

EROZIJA VJETROM

prof. dr. sc. Ivica Kisić, dipl. ing. agr.
Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet
Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb
ikisic@agr.hr

Temeljni cilj ovog preglednoga rada jest obuhvatiti problematiku erozije vjetrom počevši od njezinih uzroka preko mehanizama djelovanja, mjera sprječavanja, pa sve do direktnih i indirektnih posljedica. U radu su također predstavljene jednadžbe koje se koriste za izračunavanje gubitka tla erozijom vjetrom, te je objašnjena njihova upotreba. Posljednjih desetljeća težište istraživanja erozije vjetrom pomaknulo se od izravnih učinaka (štete na samoj poljoprivrednoj površini) na neizravne učinke (negativan utjecaj na cjelokupan okoliš i ljudsko zdravlje). Rasprave o promjeni klime, koje su utjecale na društvena kretanja uopće i posebno na poljoprivredu, postavile su problem erozije vjetrom u širu perspektivu, zbog problema ugroženosti ljudskoga zdravlja kao neizravne posljedice erozije vjetrom. Ako se prihvati stav da je eroziju vjetrom puno lakše i jeftinije spriječiti te umanjiti njezin utjecaj, nego sanirati njezine posljedice, pristupit će joj se odgovorno i ona će se staviti pod kontrolu korisnika zemljišta i neće, kao do sada, biti njihov gospodar. Ključno je tlo nikada ne ostaviti golo, pogotovo ne u razdoblju pojave jakih vjetrova (sjeverac, bura, jugo).

Ključne riječi: erozija vjetrom, gubitak tla, izravni i neizravni učinci, promjena klime

1. UVOD

Erozija vjetrom (eolska erozija) događa se u aridnim i semiaridnim područjima diljem svijeta. Uz ljudsku aktivnost na nju utječu klimatski (primarno vjetar) i pedološki (primarno tekstura tla) čimbenici. Važno je naglasiti da se erozija tla vjetrom vrlo rijetko zbiva u okolišu koji je zaštićen prirodnom vegetacijom.

Posljedice erozije vjetrom su dvojake. S jedne su strane izravne posljedice koje su utvrđene na mjestu na kojem dolazi do erozije vjetrom, a manifestiraju se odnošenjem plodnoga oraničnog sloja (tzv. deflacijski procesi) i uzrokuju smanjenje plodnosti tla. Neizravne posljedice erozije vjetrom, koje također imaju negativan utjecaj na kvalitetu življenja, zbivaju se bilo gdje, tj. tamo gdje zračne struje donesu i odlože čestice tla (slike 1, 2 i 3, tablica 1).

1 U stručnoj praksi za taj oblik erozije vrlo se često koristi pojam eolska, prema grčkoj mitologiji u kojoj je Eol bog i gospodar vjetrova. Eol (*Aeulos*) na grčkom znači: brz i promjenjiv.



Slika 1: Posljedice erozije tla vjetrom – taloženje čestica tla na obradivu površinu



Slika 2: Posljedice erozija tla vjetrom na mjestu događaja



Slika 3: Gotovo nevidljiva erozija vjetrom može odnijeti tla i do 40 t/ha/godišnje



Tablica 1: Posljedice erozije vjetrom na mjestu pojave i izvan mjesta pojave (izvor: Waren, 2003.)

Na mjestu pojave	Izvan mjesta pojave
<p>Degradacija tla</p> <ul style="list-style-type: none"> - lakše (sitnije) čestice tla su odnesene, a na površini ostaju krupnije čestice, - gubitak organske tvari i hranjiva, - smanjenje kapaciteta tla za vodu, - narušavanje strukture tla, - promjene reakcije tla i smanjenje bioraznolikosti. 	<p>Kratkotrajno djelovanje</p> <ul style="list-style-type: none"> - smanjenje vidljivosti, ugrožavanje sigurnosti u prometu, - odlaganje čestica tla na prometnice, u kanale, na živice i slično, - taloženje prašine na građevinske objekte, automobile, javne površine itd., - penetriranje prašine u građevinske površine, strojeve i sl., - smanjenje vitalnosti poljoprivrednih i šumskih biljaka uslijed odlaganja prašine.
<p>Oštećenja abrazijom</p> <ul style="list-style-type: none"> - mehanička oštećenja biljke koja uzrokuju smanjenje kvalitete i kvantitete prinosa, - infekcija usjeva uslijed prodiranja patogena u biljku, - potenciranje emisije prašine uslijed nataloženog sloja na površini tla, - otežano disanje biljaka. 	<p>Dugotrajno djelovanje</p> <ul style="list-style-type: none"> - prodiranje prašine i njezinih konstitutivnih dijelova u dišni sustav, što uzrokuje dišne probleme i veću vjerojatnost pojave bolesti dišnog sustava, - udisanje ili upijanje biljaka i životinja putem dišnog sustava onečišćenog zraka, što uzrokuje nižu kvalitetu hrane i sirovina za hranu, - taloženje potencijalno onečišćenoga nanosa organskim i anorganskim onečišćenjima na tlo, - fizikalno, kemijsko i biološko onečišćenje površinskih voda, - povećanje eutrofikacije površinskih voda.
<p>Ostala oštećenja</p> <ul style="list-style-type: none"> - izvor zaraza usjeva bolestima i štetnicima susjednih parcela, - akumulacija nanesenoga materijala na obradivoj površini, - nakupljanje nanesenoga materijala na krajevima parcela ili u kanalima, - totalno ili djelomično zatrpavanje biljaka nanesenim materijalom. 	

Emisija prašine kao posljedica erozije vjetrom najveći je izvor aerosola koji izravno ili neizravno utječu na ravnotežu atmosferske radijacije i time na globalne klimatske promjene, kao i na zdravlje ljudi i gospodarske aktivnosti (Lal, 1990.; Gross i Barring, 2003.; Riksen et al., 2003.; Pimentel, 2006.; Shao, 2008.). Zbog problema uzrokovanih erozijom vjetrom osobito je ugrožen sustav disanja biljaka, životinja i ljudi. Uzrok tome je odnošenje finih (lakših) mineralnih čestica tla i organske tvari, što je ujedno i najplodniji dio tla koji sadrži primijenjene agrokemikalije (slika 4). Uz polaganu degradaciju tla (gotovo nevidljivu eroziju tla vjetrom – slika 3) pojedinačni ekstremni slučajevi erozije vjetrom mogu odnijeti više od 100 t/ha čestica i uzrokovati znatne izravne i neizravne štete u okolišu (Funk, 1995.; Goossens, 2003.; Presley i Tatarko, 2009.). Procijenjeno je da prašinasta komponenta tla otpuhana vjetrom u procesu erozije tla donosi u atmosferu otprilike 500 milijuna tona najsitnijih čestica tla svake godine (Greeley i Iversen, 1985.). S obzirom na tu činjenicu, može se zaključiti da je prašina u zraku porijeklom s tla vrlo aktivan uzročnik problema u klimatskom i zdravstvenom sustavu bilo gdje na Planetu. Proračunski modeli ukazuju na to da oko 50% ($\pm 20\%$) sveukupne količine atmosferske prašine potječe s antropogenih tala koja se kultiviraju ili koja su zahvatili procesi deforestacije ili erozije vjetrom (Tegen et al., 1996.).



Slika 5: Posljedice erozija tla vjetrom izvan mjesta događaja



Slika 4: Erozijska tla vjetrom uzrokovana obradom tla - deflacijska erozija

Erozija vjetrom je u prošlosti u Europi, pa tako i u Hrvatskoj, bila zanemarivana kao proces degradacije tla. Usljed sve veće izraženosti i problema koje uzrokuje izvan mjesta događaja, posljednjih desetljeća posvećena joj je veća pozornost kao procesu koji uzrokuje polagani pad plodnosti tla i onečišćenje okoliša (slike 2 i 3). U svjetskim razmjerima o problemu erozije vjetrom pišu Potter et al., 1990.; Oldemann et al., 1991.; Reich et al., 2001.; Gobin et al., 2003.; Warren, 2003.; Shao, 2008.; Borrelli et al., 2014., a u Hrvatskoj: Mihalić et al., 1978; Tomašević, 1996.; Bakić, 2004.; Bulić, 2007.; Ljubenković, 2012.; Kisić i Husnjak 2008.; Gajić-Čapka et al., 2013.; Kisić et al., 2013.

Glavni je problem erozije vjetrom njezino poimanje. Snažne pješčane oluje senzacionalistički privuku pažnju javnosti (kao što je bilo u veljači 2012. poslije katastrofalne eolske erozije u Čepić polju u Istri) i nakratko je uznemire (senzacionalističke slike prašine u zraku, drveću, automobilima i slično), ali uglavnom se proces erozije vjetrom odvija neprimjetno. Chepil (1960.) je naveo da su godišnji gubitci tla erozijom vjetrom do 40 t/ha mogući bez ikakvog vanjskog vidljivog znaka erozije na površini tla (tablica 2). Nasuprot eroziji vodom (Kisić, 2016.), kod koje erodirani materijal slijedi određene putove, materijal odnesen vjetrom raznosi se širom u okoliš i može biti odnesen, ovisno o zračnim strujama, u susjedno selo ili na susjedni kontinent. Nadalje, smjer transporta podložan je promjenama smjera vjetra i u pojedinim slučajevima može se potpuno promijeniti, pa se tako, ovisno o smjeru vjetra, mijenjaju područja erozije i depozicije.

Tablica 2: Odnos jačine erozije vjetrom, učinka erozije i godišnjega gubitka tla (izvor: Chepil, 1960.)

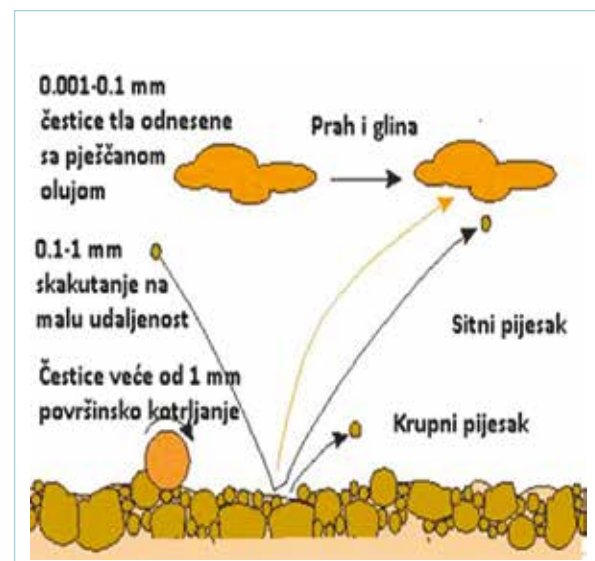
Jačina erozije	Opis erozije	Godišnji gubitak tla, t/ha
nikakva do beznačajna	nema izričito vidljivog pokretanja čestica tla	< 40
blaga	pokretanje tla nedovoljno da bi uništilo usjev pred formiranje sklopa	40 - 125
umjerena	odnošenje i s njim vezano akumuliranje do 2,5 cm dubine; dovoljno za uništenje usjeva u stadiju pred klasanje	125 - 375
visoka	odnošenje do dubine 2,5 – 5 cm zajedno s pridruženim akumuliranjem	375 - 750
vrlo visoka	odnošenje do dubine 5 – 7,5 cm, uz formiranje malih dina	750 – 1.125
izvanredno visoka	odnošenje do dubine veće od 7,5 cm sa znatnim gomilanjem u nanosima ili dinama	> 1.125

Erozija vjetrom događa se tamo gdje su ispunjena tri uvjeta: velika brzina vjetra, podložna površina tla sa slabo vezanim česticama koje je moguće podići i transportirati i nedovoljna zaštićenost površine tla usjevima ili ostatcima biljaka (slika 6). Dva glavna pokazatelja koja određuju izraženost erozije vjetrom su erozivnost klime i erodibilnost tla. Oba su pod utjecajem interakcije mnogih drugih komponenata, što rezultira visokom varijabilnošću stvarne erodibilnosti određenog područja / tipa tla / godišnjeg doba / uzgajanog usjeva.



Slika 6: Razdoblje bez usjeva (golo tlo) najpogodnije je vrijeme za eroziju vjetrom

Načini kretanja čestica u erozijskim procesima tijesno su povezani s veličinom čestica tla i odnosom mineralne i organske komponente u tlu. Općenito, više organske komponente pjeskovitih čestica čini tlo lakšim i stvaraju bolje preduvjete za eroziju tla vjetrom. Volumna gustoća i način vezanja strukturnih agregata također su važni pokazatelji kod poljoprivrednih tala koja obuhvaćaju sve teksturne klase i sadržaje organske tvari (Bogunović i Kisić, 2017.). Tla s povećanim sadržajem organske tvari imaju puno manju gustoću od mineralnih čestica iste veličine. Zbog toga su podložnija eroziji vjetrom. Prvu podjelu kretanja čestica tla napravio je Bagnold (1941.). Podijelio ga je na površinsko puzanje (vučenje), saltaciju (skakutanje) i suspenziju (lebdjenje) – slika 7. *Površinsko puzanje (vučenje)*. Mineralne čestice tla u promjeru veće od 500 µm preteške su da bi ih vjetar podigao s površine. Vjetar ili udar odbijajućih čestica uzrokuju njihovo kotrljanje ili puzanje po površini tla. *Saltacija (skakutanje)* je odbijajuće kretanje čestica po površini tla. Čestice tla bivaju odbačene strmo u zrak (maksimalno do visine od jednog metra), gdje dobivaju ubrzanje i zatim se vraćaju na površinu pod ostrim kutom. Sve se ovo odvija na maloj udaljenosti, cca nekoliko metara. Tipičan odskočni kut je oko 55°, a tipičan kut udara je oko 10°. Veličina čestica je otprilike između 70 i 500 µm. *Suspenzija (lebdjenje)* se može podijeliti na kratkotrajno i dugotrajno, ovisno o vremenu zadržavanja čestica tla u zraku. Čestice veće od 20 µm kratkotrajno se zadržavaju u zraku i vrlo blizu mjesta podizanja s tla ponovno se obaraju na tlo. U isto vrijeme čestice manje od 20 µm podložne su dugotrajnoj suspenziji (zadržavanju u zraku), pa mogu biti prenošene više dana i više stotina kilometara. Posljedica te pojave su tzv. "crvene kiše" (suspendirane čestice pijeska iz Afrike) koje se vrlo često pojavljuju u Dalmaciji, a ponekad znaju doći i do sjevernih jadranskih otoka i gradova.



Slika 7.: Prikaz kretanja čestica tla ovisno o teksturi (izvor: www.swac.umn.edu)

2. POKAZATELJI EROZIJE VJETROM

2.1. Erozivnost klime – vjetar

Erozivnost klime primarno ovisi o brzini vjetra, negativnoj temperaturi (vremenu i dužini zamrzavanja tla, količini vlage u tlu, (ne)prisutnosti vegetacijskog pokriva na površini tla), količini i distribuciji oborina i o evaporaciji. Interakcija tih elemenata određuje intenzitet, učestalost i trajanje slučajeva erozije vjetrom na podložnim površinama.

Vjetar utječe na biljke na mnoge načine. Neki su pozitivni, a neki imaju negativan utjecaj na biljke. Jedna od elementarnih uloga vjetra u okolišu je oprašivanje biljaka. Suhi vjetrovi u proljeće pospješuju sušenje tla i uvjetuju početak agrotehničkih proljetnih radova na obradivim površinama. Jaki vjetrovi savijaju i lome grane stabala, deformiraju krošnju (anemomorfizam – [slika 8](#)), uništavaju mlade biljčice, uzrokuju gubitak pupova i plodova, povećavaju evapotranspiraciju i potrebu za dodatnom vodom, u primorskim krajevima nanose sol na biljke, noseći tlo uzrokuju abraziju biljaka i slično. Na [slici 9](#) prikazana je površina mora pri buri, a u zraku su vidljive čestice zaslanjene vode koje će bura odnijeti negdje na kopno ([slika 9](#)).



[Slika 8](#): Tisućljetni utjecaj vjetra na tisućljetnu maslinu u Lunu na otoku Pagu



[Slika 9](#): Površina mora pri utjecaju bure

Ipak, među najopasnije meteorološke pojave za poljoprivredne kulture ubrajaju se već spominjane pješčane oluje. Pojavljuju se vrlo rijetko kao posljedica prirodnih, a vrlo često i antropogenih čimbenika povezanih s neprimjerenim ljudskim gospodarenjem u određenom području. Ako se na istom mjestu poveže neodgovorno ljudsko ponašanje s klimatskom aberacijom, to će uzrokovati pojavu pješčanih oluja. Na prostoru RH najpoznatije su pješčane oluje zabilježene u travnju 1967., u veljači 1984. i 2012. na prostoru Čepić polja, Sinjskog i Vranskog polja u mediteranskom dijelu RH. Posljednjih su godina sve učestalije pješčane oluje u Podravini tijekom cijele godine, zbog povećane zastupljenosti tala lakšeg mehaničkog sastava, te nezadovoljavajućeg plodoreda u kome su sve više zastupljeni okopavinski usjevi rijetkog sklopa. U isto vrijeme podizanje vjetrozaštinskih pojasa više se gotovo i ne provodi (Kisić et al., 2013.).

Ostali klimatski čimbenici koji utječu na eroziju vjetrom su temperatura, vlažnost ([slika 10](#)), radijacija, količina oborina i evaporacija. Oni uzrokuju trenutne promjene stvarne erodibilnosti tako što utječu na bilancu vode u tlu. Općenito, mokre su površine dovoljno stabilne da odole silama vjetra. Za početak erozije vjetrom dovoljan je vrlo tanak suh površinski sloj uz pojavu vrlo niskih temperatura, što uzrokuje razgradnju strukturnih agregata i formiranje praškasto (prašinastoga) površinskoga sloja tla. Ako se pri takvoj konstelaciji pokazatelja tlo/klima pojavi jači vjetar, posljedice će biti izražena erozija vjetrom.



[Slika 10](#): Navodnjavanjem se istovremeno povećava vlaga u površinskom sloju tla i smanjuje vjerojatnost pojave erozije vjetrom

2.2. Erodibilnost tla

Erodibilnost predstavlja potencijal tla da erodira ili, obratno, sposobnost tla da odoli djelovanju sile vjetra. To apsolutno ovisi o teksturi tla, sadržaju organske tvari i trenutnoj vlažnosti koji utječu na sposobnost zadržavanja vode i sposobnost tla da stvori stabilnije strukturne agregate ([slika 11](#)). Općenito, pjeskovita tla su visoko erodibilna jer se brzo suše, formiraju malo stabilnih kompaktnih agregata te sadrže visok udio čestica u najerodibilnijoj frakciji između 80 i 220 μm . Na području

Đurđevačkih pijesaka, kada su rađeni betonski nosači za drvene grede vidikovca, pijesak je bio na razini površine betona. Tridesetak godina poslije nedostaje sloj pijeska deo 20 – 30 cm, budući da ga je vjetar otpuhao (slika 12). Ilovasta tla su u odnosu na pjeskovita tla otpornija na eroziju vjetrom, ali stvaraju više prašine ako erodiraju. Tla s dominantno glinastom teksturom najotpornija su na eroziju tla vjetrom.



Slika 11: a) Tla s pjeskovitom teksturom karakterizira vrlo loša strukturna povezanost i podložna su eroziji; b) Strukturna, teška i glinovita tla vrlo su otporna na eroziju vjetrom



Slika 12: Utjecaj erozije tla vjetrom najvidljiviji je u prostoru Đurđevačkih pijesaka

Općenito, u prirodi se tla sastoje od čestica raznih veličina koje se također razlikuju u obliku vezanja i gustoći pakiranja (Vučić, 1987.). U većini su slučajeva čestice tla sastavljene u strukturne agregate, čija je veličina od nekoliko mikrometara do nekoliko centimetara (slika 13). Prosječni promjer pojedinačnih čestica ili agregata koji se mogu smatrati neerodibilnima je veći od 840 μm (Woodruff i Siddoway, 1965.). Te su čestice uglavnom preteške da bi bile nošene zrakom putem vjetra. Najmanja brzina trenja potrebna je da bi se pomakle čestice veličine od 80 do 110 μm . Razdioba veličine i stabilnost agregata tijekom godine variraju (ovisno o načinu obrade i vlazi tla) i uglavnom su pod utjecajem agrotehničkoga načina gospodarenja tlom, tako da erodibilnost može varirati u vremenu i prostoru.



Slika 13: Strukturni agregati tla

Također, erodibilnost tla (za vjetar koji puše od 20 do 25 m/s) može se odrediti i prema postotnom udjelu stabilnih suhih agregata tla promjera većega od 0.84 mm, kako je to prikazano u tablici 3. Na temelju erodibilnosti suhih strukturnih agregata različitih teksturnih klasa procijenjena je erozija tla vjetrom (tablica 4).

Tablica 3: Otpornost tla na eroziju vjetrom (izvor: Dolgilevich et al., 1973., a prema Morgan, 1986.)

% suhih agregata tla većih od 0.84 mm	≤ 20	20 – 50	50 – 70	70 – 80	≥ 80
Erozija (t ha ⁻¹ h ⁻¹)	< 0.5	0.5 – 1.5	1.5 - 5	5 - 15	> 15

Tablica 4: Erodibilnost različitih teksturnih klasa tla (izvor: Chepil, 1953.)

Teksturna klasa	Raspodjela suhih strukturnih agregata tla (mm) i (%)				Erozija, t ha ⁻¹
	A ≤ 0,42	B 0,84-0,42	C 6,4 – 0,84	D ≥ 6.4	
pijesak	81.0	15.7	2.7	0.6	112.0
ilovasti pijesak	76.5	16.6	5.6	1.3	66.1
pjeskovita ilovača	43.3	20.1	16.7	19.9	12.1
prah	36.3	19.3	20.1	24.3	5.0
praškasta ilovača	33.1	18.3	21.9	26.7	4.3
glinasta ilovača	26.6	29.8	26.1	17.5	3.4
praškasto glinasta ilovača	23.3	27.3	24.3	25.1	2.7
praškasta glina	39.4	41.4	16.9	2.3	7.6
glina	51.6	28.2	17.7	2.5	15.1

Na erodibilnost tla utječe i neravnost terena, odnosno površine tla. Pojam neravnosti koristi se za opis značajki površine i predstavlja utjecaj kako pojedinačnih čestica tla tako i cjelokupne topografije, protežući se tako od mikro do makro veličina (Darboux i Huang, 2005.; Werrer i Andreas, 2005.; Zhao et al., 2014.). Neravnost površine tla utječe na eroziju vjetrom na dva načina. Prvo, neravna površina povećava turbulenciju, a time i rasipanje kinetičke energije vjetra po površini, što rezultira smanjenjem brzine vjetra. Drugo, suprotna strana strukturnoga agregata tla koja je u zavjetrini relativno je zaštićena od djelovanja vjetra te ima veći sadržaj vlage, što će se pozitivno odraziti na porast uzgajnog usjeva. Nadalje, materijal koji se prenosi može ostati deponiran u neposrednoj blizini od nekoliko desetaka centimetara i tako spriječiti nagli porast transporta materijala na veću udaljenost. Ako je materijal ostao u neposrednoj blizini, on će se ponovno agrotehničkim zahvatima izmiješati i unijeti u tlo (Kisić, 2012.).

Prema Römken i Wangu (1986.), neravnost površine može se klasificirati u četiri stupnja:

1. neravnost uvjetovana pojedinačnim česticama ili agregatima (< 2mm);
2. neravnost uvjetovana agregatima ili grudama (< 100 mm);
3. usmjerena neravnost uvjetovana agrotehničkim zahvatima (100 – 300 mm);
4. neravnost terena uvjetovana topografijom.

3. PROGNOŠTIČKE METODE PRORAČUNA EROZIJE TLA VJETROM

U nastavku se ukratko prikazuju neke jednadžbe koje se mogu koristiti u proračunu erozije tla vjetrom. Izračunavanje erozije vjetrom s pomoću *Univerzalne jednadžbe gubitka tla erozijom vjetrom* (WEPS – Wind Erosion Prediction System) vrlo je složeno i zahtijeva opsežna prethodna istraživanja izražena brojčanim podatcima. Količina tla izgubljenog vjetrom (E) izražava se jednadžbom (1) moguće erodibilnosti:

$$E = f(I, K, C, L, V) \quad (1)$$

gdje je E ukupan erozijski gubitak tla (t ha⁻¹), f pokazuje da je erozija posljedica različitih čimbenika, I je indeks erodibilnosti tla utemeljen na teksturi i strukturi tla (kreće se od 0 za kamen do više od 300 za vrlo sitan nepovezani pijesak), K predstavlja površinsku neravnost koja može biti od 1 za ravne površine do 0,5 ako neravna površina varira vertikalno za cca 10 cm, dok je C klimatski čimbenik (brzina vjetra i efektivna vlažnost tla). L je utjecaj veličine polja (dužina) i njegova se vrijednost kreće od 0 (male zaštićene površine do 20–30 metara ovisno o teksturi) do 1 (prostrane otvorene površine od više stotina metara). Ako nema učinkovitih zapreka koriste se vrijednosti od 0.8 do 1.0, ovisno o otvorenosti. Za to se normalno koriste posebne kompleksne tablice. V je ekvivalent količine biljnog pokrova koji se računa iz tablica prema vrsti pokrova (slama, usitnjeni biljni rezidui) ostavljenog na površini tla.

Postoje, također, mnoge druge formule kojima se može predvidjeti rizik od erozije vjetrom. Takve su, na primjer: WESS (Wind Erosion Stochastic Simulator), WEQ (The Wind Erosion Equation) i RWEQ (Revised Wind Erosion Equation), TEAM (The Texas Tech Wind Erosion Analysis Model), AUSLEM (Australian Land Erodibility Model) itd.

4. MJERE ZAŠTITE TLA OD PROCESA EROZIJE VJETROM

4.1. Agrotehničke mjere zaštite tla na obradivoj površini

Stalna je vegetacija najbolja mjera zaštite tala od erozije vjetrom, kao i biljni ostatci na površini tla (slike 14 i 15). U tablici 5 prikazane su kratkoročne i dugoročne mjere ublažavanja pojave erozijskih procesa vjetrom. Učinak biljnoga pokrova na površini tla na eroziju vjetrom može se izraziti postotkom površine pokrivene neerodibilnim biljnim materijalom ili morfometrijskim parametrima kao što je *indeks lisne površine* (Klima i Wiśniowska-Kielian, 2006.). Biljni pokrov tla obično se odnosi na rezidue koje leže uz površinu tla. Velike okrupnjene table na kojima se primjenjuje široko-zahvatna mehanizacija pospešuju procese erozije vjetrom. Također, drenaža obradivih površina uzrokuje brže sušenje površine tla, što rezultira bržom razgradnjom organske tvari i manjom stabilnošću strukturnih agregata tla.



Slika 14: Konvencionalni način obrade pospješuje eroziju vjetrom



Slika 15: Konzervacijski način obrade umanjuje eroziju vjetrom (biljni ostatci na površini)

Tablica 5: Mjere ublažavanja vjerojatnosti pojave erozije vjetrom (izvor: Warren, 2003.)

Vrsta mjera	Mjere	Opaske
Mjere koje umanjuju stvarni rizik pojave (kratkoročne mjere)	<ul style="list-style-type: none"> - Interpolirani usjevi kratke vegetacije; - Sve moguće kombinacije združenih usjeva; - Zaštitni i pokrovni usjevi; - Ostavljanje biljnih ostataka na površini tla; - Primjena tekućih organskih gnojiva i drugih poboljšivača tla; - Kemijski stabilizatori strukture tla; - Konzervacijski načini obrade tla; - Navodnjavanje. 	<ul style="list-style-type: none"> - Obavezno sijati u rujnu da bi se tijekom jeseni razvila dovoljna nadzemna biljna masa; - Poslije žetve glavnog usjeva u polju ostaje naknadni usjev; - Veća upotreba agrokemikalija; - U skladu sa zakonskom regulativom; - Neučinkoviti na tlima s povećanim sadržajem organske tvari; - Nepovoljno za sve usjeve ili tipove tala.
Mjere koje umanjuju potencijalni rizik pojave (dugoročne mjere)	<ul style="list-style-type: none"> - Usitnjenja polja; - Promjene u plodoredu u korist usjeva gustoga sklopa, krmnih kultura i pašnjaka; - Povećati sadržaj čestica gline u tlu; - Vjetrozaštitni pojasevi; - Konsocijacije usjeva i agrošumarstvo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Poskupljenje i neučinkovitost proizvodnje; - Gubitak površina za ekonomski isplativije usjeve; - Cijena transporta i unosa gline u tlo; - Visoki troškovi, nužno je nekoliko godina za njihovu učinkovitost; - Kompliciranost proizvodnje.

U pogledu gospodarenja na tlima ugroženima erozijom pažnju valja obratiti i na plodored (Kisić, 2014.). Učestalost uzgajanja okopavinskih usjeva (njihova zastupljenost u plodoredu) obrnuto je proporcionalna vjerojatnosti pojave erozije vjetrom. U područjima s niskim stupnjem erozije mogu se uzgajati svake druge godine, a u vrlo erodibilnim područjima smiju se pojaviti jednom u pet ili više godina. Pri napasivanju stoke prakticira se rotacija premještanjem stoke s jednog pašnjaka na drugi, kako bi se vegetacija imala priliku obnoviti.

Prevelik broj uvjetnih grla stoke po jedinici obradive površine uzrokuje gubitak biljnog pokriva (prekomjerna ispaša) na površini tla, što će dovesti do veće vjerojatnosti pojave erozije vjetrom (slika 16).



Slika 16: Prekomjerna ispaša dovodi do veće vjerojatnosti pojave erozije vjetrom

Općenito, ne bi se smjelo iskorištavati više od 40 do 50% godišnje produkcije travnjaka. Treba omogućiti njihovu regeneraciju tako da se osigura pokrivenost od barem 70% u vrijeme rizika od erozije.

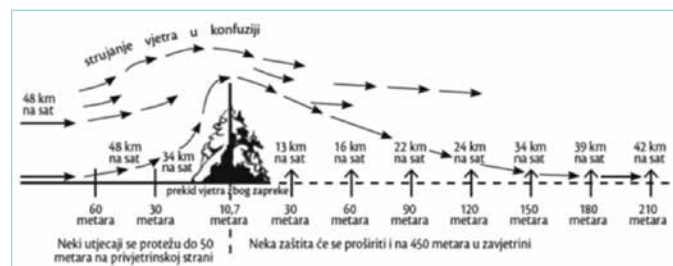
Interpolirani usjevi uzgajaju se radi zaštite tla ili izvan vegetacijskog razdoblja ili u vegetaciji kao zaštita površine ispod višegodišnjih stabala. Mogu se uzgajati, dakle, kao ozimine, a zatim se zaoravaju s ciljem zelene gnojidbe. Najčešće se za to koriste raž, zob, grahorica, djetelina, sudanska trava i lucerna, zatim u toplijim predjelima ozimi grašak i inkarnatka. Većina pokrovnih usjeva nema komercijalno značenje. Pokrovni su usjevi u nasadima drvenastih kultura kompetitori za vodu, što u suhim područjima može imati negativan učinak na razvoj glavne kulture (Kisić, 2014.). Također i konsocijacije usjeva koji čine uzgoj dvaju ili više usjeva godišnje na istoj površini u isto vrijeme mogu spriječiti pojavu erozije vjetrom (Jug et al., 2015.).

Jedna od mjera protiv erozija je agrošumarstvo ili šumska poljoprivreda koja čini sustav uzajamne integracije drveća i poljoprivrednih usjeva i/ili stoke na istoj površini tla. Uzgajani su usjevi koncipirani na taj način da si pružaju međusobnu ispomoć, ali da u isto vrijeme zaštićuju, konzerviraju i održavaju vitalne gospodarske, ekološke i prirodne resurse. Agrošumarstvo se razlikuje od prirodnog šumarstva i poljoprivrede po svom naglasku na interakciju između navedenih komponenti (Španjol et al., 2014.; Pavelić, 2015.).

4.2. Mjere zaštite tla u okruženju obradivih površina – vjetrozaštitni pojasevi

Vjetrozaštitni pojasevi najučinkovitiji su oblik zaštite tla od erozije vjetrom ako se na obradivim površinama primjenjuju konvencionalni načini obrade tla (Kisić, 2016.). Razlikuju se dva osnovna oblika zaštite: ograničena zaštita (svaka biljka pojedinačno) i masovna zaštita pojedinih dijelova polja ili cijelih polja. Ograničena zaštita prakticira se u hortikulturi jer je skupa, pa je primjena isplativa samo za visoko dohodovne ili ukrasne parkovne kulture. Masovna zaštita podrazumijeva podizanje vjetrozaštitnih pojaseva. Razlikuju se mrtvi i živi pojasevi: mrtvi se uglavnom odnose na suhozidove, a žive se barijere sastoje od trava, grmlja ili drveća. Vjetrobrani smanjuju kinetičku energiju vjetra. Kada vjetar stigne do žive prepreke, jedan njegov dio prolazi kroz nju, smanjujući brzinu, a ostali dio skreće uvis preskačući prepreku (slika 17). Podizanje vjetrozaštitnih pojaseva je poprilično skupo, zahtijeva dugo razdoblje brige i postaje učinkovito tek nakon više godina. Zato su zaštitni pojasevi tek dopunska mjera prevencije erozije vjetrom i trebaju se kombinirati s agrotehničkim mjerama obrade tla u polju koje se provode svake godine. Nažalost, u nekim bivšim vremenima jako se puno pažnje posvećivalo izgradnji i podizanju vjetrozaštitnih pojaseva. Posljednjih desetljeća gotovo da se ništa u vezi s tim ne čini u bilo kojem dijelu RH. Tomašević

(1996.) navodi da je jedan dio vjetrozaštitnih pojaseva posljednjih desetljeća poslužio kao sirovina za ogrjev. Zbog toga imamo vjetrozaštitne pojaseve kako je to prikazano na slici 18. Prikazani vjetrozaštitni pojasevi trebali su biti zamijenjeni prije 50-ak i više godina. U isto vrijeme imamo sve više problema s erozijom vjetrom, a u budućnosti će, zbog klimatskih promjena, problema s erozijom vjetrom biti još više.



Slika 17: Utjecaj vjetrozaštitnih pojaseva na smanjenje brzine vjetra (izvor: Kisić, 2016., a korigirano prema www.fao.org/docrep/x5349e/x5349e01.gif)



Slika 18: Biološki odumrli vjetrozaštitni pojasevi kao primjer neučinkovite borbe protiv erozije vjetrom

S obzirom na različitost ekoloških uvjeta širom RH, od Mediterana do Međimurja, Podravine i Slavonije također je velika raznolikost biljnih vrsta koje se koriste za vjetrobrane. Posve je jasno da su biljne vrste koje se mogu koristiti za navedenu svrhu ograničene prilagodbom odgovarajućim agroekološkim uvjetima. Biljke koje mogu poslužiti kao vjetrozaštitni pojasevi trebale bi biti autohtone domaće biljke. U tablici 6 prikazan je odabir biljaka koje mogu poslužiti kao vjetrozaštitni pojasevi na prostoru RH.

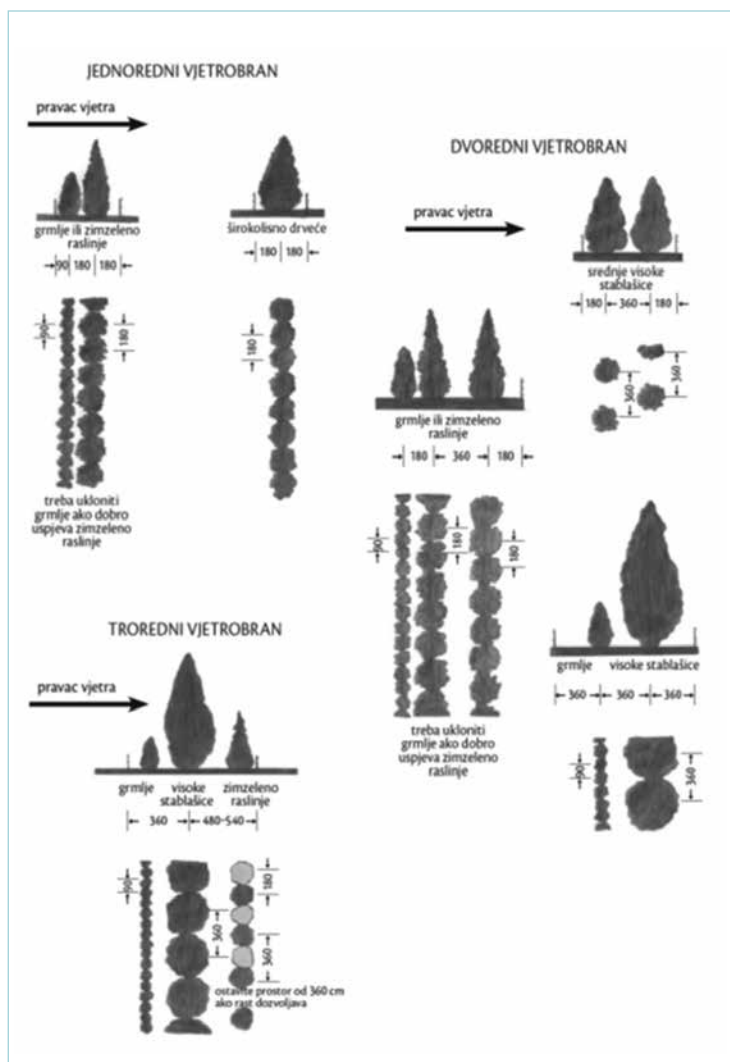
Izrazito vlažna tla	Tla s normalnim vlaženjem	Izrazito suha tla
- crna joha (<i>Alnus glutinosa</i>), - crna topola (<i>Populus nigra</i>), - bijela topola (<i>Populus alba</i>), - bijeli grab (<i>Carpinus betulus</i>), - jasen (<i>Fraxinus ornus</i>), - tisa (<i>Taxus baccata</i>), - breza (<i>Betula pendula</i>), - močvarni čempres, taksodij (<i>Taxodium disticum</i>), - sve vrste vrba (<i>Salix spp.</i>).	- poljski javor (<i>Acer campestre</i>), - bijeli grab (<i>Carpinus betulus</i>), - crna topola (<i>Populus nigra</i>), - trešnja (<i>Prunus avium</i>), - bijeli jasen (<i>Fraxinus excelsior</i>), - jarebika (<i>Sorbus aucuparia</i>), - bijeli javor (<i>Acer optatum</i>), - sve vrste brijesta (<i>Ulmus spp.</i>), - neke vrste hrasta (<i>Querc. spp.</i>), - platana (<i>Platanus orientalis</i>), - bukva (<i>Fagus sylvatica</i>), - lijeska (<i>Corylus avellana</i>), - ruj (<i>Cotinus coggygria</i>), - kesten (<i>Aesculus hippocast.</i>), - drijen (<i>Cornus mas</i>), - crna bazga (<i>Sambucus nigra</i>), - bagrem (<i>Robinia pseudoaca.</i>), - lipa (<i>Tilia cordata</i>).	- čempres (<i>Cupr. sempervirens</i>), - borovi (<i>Pinus nigra</i> i <i>Pinus halepensis</i>), - lovor (<i>Laurus nobilis</i>), - crni grab (<i>Ostrya carpinifolia</i>), - koščela (<i>Celtis australis</i>), - hrast kitnjak (<i>Q. sesiliflora</i>), - mukinja (<i>Sorbus aria</i>), - česmina (<i>Quercus ilex</i>), - bijeli grab (<i>Carpin. orientalis</i>), - šimšir (<i>Buxus sempervirens</i>), - rogač (<i>Ceratonia siliqua</i>), - brnistra (<i>Spartium junceum</i>), - mrča (<i>Myrtus communis</i>), - nar (<i>Punica granatum</i>), - makljen (<i>Acer monspessulan.</i>), - božikovina (<i>Ilex aquifolium</i>), - planika (<i>Arbutus unedo</i>).

Tablica 6: Biljne vrste koje mogu poslužiti kao vjetrozaštitni pojasevi

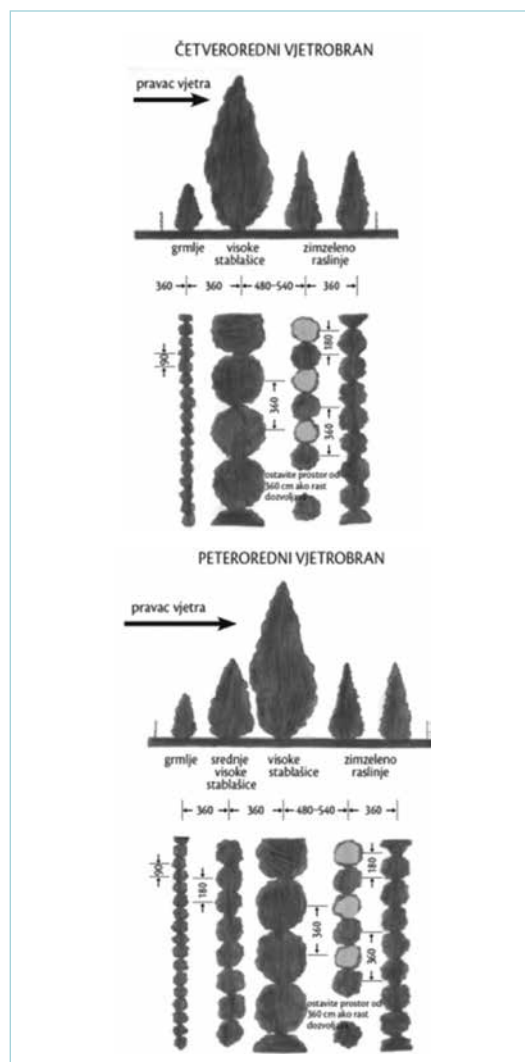
Nadalje, biljne vrste za konstruiranje vjetrobrana trebaju imati brz razvoj, trebaju biti prilagodljive, rezistentne na slanoću u područjima u kojima vjetar od kojega štite dolazi s mora (Škoda, 2016.). Korijenov se sustav novo posadenih vrsta ne smije jako horizontalno širiti, da bi se izbjegla veća kompeticija s poljoprivrednim usjevima, dok istodobno mora biti robustan da ga vjetar ne bi iščupao. Postavljanje vjetrozaštitnih pojaseva u neposrednoj blizini sustava za odvodnju i navodnjavanje vrlo je rizično, budući da može doći do začepljenja i do oštećenja kanalske mreže i drenažnih cijevi.

Vjetrobrani mogu biti jednoredni ili višeredni, a broj je redova u praksi uglavnom ograničen s maksimalnih pet (slike 19 i 20). Koliko će redova u vjetrobranu biti ovisi o vjetrovima, tj. o jačini udara vjetra na nekom području i zaštiti koju živa barijera u određenom trenutku treba pružiti. Smatra se da su najučinkovitiji troredni vjetrobrani, koji čine trokutast presjek (Mihalić et al., 1978.; Tomašević, 1996.). Vjetrobrani s najvećom "dubinom", odnosno s najvećim brojem redova, postavljaju se kao glavna zaštita proizvodnih površina

i naselja od glavnog udara vjetra. Iza tog glavnog ili zonskog vjetrobrana dolaze barijere s manjim brojem redova, sve do jednorednih barijera. Uski se vjetrobrani postavljaju uz putove ili pojedine zgrade. Pri podizanju vjetrobrana vrijedi pravilo da u sredini strukture moraju biti visokostablašice. One su, tzv. vodeći red. O njemu ovisi do koje će udaljenosti od vjetrobrana u smjeru vjetra određena površina biti zaštićena. Ta je vrijednost jednaka 20 do 25 visina stabla u metrima. Ako je, npr. visina glavnog reda 8 metara, onda se zaštićeni prostor proteže od 160 do 200 metara u smjeru vjetra. Preko te udaljenosti vjetar doseže svoju početnu brzinu (slika 17). Do visokostablašica se sade srednje visoka stabla, a zatim grmlje u vanjskim redovima. To je opće pravilo od kojega se uglavnom ne odstupa, a varijacije se odnose na konstrukciju u pogledu propusnosti vjetrobrana. Mogu biti zatvoreni po čitavoj visini i dubini, dakle nepropusni, ili mogu biti propusni u donjem dijelu, u tom slučaju se ne konstruira prizemni kat vjetrobrana (izostavljaju se vanjski redovi grmlja ili zimzelenog raslinja).



Slika 19: Prikaz izrade jednorednih, dvorednih i trorednih vjetrobrana (izvor: Kisić, 2016., a korigirano prema Mihalić et al., 1978.; Tomašević, 1996.)



Slika 20: Prikaz izrade četverorednih i peterorednih vjetrobrana (izvor: Kisić, 2016., a korigirano prema Mihalić et al., 1978.; Tomašević, 1996.)

Učinkovitost vjetrobrana jako ovisi o njegovoj gustoći. Ako je jače propustan s 30 do 40% otvora, uspostavljena je ravnoteža između dijela vjetra koji prolazi kroz njega i dijela koji ga preskače i time je postignuta maksimalna učinkovitost. Ako je vjetrobran previše gust, tj. premalo propustan, sav vjetar prolazi iznad njega i time se stvara "efekt zida" na strani u zavjetrini. To se događa kada se preko barijere stvara zona niskog tlaka, što izaziva turbulenciju i time smanjenje zaštićene zone.

5. ZAKLJUČAK

Temeljem izloženog u ovom preglednom radu nameće se zaključak da borba protiv erozije vjetrom u budućnosti traži novi, integralni holistički pristup. Umjesto dosadašnjeg osobnog pogleda na problematiku zaštite okoliša od erozije, u budućnosti treba pristupiti integralnom sagledavanju borbe protiv erozije. Pri sagledavanju problema erozije vjetrom trebali bi biti

uključeni timovi stručnjaka iz različitih područja kao što su: agronomi, šumari, meteorolozi, hidrolozi, građevinari te kolege koji se bave krajobraznim uređenjem i dr. Ključno je, prije sustavnog rješavanja navedenog problema, provesti temeljita terenska i laboratorijska istraživanja te sakupiti podatke o ugroženosti pojedinih područja erozijom vjetrom koji će biti nezaobilazni za utvrđivanje opsega problema i izrade budućih mjera zaštite.

Navedeno ukazuje da na smanjenje erozije treba djelovati sveobuhvatno, a broj i vrsta konzervacijskih zahvata u svakom konkretnom slučaju ovisi o brojnim čimbenicima. U praksi su materijalne mogućnosti zemljoposjednika, tj. investitora, uglavnom velika prepreka, čak i ako je utvrđena ekonomska opravdanost zahvata. Ipak, ako se prihvatiti stav da je eroziju vjetrom lakše i jeftinije spriječiti ili umanjiti njezin utjecaj nego liječiti njezine posljedice, pristupiti će joj se odgovorno i ona će se staviti pod kontrolu korisnika zemljišta i neće, kao sada, biti njihov gospodar. ■

LITERATURA

- Bagnold, R. A. (1941.): *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Methuen and Company London, str. 265.
- Bakić, V. (2004.): *Suvremene metode istraživanja erozije tla vodom i njihovo korištenje u trajnim nasadima*. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb, str. 43.
- Bogunović, I.; Kisić, I. (2017.): Soil Compaction on Clay Loam Soil in Pannonian Region of Croatia under Different Tillage Systems. Rad prihvaćen za objavljivanje u *Journal of Agricultural Science and Technology*.
- Borrelli, P.; Ballabio, C.; Panagos, P.; Montanarella, L. (2014.): Wind erosion susceptibility of European soils. *Geoderma*, 232-234, 471-478.
- Bulić, I. (2007.): *Erozija tla vjetrom i mjere zaštite na području srednje Dalmacije*. Diplomski rad. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 36.
- Chepil, W. S. (1953.): Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind. *Soil Science*, 75(6), 473-483.
- Chepil, W. S. (1960.): Conversion of relative field erodibility to annual soil loss by wind. *Soil Science Society of America*, 24, 143-145.
- Darboux, G.; Huang, C. H. (2005.): Does soil surface roughness increase or decrease water and particle transfers? *Soil Science Society of America Journal*, 69(3), 748-756.
- Funk, R. (1995.): *Quantifizierung der Winderosion auf einem Sandstandort Brandenburgs unter besonderer Berücksichtigung der Vegetationswirkung*. ZALF Bericht, 16, Zentrum für Agrarlandschafts und Landnutzungsforschung, Müncheberg, str. 96.
- Gajić-Čapka, M.; Cindrić, K.; Kisić, I.; Bilandžija, D. (2013.): Meteorološke prilike i erozija tla vjetrom u Čepić polju. *Zbornik radova V. Konferencija Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa*, Zagreb, Državna uprava za zaštitu i spašavanje, 171-182.
- Gobin, A.; Govers, G.; Jones, R.; Kirkby, M.; Kosmas, C. (2003.): *Assessment and Reporting on Soil Erosion*. Technical Report 94, European Environment Agency, Copenhagen.
- Goossens, D. (2003.): On-site and off-site effects of wind erosion. In: *Wind erosion on Agricultural Land in Europe* (ur. A. Warren), EUR 20370, European Commission, Brussels, 29-38.
- Greeley, R.; Iversen, J. D. (1985.): *Wind as a Geological Process on Earth, Mars, Venus and Titan*. Cambridge Planetary Science, Cambridge University Press, Cambridge, 339.
- Gross, J.; Bähring, L. (2003.): Wind erosion in Europe: where and when. In: *Wind Erosion on Agricultural Land in Europe* (ur. A. Warren), EUR 20370, EC, Brussels, 13-28.
- Jug, D.; Birkas, M.; Kisić, I. (2015.): *Obrada tla u agroekološkim okvirima*. Udžbenici Sveučilišta Josipa Jura Strossmayera u Osijeku, 275.
- Kisić, I. (2012.): *Sanacija onečišćenoga tla*. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, 276.
- Kisić, I. (2014.): *Uvod u ekološku poljoprivredu*. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, 340.
- Kisić, I. (2016.): *Antropogena erozija tla*. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, 275.
- Kisić, I.; Husnjak, S. (2008.): *Erozija tla vodom*. Poglavlje u Nacionalnom izvješću: *Nacionalni program ublažavanja posljedica suše i suzbijanja degradacije zemljišta*, MZOPUG RH.
- Kisić, I.; Husnjak, S.; Gajić-Čapka, M.; Cindrić, K.; Bilandžija, D.; Prekalj, B. (2013.): *Erozija tla vjetrom u Čepić polju – uzroci, posljedice i mjere ublažavanja*. *Hrvatske vode*, 21(83), 25-38.
- Klima, K.; Wiśniowska-Kielian, B. (2006.): Anti-erosion effectiveness of selected crops and the relation to leaf area index (LAI). *Plant Soil Environment*, 52(1), 35-40.
- Lal, R. (1990.): Soil Erosion and Land Degradation. *The Global Risks, Advances in Soil Science, Soil Degradation*, 11, 130-171.
- Ljubenkov, I. (2012.): *Eolska erozija na Sinjskom polju*. *Hrvatske vode*, 82, 211-222.
- Mihalić, V.; Butorac, A.; Tomić, F. (1978.): *Agrobiotopi mediteranskog područja i optimalizacija stanišnih uvjeta za vrtlarstvo*. Centar za studije poljoprivrede Mediterana, Split, 243.

- Morgan R. P. C. (1986.): *Soil Erosion and Conservation*. Longman Scientific & Technical Longman Group, Essex, 255.
- Oldeman, L. R.; Hakkeling, R. T. A.; Sombroek, W. G. (1991.): *World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation, with Explanatory Note* (second revised edition). ISRIC, Wageningen, UNEP, Nairobi.
- Pavelić, I. (2015.): Temeljni principi agrošumarstva i mogućnosti razvoja na prostoru Republike Hrvatske. Završni rad na specijalističkom studiju – Ekoinženjerstvo, 35.
- Pimentel, D. (2006.): Soil Erosion: A Food and environmental threat. *Environment, Development and Sustainability*, 8, 119–137.
- Potter, K. N.; Zobeck, T. M.; Hagen, L. J. (1990.): A microrelief index to estimate soil erodibility by wind. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 33, 151–155.
- Presley, D.; Tatarko J. (2009.): *Principles of Wind Erosion and its Control*. USDA-ARS (online: www.ksre.ksu.edu)
- Reich, P.; Eswaran, H.; Beinroth, F. (2001.): Global dimension of Vulnerability to Wind and Water Erosion. In: Sustaining the Global Farm (ur. D. E. Stott, R. H. Mohtar, G. C. Steinhart). U: *10th International Soil Conservation Organization Meeting*, Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, 838–846.
- Riksen, M. J. P.; Brouwer, F.; Spaan, W.; Arrue, J. L.; Lopez, M. V. (2003.): What to do about wind erosion. U: *Wind Erosion on Agricultural Land in Europe* (ur. A. Warren.), EUR 20370, European Commission, Brussels, 39–54.
- Römkens, M. J. M.; Wang, J. Y. (1986.): Effect of tillage on surface roughness. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 29, 429–433.
- Shao, Y. (2008.): Physics and Modelling of Wind Erosion. *Atmospheric and Oceanographic Sciences Library*, Springer, Dordrecht, 37, 454.
- Škoda, M., (2016.): Utjecaj bure na kvalitetu tla u okruženju grada Paga. Završni rad na specijalističkom studiju – Ekoinženjerstvo, 31.
- Španjol, Ž.; Barčić, D.; Rosavec, R. (2014.): Mogućnosti šumskog poljodjelstva (agrošumarstva) u Hrvatskoj. U: *Zbornik radova 3. agrometeorološke radionice: "Agrometeorologija u službi korisnika": Zaštita okoliša i šumski požari*, Dubrovnik, 31–36.
- Tegen, I.; Lacis, A. A.; Fung, I. Y. (1996.): The influence of mineral aerosol from disturbed soils on global radiation budget. *Nature*, 380, 419–422.
- Tomašević, A., (1996.): Vjetrozaštita Sinjskog polja. *Šumarski list*, 1–2, 19–34.
- Vučić, N. (1987.): *Vodni, vazdušni i toplotni režim zemljišta*. Poljoprivredni fakultet Novi Sad, 320.
- Warren, A. (2003.): Wind Erosion on Agricultural Land in Europe, EU 20370. Luxembourg, 75.
- Werrerr, J.; Andreas, K. (2005.): Soil surface roughness measurement – methods, applicability and surface representation. *Catena*, 64 (2–3), 174–192.
- Woodruff, N. P.; Siddoway, F. H. (1965.): A wind erosion equation. *Soil Science Society of America*, 29, 602–690.
- Zhao, L. S.; Liang, X. L.; Wu, F. Q. (2014.): Soil surface roughness change and its effect on runoff and erosion on the loess Plateau of China. *Journal of Arid Land*, 6(4), 400–409.

Wind erosion

Abstract. The primary goal of this review paper is to cover the issues related to wind erosion, starting from its causes, mechanisms of action and prevention measures to all its direct and indirect consequences. The paper further presents equations used for calculating soil loss due to wind erosion and explains its applications. In the past decades, the focus of wind erosion research has shifted from its direct impacts (agricultural land damage) to its indirect impacts (negative impact on the entire environment and human health). Discussions about the climate change which influenced social trends in general and agriculture in particular, put wind erosion in a broader perspective due to its threat to human health as an indirect consequence of wind erosion. If we accept the position that wind erosion is much easier and cheaper to prevent and reduce its impact than to mitigate its consequences, it will be approached responsibly and controlled by the land user, instead of it controlling him as is now the case. Of key importance is to never leave the soil bare, especially in the periods when strong winds (north wind, bora, sirocco) occur.

Key words: wind erosion, soil loss, direct and indirect impacts, climate change

Winderosion

Zusammenfassung. Das Hauptziel dieses Übersichtsartikels ist die Problematik der Winderosion umzufassen, einschließlich Ursachen, Wirkungsmechanismen, Maßnahmen zur Verhinderung und direkter und indirekter Folgen. Im Artikel werden auch Gleichungen zur Berechnung von Bodenverlustes durch Winderosion dargestellt sowie ihre Anwendung erklärt. In den letzten Jahrzehnten änderte sich der Untersuchungsfokus und so liegt er nicht mehr auf direkten Folgen (Schäden an landwirtschaftlichen Flächen) sondern auf indirekten Folgen (negative Auswirkungen auf die gesamte Umwelt und menschliche Gesundheit). Die Diskussionen um den Klimawandel, der auf die gesellschaftliche Situation im Allgemeinen und auf die Landwirtschaft im Besonderen Einfluss hat, haben das Problem der Winderosion in eine weitere Perspektive wegen der Bedrohung für menschliche Gesundheit als indirekte Folge der Winderosion gestellt. Wenn die Stellungnahme angenommen wird, dass es viel leichter und billiger ist, die Winderosion zu verhindern und ihren Einfluss zu vermindern als ihre Folgen zu sanieren, wird auch ein ernsthafter Ansatz angenommen, und die Winderosion wird von den Landnutzern kontrolliert und nicht umgekehrt. Boden darf nie unbewachsen sein, namentlich nicht in den Perioden mit starkem Wind (Nordwind, Bora, Südwind).

Schlüsselwörter: Winderosion, Bodenverlust, direkte und indirekte Folgen, Klimawandel