távérzékelés (MANCINI, F. et al. 2013), nagy és kis méretarányban elvégzett mérésekhez egyaránt használhatóak (WHITEHEAD K. – HUGENHOLTZ, C.H. 2014), (3) az erózió által okozott felszínváltozást nem pontként, hanem folyamatos felszínként adják meg (BAILEY, G. et al. 2022), (4) valamint olyan helyeken is alkalmazhatóak, ahol előfeltétel az, hogy azt a területet, ahol mérni szeretnénk, az ember ne bolygassa meg (kifejezetten ilyenek azok, ahol például az elhordott anyag vastagságát szeretnénk meghatározni, mivel az emberi taposás zömöríti a területet, ez viszont már nem a természetes felszínváltozás következménye!). A 3D pontfelhőkön alapuló változás-vizsgálat megbízhatóságát azonban nagymértékben befolyásolja az egymást köve-

tő felmérések pontos egymáshoz illesztésének (co-regisztráció) hatékonysága. Tekintve, hogy a korábbi tapasztalataink alapján az erózió mértéke mindössze néhány centiméteres nagyságrendű, nem elegendő a légifelvételek alapos külső tájékozása. Az UAV-felmérések tájékozásához használt RTK-alapú georeferencia is mindössze ± 3 cm pontossággal biztosítható, ez pedig már sok esetben a lepusztulás pontatlan detektálását eredményezheti.

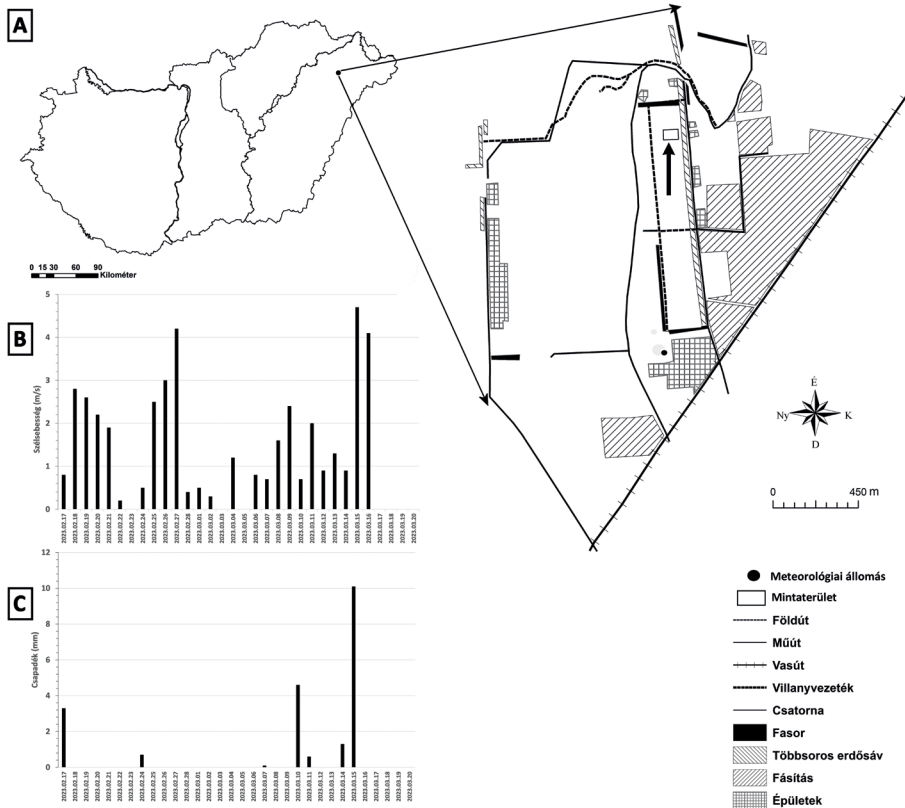
Jelen munkánkban a 2023 február-márciusi időszakban elvégzett, UAV-felméréseken alapuló mérések eredményeit mutatjuk be, rávilágítva azokra a módszertani korlátokra, amelyek jelentősen csökkentik a térbeli-időbeli változásvizsgálat pontosságát.

Anyag és módszer

A terepi széléróziós vizsgálatainkat a fentebb már említett Westsik Vilmos kutatóintézet területén végeztük. A szántóföld keleti oldalán a Nyíregyházát Bujjal összekötő műút húzódik, melyet a szántóföldtől egy többsoros, az uralkodó szélirányra merőlegesen elhelyezkedő, akácfából álló erdősáv választ el, amely ezáltal a területnek a szél ellen jó védelmet biztosít (1. ábra).

Morfológiailag a terület egy É–D-i irányú összetorlódott garmadasoron helyezkedik el. Ezt a környezetet főleg 6–6,5 méterre kiemelkedő garmadavonulatot az É–ÉK-i szelek hordták össze a tőle északra elterülő szélbarázda homokanyagából. A garmada felszínén alacsony humusztartalmú (0,8–0,9%), enyhén savanyú, mészből szegény futóhomok vázta képződött. Ezek uralkodó szemcsefrakciója az apró homok (0,1–0,2 mm), amely 60–75% közötti arányban van jelen, a finom- és középszemű homoknak már lényegesen alacsonyabb, míg az iszap- és agyagfrakciónak elenyésző a részesedése. A garmada oldalán lefelé haladva ez a kedvezőtlen talajtani adottság kedvezőbbé válik. Itt már a magasabb humusz- és mésztartalom mellett a finomabb szemcsefrakció felé tolódik el az üledék mechanikai összetétele.

A vizsgálati időszak meteorológiai jellemzéséhez szükséges szélesebb- és csapadék-adatok a Westsik Vilmos kutatóintézet területén elhelyezett meteorológiai mérőállomás mérési adatsorából származnak. A mérőállomás mindössze néhány száz méterre található a kísérleti területtől.



1. ábra A vizsgálati terület helyszínrajza (A).

A vizsgálati időszak fontosabb meteorológiai jellemzői: B=a napi átlagos szélesség; C=a csapadék mennyisége

Figure 1 Site plan of the study area (A).

The main meteorological features of the study period: B=average daily wind speed; C=precipitation

A légi térképezési adatgyűjtést egy DJI Matrice M210 RTK v2 UAV eszközzel, valamint egy Zennuse X7 24mm RGB kamerával végeztük, kiegészítve egy DJI D-RTK 2 bázis-állomással. A felmérés során készült képek koordinátái hálózati RTK-kapcsolaton keresztül kerültek meghatározásra VITEL-2014 transzformáció alapján, ezeket később a feldolgozás során UTM34N vetületi rendszerbe transzformáltuk. Az eltérő időszakban készült felmérések adatainak co-regisztrációja érdekében 4 db permanens földi illesztőpontot is kihelyeztünk, melyek koordinátáit Spectra Precision Focus 8 mérőállomással határoztuk meg. A légi adatgyűjtést a felszíntől számított 60 méteres magasságból végeztük, előre-, illetve oldalirányban egyaránt 80%-os sorok közötti átfedéssel.

A légifelvétel fotogrammetriai feldolgozását Agisoft Metashape Professional v2.0

szoftverben végeztük, melynek eredményeként felmérésenként a vizsgált területről egy ~2500 pont/m² sűrűségű 3D pontfelhő generálódott. A pontfelhők térbeli interpolációját követően digitális domborzatmodellt generáltunk, majd ezeket felhasználva elkészítettük az ortofotómozaikokat is, 2 cm/pixel térbeli felbontással. Jelen tanulmányunkban arra voltunk kíváncsiak, hogy két UAV felmérésből származó pontfelhő összehasonlítása esetén az eltérő co-regisztrációs eljárások milyen mértékű relatív eltéréseket eredményezhetnek. Ennek érdekében a CloudCompare v2.13 szoftver M3C2 pluginja segítségével hasonlítottuk össze a februári és márciusi pontfelhőket az alábbi nyolc variáció szerint: 1) az ICP (Iterative Closest Points) illesztő algoritmus alkalmazásával; 2) a 4 permanens illesztőponton illesztve (point-picking); 3) az előző kettő kombinációjával, illet-

ve 4) co-regisztráció nélkül. Az első elemzési sorozatban kizárólag az RTK-koordinátákkal tájékozott adatokat használtuk fel (rawRTK), míg a másodikban a fotogrammetriai feldolgozás során a 4 permanens illesztőpontot is bevontuk a pontfelhő-generálásba.

Eredmények

A vizsgálati időszakok főbb meteorológiai jellemzői

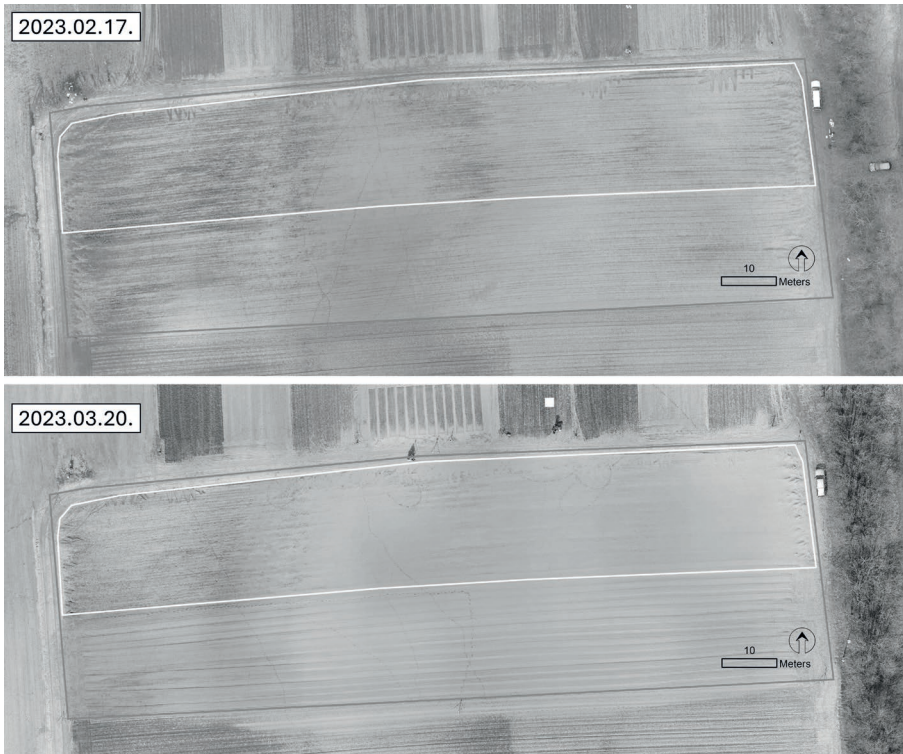
2023 februárjában és márciusban is elenyésző mennyiségű, 4 és 15 mm csapadék hullott. Ez azt jelenti, hogy egy-egy csapadékesemény során mindössze 2–3 mm eső hullott (1. ábra).

A mintaterületünkön a mérési időszakokban az uralkodó szélirány az É–ÉK-i és a D–DNY-i volt. A területre jellemző homok textúrájú talajok szélszélén meghatározott kritikus indítósebessége 6 m/s, ezt a küszöbértéket a mért szélsébség értékek három alkalommal közelít-

tették meg. Fontos hangsúlyozni, hogy ezek minden esetben napi átlagértékek, így a napi maximális szélsébség értékek ennél nagyobbak lehetnek. Az 1. ábrán az is jól látható, hogy jelentősebb csapadék mindig akkor hullott, amikor nagy sebességű szelek fújtak (jellemzően valamilyen frontbetörés idején), emiatt a talajfelszínre érkező csapadék gyorsan el is párologott, így a felalaj nedvességtartalmának pótlásában (és így a talajszemcsék közötti kohézió növelésében) szerepet nem játszott. Szélszélén végzett méréseink alapján 5 mm csapadék elpárolgásához homok textúrájú talajokon 7 m/s sebesség esetén kb. 10 óra szükséges, vagyis eddig jelent védelmet a talajnak (NÉGYESI G. et al. 2021).

Az eróziós mérések eredményei

Az UAV felmérésekből származó ortofotó-mozaikok vizuális interpretációja alapján a paragon hagyott parcellán a mérés kezdetétől március közepéig tartó időszakban intenzív eróziós folyamatot figyelhettünk meg (2. ábra). Ezt



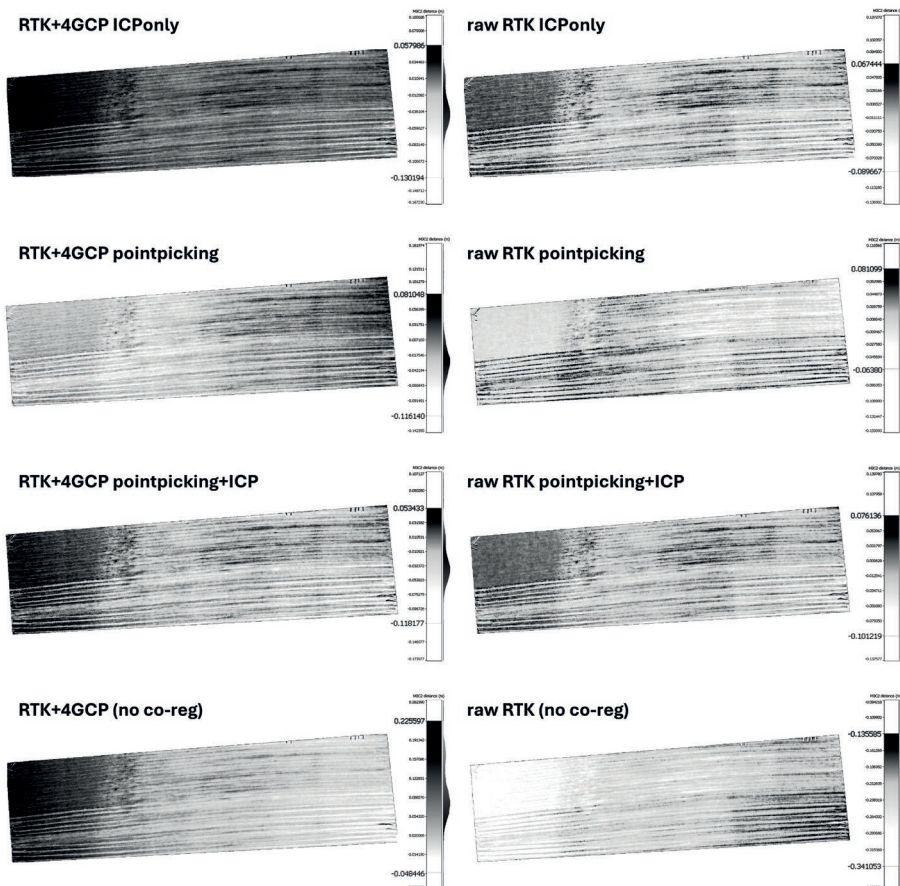
2. ábra UAV-felmérésekből generált ortofotómozaikok a vizsgált időpontokban
Figure 2 Orthophoto mosaics generated from UAV surveys at the time points under investigation

a viszonylag nagyobb szélességekkel jellemezhető, csapadékban szegény időszak, valamint a parlagon hagyott, csupasz talajfelszín együttesen idézte elő. Ebben az időszakban az általunk mért legnagyobb talajelhordás értéke 10–11 cm volt. A legnagyobb talajvesztés a garmada széllel szemközti lejtőjén, valamint a gerincvonalon következett be, ahol mind az északias, mind pedig a délies irányú szelek hatása érvényesülni tudott, köszönhetően annak, hogy azokban az irányokban a területet nem védték erdősávok. Ezen a területen a szél az őszi szántás során kialakult bakhátakat letarolta és jelentős planációt hajtott végre. A mintaterület keleti szegélyén elhelyezkedő mezővédő erdősáv szélesség csökkentő hatását a terepi megfigyeléseink is alátámasztották: a parcella keleti oldaláról a szél nem hordott el anyagot, sőt ezzel

ellentétes hatás érvényesült: ott jelentős akkumuláció következett be.

A parlagon hagyott területtől délre elhelyezkedő, őszi vetésű rozssal beültetett területre a garmada gerincvonalaiban az északias irányú szelek 2–3 cm vastagságú lepelhomok takarót hordtak, amellyel a növényeket betakarta és ezzel azok fejlődésében jelentős visszamaradást okozott, amit a növények a későbbiekben már nem is tudtak behozni. A rozs védőhatását igazolja, hogy a homok lerakódása már a szél felőli oldalon 4–5 sornyi távolságra megtörtént, a mögöttes területeken már az erózió volt megfigyelhető.

Az eltérő co-regisztrációs műveletek összehasonlítása (3. ábra) alapján nagymértékű relatív eltéréseket azonosítottunk a szélerózió számszerűsítése során. Az elkészült variációk többségében ~10 cm erózió, valamint ~5 cm



3. ábra Az eltérő co-regisztrációs eljárásokkal generált pontfelhő-párok közötti relatív eltérések
 Figure 3 Relative differences between point cloud pairs generated by different co-registration procedures

akkumuláció számszerűsíthető, azonban bizonyos esetekben ettől jelentősen eltérve, 35 cm erózió számított.

Ez azonban a korábbi mérési tapasztalataink alapján nem tekinthető reálisnak. A vizuális interpretációval leginkább az RTK-tájékozással, valamint a 4 permanens illesztőponttal közösen generált változat hozható összefüggésbe (3. ábra), kiemelve a garmada gerincén detektált magas eróziós intenzitást. Mindezek ellenére jelen mérési kampány alapján megállapítható, hogy a pontfelhők egymáshoz regisztrálásának hatékonyságát két tényező is jelentős mértékben csökkentette. Egyrészt a garmada gerinc és talpa közötti 6 méteres magasságkülönbség, másrészt az a tény, hogy ez a topográfiai sajátosság nem volt kiküszöbölhető egy további permanens illesztőpont telepítésével, a felszínen végzett hozamkísérletek miatt. A pontfelhők automatikus co-regisztrációjára gyakran alkalmazott ICP algoritmus nem bizonyult hatékonynak, ugyanis ehhez mindenképpen szükséges változás-mentes területek azonosítása. Az általunk vizsgált terület felszíne és textúrája azonban mindössze néhány hét alatt is jelentős változásokon ment keresztül.

Bár mérési eredmények nem állnak rendelkezésre, de a vizuális megfigyeléseink alapján kijelenthetjük, hogy április közepe után jelentős felszínváltozás már nem következett be. Ez részben a meteorológiai feltételek kedvező változásával magyarázható: április végén, májusban már csökken a szél sebessége, ugyanakkor több csapadék hullik, ami kellően stabilizálja a felszínt, hiszen egy nagyon vékony, kéreg kialakulása a homoktalajok felszínén is megfigyelhető. A lehulló csapadék miatt a talaj tömörödésem is keresztül megy, ami szintén védelmet nyújt a szél eróziója ellen. Számolnunk kell továbbá azzal is, hogy a csapadék hatására gyomtakaró jelenik meg, ami a korábbi szélmarások hatására már egyébként is érdessé vált felszín érdességét tovább növeli és a felszín felett áramló szél sebességét tovább csökkenti.

Összefoglalás

A nyíregyházi mintaterületen végzett mérés adatai és a korábbi tapasztalataink is azt mutatják, hogy a garmada felszínén – ha az eróziót befolyásoló éghajlati és vegetációs tényezők (keves csapadék, nagy szélsebesség, nagy kiterjedésű, tavaszi vetésre előkészített parcellák)

kedvezőek – a homok áthalmazódása és a felszín denudációja igen jelentős lehet. A hosszú távú folyamatokat nézve – ha nem is látványosan –, de a garmada felszínközeli rétege áthalmazódik. Ilyenkor a humusztartalom fokozatosan csökken és romlik a talaj minősége.

Az UAV eszközök alkalmasak a terepi mérések és a távérzékelte adatok közötti adathiány kitöltésére. Az akár 1–2 cm léptékű szél-eróziós folyamatok detektálása érdekében kiemelt fontosságú azonban, hogy az UAV-felmérések esetén nem elegendő az RTK-georeferencia, hanem mindenképpen szükséges megfelelő térbeli eloszlású, permanens illesztőpontok alkalmazása. Ezek a pontok teszik lehetővé ugyanis az egymást követő légitelvételek hatékony egymáshoz regisztrálását. Az általunk végzett UAV-alapú szél-eróziós vizsgálat hatékonyságának növelése érdekében további co-regisztrációs algoritmusok (pl. TimeSIFT) bevonása szükséges.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az NKFI K138079 számú projekt támogatta.

NÉGYESI GÁBOR

Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Földtudományi Intézet, Természettudományi és Geoinformatikai Tanszék, Debrecen
negyesi.gabor@science.unideb.hu

TÚRI ZOLTÁN

Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Földtudományi Intézet, Természettudományi és Geoinformatikai Tanszék, Debrecen
turi.zoltan@science.unideb.hu

SZABÓ GERGELY

Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Földtudományi Intézet, Természettudományi és Geoinformatikai Tanszék, Debrecen
szabo.gergely@science.unideb.hu

BERTALAN LÁSZLÓ

Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Földtudományi Intézet, Természettudományi és Geoinformatikai Tanszék, Debrecen
bertalan@science.unideb.hu

IRODALOM

- BAILEY, G. – LI, Y. – MCKINNEY, N. – YODER, D. – WRIGHT, W. – WASHINGTON-ALLEN, R. 2022: Las2DoD: Change detection based on digital elevation models derived from dense point clouds with spatially varied uncertainty. *Remote Sensing* 14.7. pp. 1537. <https://doi.org/10.3390/rs14071537>
- BATISTA, P.V. G. – DAVIES, J. – SILVA, M.L. N. – QUINTON, J.N. 2019: On the evaluation of soil erosion models: are we doing enough? *Earth Science Reviews* 197. 102898. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102898>
- BORSY Z. 1974: A fútóhomok mozgásának törvényszerűségei és védekezés a szélerozió ellen. *Akadémiai doktori értekezés, Kézirat.* 322 p.
- BURÓ B. – TÓTH CS. – LÓKI J. – ANDRÁSI B. – NÉGYESI G. 2018: Széleroziós vizsgálatok egy nyírségi garmadán. – in: FÜLEKY GY. (szerk.): XIV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia kiadványa. pp. 47–51.
- GHOLAMI, H. – MOHAMMADIFAR, A. – BUI, D.T. – COLLINS, A.L. 2020: Mapping wind erosion hazard with regression-based machine learning algorithms. *Scientific Reports* 10.1. pp.1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77567-0>
- GOOSSENS, D. – BUCK, B. 2011: Effects of wind erosion, off-road vehicular activity, atmospheric conditions and the proximity of a metropolitan area on PM10 characteristics in a recreational site. *Atmospheric Environment* 45.1. pp. 94–107. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.09.046>
- GUO, Z. – HUANG, N. – DONG, Z. – ZOBECK, T.M. 2014: Wind erosion induced soil degradation in Northern China: Status, measures and perspective. *Sustainability* 6. pp. 8951–8966. <https://doi.org/10.3390/su6128951>
- KISS T. 1997: Eróziós mérések a parabolabuckák lejtőin a debreceni Erdőpuszta területén. *Acta Geographica ac Geologica et Meteorologica Debrecina Tomus XXIV.* pp. 151–165.
- LACKÓVÁ, L. – LIESKOVSKÝ, J. – NIKSERESHT, F. – HALABUK, A. – HILBERT, H. – HALÁSZOVÁ, K. – BAHREINI, F. 2023: Unlocking the Potential of Remote Sensing in Wind Erosion Studies: A Review and Outlook for Future Directions. *Remote Sensing* 15.13. 3316. <https://doi.org/10.3390/rs15133316>
- LÓKI J. 1985: A téli nyírségi szélerozióról. *Acta Academiae Paedagogicae Nyíregyháziensis, Tomus X., Nyíregyháza,* pp. 35–41.
- MANCINI, F. – DUBBINI, M. – GATTELLI, M. – STECCHI, F. – FABBRI, S. – GABBIANELLI, G. 2013: Using unmanned aerial vehicles (UAV) for high-resolution reconstruction of topography: the structure from motion approach on coastal environments. *Remote Sensing* 5.12. pp. 6880–6898. <https://doi.org/10.3390/rs5126880>
- NÉGYESI, G. – SZABÓ, SZ. – BURÓ, B. – SAFWAN, M. – LÓKI, J. – RAJKAI, K. – HOLB, I. 2021: Influence of Soil Moisture and Crust Formation on Soil Evaporation Rate: A Wind Tunnel Experiment in Hungary. *Agronomy* 11. 935. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050935>
- NICHOLS, M. 2006: Measured sediment yield rates from semiarid rangeland watersheds. *Rangeland Ecology and Management* 59.1. pp.55–62. <https://doi.org/10.2111/05-075R1.1>
- POORTMORTEZA, S. – GHOLAM, H. – RASHKI A. – MORADI N. 2023: High-resolution, spatially resolved quantification of wind erosion rates based on UAV images (case study: Sistan region, southeastern Iran). *Environmental Science and Pollution Research* 30. pp. 21694–21707. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23611-7>
- RAVI, S. – BRESHEARS, D.D. – HUXMAN, T.E. – D’ODORICO, P. 2010: Land degradation in drylands: interactions among hydrologic– aeolian erosion and vegetation dynamics. *Geomorphology* 116.3–4. pp. 236–245. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.11.023>
- WARREN, A. 2013: *Dunes: dynamics, morphology, history.* – John Wiley & Sons, 240 p. <https://doi.org/10.1002/9781118295786>
- WESTSIK, V. 1965: *Vetésforgó kísérletek homoktalajon.* – Akadémiai Kiadó, Budapest. 216 p.
- WHITEHEAD, K. – HUGENHOLTZ, C.H. 2014: Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part I: a review of progress and challenges. *Journal of Unmanned Vehicle Systems* 2. 3. pp. 69–85. <https://doi.org/10.1139/juvs-2014-0006>
- ZHENG, X. 2009: *Mechanics of wind-blown sand movements.* – Springer, 309 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88254-1>