

VISOKO GOSPODARSKO UČILIŠTE U KRIŽEVCIMA



PROCESI DEGRADACIJE TLA

*(Odabrano poglavlje iz predmeta Konzervacijska
poljoprivreda)*

Dr. sc. Andrija Špoljar, prof. v.š.

Križevci, 2016.

Kazalo

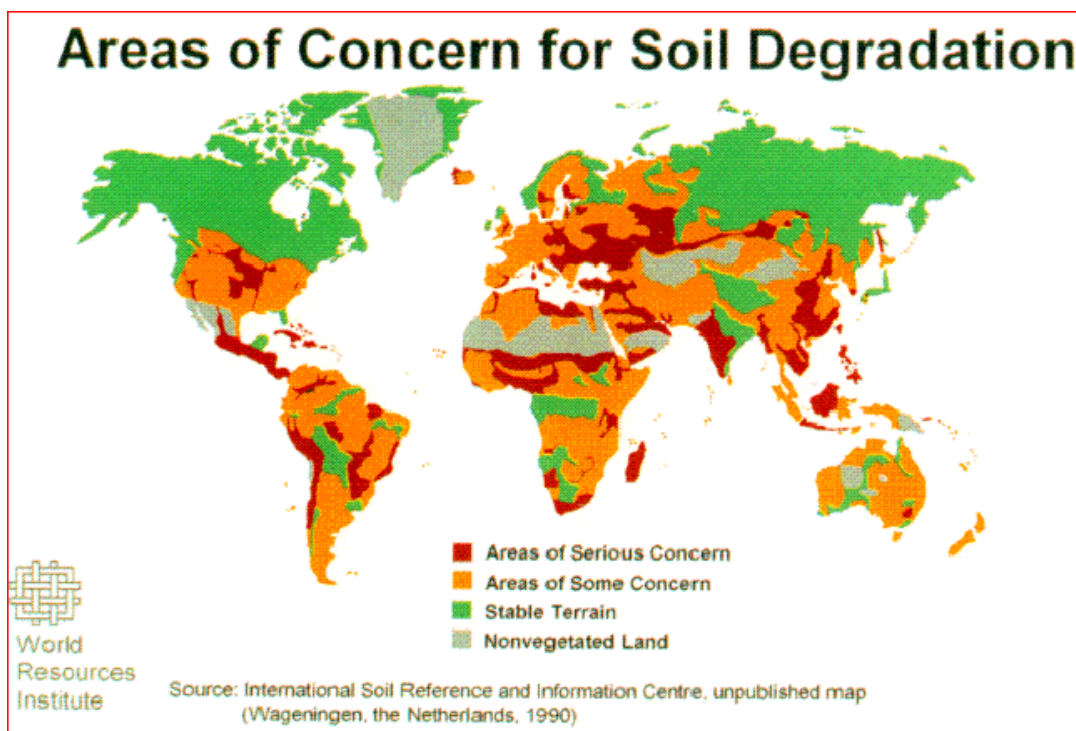
I.	PROCESI DEGRADACIJE TLA - UVOD.....	3
1.	Erozija tla vodom i vjetrom.....	4
1.1.	Erozija vodom.....	4
1.1.1.	Prognostička metoda utvrđivanja erozije tla vodom.....	7
1.2.	Erozija tla vjetrom.....	11
1.2.1.	Prognostička metoda za utvrđivanje erozije tla vjetrom.....	11
1.3.	Mjere zaštite od erozije.....	13
2.	Dezertifikacija.....	15
3.	Posljedice antropogenog zbijanja tla.....	17
4.	Smanjenje sadržaja ukupnog organskog ugljika i biološke raznolikosti tla.....	20
4.1.	Smanjenje sadržaja ukupnog organskog ugljika u tlu.....	20
4.2.	Smanjenje biološke raznolikosti tla.....	21
5.	Zakiseljavanje.....	22
6.	Zaslanjivanje i alkalizacija.....	23
7.	Štetne tvari u tlu.....	27
8.	Provjerite svoje znanje.....	28
9.	LITERATURA.....	29

I. PROCESI DEGRADACIJE TLA - UVOD

U Programu Ujedinjenih naroda za zaštitu okoliša iz 1993. godine **degradacija tla** se definira kao proces koji dovodi do smanjenja njegove plodnosti ili proizvodne sposobnosti poglavito zbog ljudske aktivnosti. Mogu se izdvojiti sljedeći procesi degradacije tla:

- Fizikalni (gubitak plodnog tla zbog erozije vodom ili vjetrom, kvarenje strukture i zbijanje tla, dezertifikacija).
- Kemijski (ispiranje hraniva i toksičnost zbog kisele ili bazične reakcije tla - zaslanjivanja ili alkalizacije, štetne tvari u tlu).
- Biološki (smanjenje sadržaja ukupnog ugljika i bioraznolikosti u tlu).

Kako navodi Singh (2004), degradacija tla je globalni problem. Od ukupno 13,5 milijardi hektara zemljišta kojom raspolaže svjetska populacija, samo je 3,03 milijardi hektara obrađeno (22%), a oko 2 milijarde hektara je degradiranog zemljišta. Područja izložena različitom intenzitetu degradacije prikazuje slika 1.



Slika 1. Područja izložena degradaciji tla (Izvor: www.agrivi.com)

Mogu se, dakle, izdvojiti sljedeći ključni degradacijski procesi u tlu: erozija tla vodom i vjetrom, antropogeno zbijanje, dezertifikacija, smanjenje sadržaja organske tvari i bioraznolikosti tla, zakiseljavanje, zaslanjivanje, alkalizacija i štetne (toksične) tvari u tlu. Do

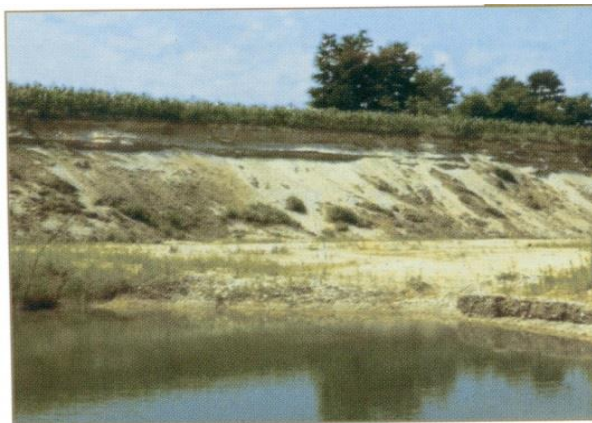
degradacijskih procesa može doći na prirodan način ili ih može prouzročiti čovjek zbog neodgovarajućeg načina korištenja i upravljanja zemljištem. Prirodna degradacija tla, kako navodi Fitzpatrick (2002), zbiva se sporije u odnosu na induciranu zbog relativno stabilnog stanja između nastalog tla pedogenezom i njegove degradacije pretežno gubitkom.

1. Erozijski procesi

Erozijski procesi se odnose na površinsku migraciju zemljišnog materijala i/ili matičnog supstrata pod utjecajem površinskih voda ili vjetra. Na brdovitim reljefnim formama, ubrzani erozijski procesi (ekscesivna erozija) mogu uvjetovati znatno ispiranje tla, ali i matičnog supstrata. Ovaj materijal se taloži u podnožju padine, a proces se naziva koluvijalni. Proces erozije ovisi o nagibu tla, količini i intenzitetu padalina, obraslosti terena, brzini i učestalosti vjetra i o značajkama tla (propusnost tla za vodu, struktura tla i dr.). Erozijski procesi zbivaju se u tri stadija, najprije dolazi do odvajanja zemljišnih čestica od mase tla, zatim se one putem vode ili vjetra transportiraju na veću ili manju udaljenost, a onda se talože. Kod toga su tlo i reljef konstante, kako navode Kisić i sur., (2005), a količina i intenzitet padalina te uzgajani usjevi su promjenjivi pokazatelji, oni zajedno sudjeluju u stvaranju erozije u nekom prostoru. Erozijski procesi, kako proizlazi iz navedenoga, dijele se na **eroziju vodom i vjetrom**.

1.1. Erozijski procesi vodom

Erozija vodom može se podijeliti na **eroziju kišom** (plošna, brazdasta, jaružna, bujična, dubinska u kršu i klizišta), te na **riječnu** (dna, obala) i **morsku ili jezersku – abraziju**. Slike 2. i 3. prikazuju eroziju vodom.



Slika 2. Riječna erozija (Kisić, 2005)



Slika 3. Morska erozija (www.google.hr, 2016)

Plošna erozija ne mijenja krajolik, jer zahvaća ravnomjerno gornji dio obradive površine, slika 4. Na ovaj se način odnose manje količine tla, dok se brazdasta erozija odnosi na manje brazde u kojima su koncentrirane vode površinskog otjecanja, slika 5.



Slika 4. Plošna erozija (Kisić, 2005)



Slika 5. Brazdasta erozija (Kisić, 2005)

Najintenzivniji oblik erozije predstavlja bujična i jaružna, čija je posljedica nastanak dubokih jaruga, slika 6. Dubinska erozija u kršu se pojavljuje kao posljedica poniranja vode u podzemlju zbog čega dolazi do propadanja tla, slika 7. Klizišta su pomicanja tla na nagnutim terenima, a najčešći je uzrok povećana količina oborina i nepropusana podloga (na primjer lapor). Raskvašeno tlo, odnosno njegova žitka masa, može nakon otapanja leda kliziti niz padinu, što se naziva soliflukcija. Na ovakav način dolazi do prekrivanja nižih dijelova terena novim materijalima, pri čemu se stvaraju uvjeti za višeslojnu građu tla.

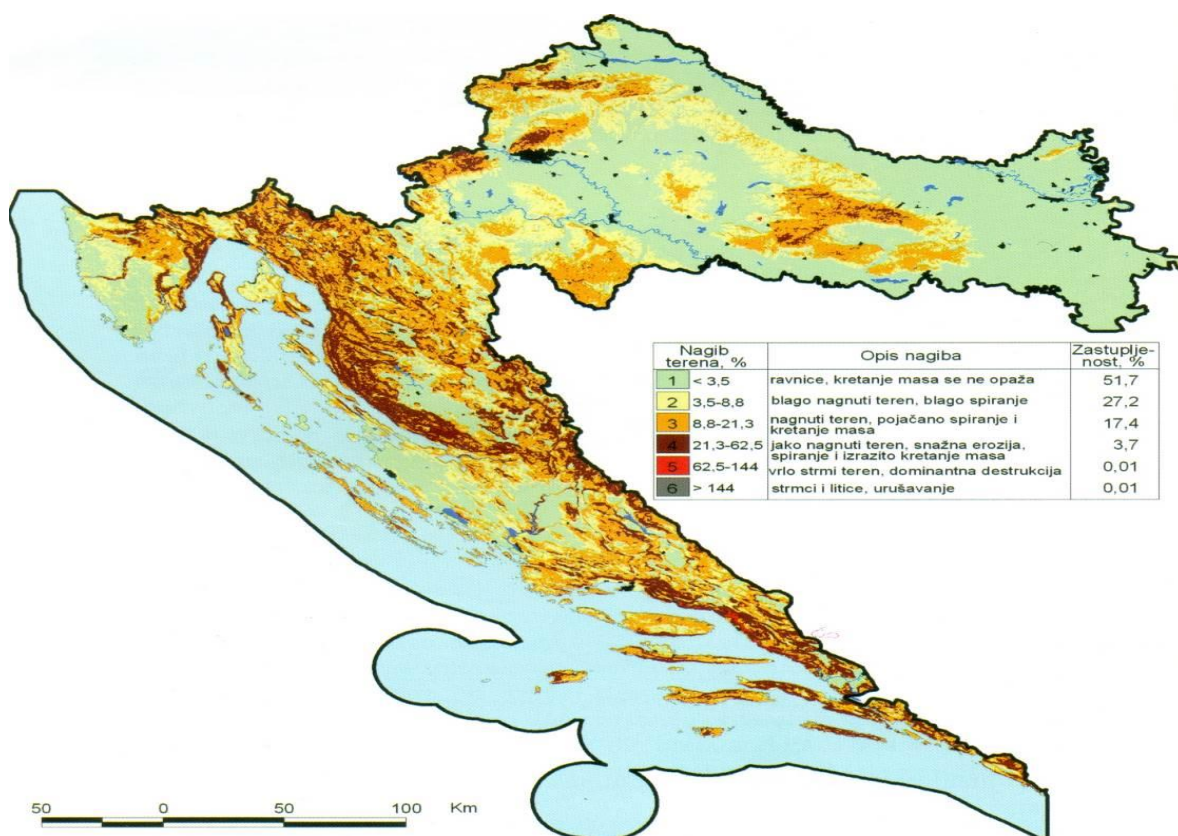


Slika 6. Jaružna erozija (Kisić, 2005)



Slika 7. Propadanje tla u kršu (Kisić, 2005)

Najzastupljeniji oblici erozije vodom, kako navodi Kisić i sur., (2005) u Europi su brazdasta, međubrazdasta i jaružna. Brazdasta i međubrazdasta erozija pojavljuju se na poljoprivrednim, a jaružna na poljoprivrednim i šumskim površinama. Lakša pjeskovita tla izloženija su eroziji vjetrom. Dominantan degradacijski proces u Europi je erozija vodom, a jako ili teško degradiranim tlima smatra se 10% površina (Van Der Knijf i sur., 2000 i Kisić, 2005). Husnjak (2000) izrađuje za Republiku Hrvatsku kartu potencijalnog i stvarnog rizika od erozije vodom te utvrđuje potencijalno visok rizik od erozije na 1 800 265 ha i stvarno visok rizik od erozije tla na 746 475 ha. Najveće površine pripadaju ravninama s nagibom manjim od 3,5%, gdje se kretanje mase tla ne opaža, blaži oblici erozije izdvojeni su na 27, 2% površine s nagibom do 8,8%, a na 48,3% površine može se pojaviti pojačano spiranje zemljišnog materijala. Na strmim liticama moguće je urušavanje tla. Slika 8. prikazuje opasnost od erozijskih procesa s pripadajućim nagibima terena. Racz (1993) ističe kako erozija, osim što smanjuje produktivnost tla, nepovoljno utječe i na kvalitetu voda. Odnosenje oraničnog sloja tla u vodotijekove može prouzročiti njihovu eutrofikaciju.



Slika 8. Nagib terena u Hrvatskoj (Husnjak, 2000)

1.1.1. Prognostička metoda utvrđivanja erozije tla vodom

Najčešće korištena prognostička metoda u istraživanju erozije tla vodom je Univerzalna jednačba gubitka tla erozijom (Universal Soil Loss Equation - USLE) Wischmeiera i Smitha iz 1978. (cit. Kisić i sur., 2005):

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P, \text{ gdje su:}$$

A = prosječna količina erozijskog nanosa tla, t/ha/god; R = erozivnost kiše - pokazatelj intenziteta kiše izračunat na temelju kinetičke energije kiše koja uzrokuje površinsko otjecanje (J/m^2 , mm/h); K = erodibilnost tla - značajke tla; L = dužina kosine (%); S = strmina kosine (%); C = biljni pokrov i gospodarenje tlom; P = mjere zaštite tla od erozije (konturna obrada, sjetva u pojaseve, terasiranje, ...).

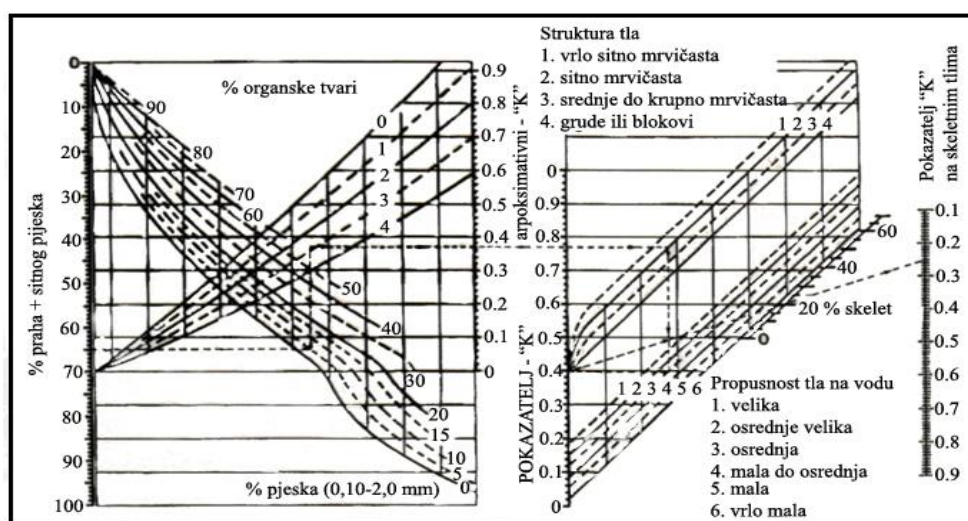
Količina erozijskog nanosa (A) u jednačbi prognozira predvidivu produkciju erozijskog nanosa u t/ha/god u standardnim uvjetima (golo tlo, obrada uz i niz nagib) za razdoblje za koje vrijedi pokazatelj erozivnosti kiše. Ako je ta vrijednost manja od tolerantne erozije (T) ili jednaka toj vrijednosti, smatra se da zahvati zaštite tla od erozije nisu potrebni. Erozivnost kiše (R) računa se prema jednačbi Fourniera iz 1960. godine.

Jednačba Fourniera je:

$$R = (\sum p^2 : P), \text{ gdje su:}$$

p = srednje mjesečne količine oborina u razmatranom razdoblju u mm, P = godišnja količina oborina u mm.

Erodibilnost tla (K) ovisi o značajkama tla (mehaničkom sastavu, organskoj tvari, strukturi, propusnosti tla za vodu) i može se odrediti pomoću nomograma, slika 8.



Slika 8. Nomogram za određivanje pokazatelja erodibilnosti tla (Schwertmann i sur., 1987)

Vrijednosti parametra (K) u ovisnosti o teksturi tla i sadržaju organske tvari prikazuje tablica 1 (Agri-science Resources, 2016).

Tablica 1. Vrijednosti parametra (K) u ovisnosti o teksturi i sadržaju organske tvari

Tekstura tla	Sadržaj organske tvari, %		
	0,5	2	4
Sitni pijesak	0,16	0,14	0,10
Vrlo sitni pijesak	0,42	0,36	0,28
Ilovasti pijesak	0,12	0,10	0,08
Ilovasti vrlo sitni pijesak	0,44	0,38	0,30
Pjeskovita ilovača	0,27	0,24	0,19
Vrlo sitna pjeskovita ilovača	0,47	0,41	0,33
Praškasta ilovača	0,48	0,42	0,33
Glinasta ilovača	0,28	0,25	0,21
Praškasto glinasta ilovača	0,37	0,32	0,26
Praškasta glina	0,25	0,23	0,19

Wischmeir i sur., (1971), s obzirom na vrijednost pokazatelja (K), razvrstavaju tla u četiri razreda, tablica 2.

Tablica 2. Kriteriji za ocjenu erodibilnosti tla (K),(Wischmeir i sur., 1971)

Erodibilnost tla	Ocjena erodibilnosti	Otpornost tla na eroziju
< 0,1	Vrlo niska	Otporno
0,1 – 0,3	Osrednja	Osrednje otporno
0,3 – 0,6	Visoka	Neotporno
> 0,6	Vrlo visoka	Vrlo neotporno

Utjecaj topografije LS može se izračunati prema jednadžbi Schwertmanna i sur., (1987). Jednadžba Schwertmanna je:

$$LS = s/9 [(l/22) (s/9)]^{0,2}, \text{ gdje su:}$$

LS = pokazatelj topografije; s = strmina kosine u %; l = dužina kosine u m.

Vrijednosti LS pokazatelja izračunate na temelju standardne dužine parcele od 22 m i kod 9% pada terena prikazuje tablica 3 (Agri-science Resources, 2016).

Tablica 3. Aproximativna vrijednost (LS) pokazatelja izračunata na temelju standardnog nagiba i dužine parcele

Dužina parcele, m	Nagib parcele, %	LS pokazatelj
250	2,0	0,2
200	4,0	0,4
150	6,0	1,5
125	8,0	2,0
110	10,0	2,5
100	12,0	1,2
90	14,0	4,0
60	16,0	4,0
50	18,0	4,5
45	20,0	5,0

Pokrivenost površine i biljno uzgojni zahvati (C) obuhvaćaju biljni pokrov i uzgojni zahvat (obrađa - dubina, smjer prema nagibu i sl.). Kisić i sur., (2005) preporučuju korištenje sljedećih pokazatelja pokrivenosti površine tla (C), tablica 4.

Tablica 4. Vrijednosti pokazatelja (C), (Kisić i sur., 2005)

Vegetacija	Vrijednost C
Višegodišnji travni pokrov	0,08-0,12
<i>Oranični usjevi</i>	
Ozimi strni usjevi	0,35-0,40
Jari strni usjevi	0,40-0,50
Okopavine	0,45-0,65
<i>Trajni nasadi</i>	
- bez zatravljivanja međurednog prostora - redovi niz nagib	0,65-0,80
- sa zatravljivanjem međurednog prostora - redovi niz nagib	0,40-0,50
- bez zatravljivanja međurednog prostora - redovi okomito na nagib	0,35-0,50
- sa zatravljivanjem međurednog prostora - redovi okomito na nagib	0,30-0,25
Neoštećena šuma (90-100% tla pokriveno listincem, 75-100% pokriveno drvećem)	0,01

Utjecaj konzervacijskih zahvata (P) su protuerozijske mjere. Vrijednosti parametra (P) u ovisnosti o nagibu parcele prikazuje tablica 5 (Agri-science Resources, 2016).

Tablica 5. Vrijednosti pokazatelja (P) u ovisnosti o nagibu parcele

Nagib, %	Vrijednost pokazatelja (P), uz maksimalno dozvoljenu dužinu parcele u m
1,1-2,0	0,6 (150)
2,1-7,0	0,5 (100)
7,1-12,0	0,6 (60)
12,1-18,0	0,8 (20)
18,1-24,0	0,9 (18)

Ukoliko je potencijalna erozija (RKLS) manja od tolerantnog odnošenja tla (T, u t/ha/god) opasnost od erozije ne postoji, a ograničenja u gospodarenju tlom su zanemariva. Za različite sistematske jedinice tla tolerantni gubitak (T) daje se u tablici 6.

Tablica 6. Tolerantni gubitak tla (T), (Kisić i sur., 2005)

Jedinica tla	T, t/ha/god	Jedinica tla	T, t/ha/god
Regosol	3	Kiselo smeđe	7
Koluvij	4	Eutrično smeđe	7
Smeđe na vapnencu	5	Lesivirano pseudoglejno	8
Rigosol	6	Pseudoglej obronačni	10
Rendzina	7	Černozem na praporu	10

Tolerantni gubici tla odgovaraju maksimalnim godišnjim vrijednostima, koje još uvijek ne ugrožavaju proizvodnu sposobnost tla. Potencijalna erozija prema USLE jednadžbi polazi od pretpostavke da je tlo nezaštićeno (golo tlo) čitavu godinu te da je na njemu primijenjena obrada uz i niz nagib. Do aktualne (stvarne) erozije (RKLSCP) dolazi se kad se primijeni bilo kakav drugi način obrade i vegetacijski pokrov koji će smanjiti erozijske procese. Pokazatelj odnosa između potencijalne ili stvarne erozije i tolerantnog gubitka tla naziva se **stupanj rizika od erozije**.

Zadatak 1. Mjesečna količina oborina u Križevcima za srpanj 2003. godine iznosila je 81 mm, a godišnja 570 mm. U uzorku tla sadržaj krupnog pijeska iznosi 1,25%, sadržaj praha i sitnog pijeska je 93,1%, a sadržaj humusa iznosi 1,94%. Nagib proizvodne površine je 3%, a dužina je 800 m. Maksimalno dozvoljena količina erozijskog nanosa je 8 t/ha/god. Koristeći USLE jednadžbu izračunajte potencijalnu opasnost od erozije lesiviranog pseudoglejnog tla vodom.

1.2. Erozijska tla vjetrom

Erozijska tla vjetrom (eolska erozijska) vrlo se rijetko zbiva na tlima zaštićenim prirodnom vegetacijom, a osobito su ugrožene poljoprivredne površine. Eolska erozijska ovisi o pedološkim značajkama, klimatskim prilikama i o ljudskoj aktivnosti, a najčešće se javlja u aridnim i semiaridnim područjima. Ove erozijske procese, kako navodi Kisić (2016), vrlo je teško identificirati jer zahvaćaju velike površine, a zemljišni se materijal raznosi zračnim strujama širom u okoliš. Glavni pokazatelji koji određuju erozijske procese vjetrom su **erozivnost klime i erodibilnost tla**. Tla s povećanim sadržajem organske tvari podložnija su, zbog manje volumne gustoće eolskoj eroziji, u odnosu na mineralna tla. Bagnold 1941. (cit. Kisić, 2016) kretanje čestica tla pod utjecajem vjetra dijeli na površinsko **puzanje** (vučenje), **skakutanje** (saltaciju) i **lebdjenje** (suspenciju). Čestice veće od 500 µm puze ili se kotrljaju po površini jer ih vjetar ne može podignuti da bi lebdjele. Odbijanje čestica tla po površini naziva se saltacija ili skakutanje, a na takav se način kreću čestice između 70 i 500 µm. Čestice se gibaju saltacijom uglavnom do 1 m visine. Čestice koje su manje od 20 µm dugo se zadržavaju u zraku odnosno lebde i po nekoliko dana pa se stoga prenose na veće udaljenosti i do nekoliko kilometara, a one veličine od 20 do 70 µm lebde u zraku nekoliko sati i ne mogu se prenositi na velike udaljenosti.

Erozivnost klime ovisi o brzini vjetra, negativnim temperaturama, sadržaju vlage u tlu, količini i rasporedu oborina, evaporaciji i vegetacijskom pokrovu. Različita zastupljenost ovih klimatskih elemenata određuje intenzitet, učestalost i trajanje eolske erozije. Da bi se čestice tla pokrenule potrebna je odgovarajuća brzina vjetra ili trenja. **Erodibilnost tla** se može definirati kao njegova sposobnost da se odupre sili vjetra, a ovisi o pedološkim značajkama kao što su: tekstura tla, sadržaj organske tvari, trenutna vlažnost tla i struktura. Visoko erodibilna su pjeskovita tla s niskim sadržajem vlage i malim stupnjem stabilnosti agregata, a najotpornija na eroziju vjetrom su glinasta tla.

1.2.1. Prognozijska metoda za utvrđivanje erozije tla vjetrom

Za izračunavanje erozije tla vjetrom u upotrebi je univerzalna jednačba gubitka tla vjetrom (WEPS – Wind Erosion Prediction System). Količina erodiranog tla vjetrom (E) funkcija je više parametara (Lyles i sur., 1983):

$$E = f(I, K, C, L, V), \text{ gdje je:}$$

E = potencijalni godišnji gubitak erodiranog tla, t/ha

f = funkcija različitih čimbenika

I = erodibilnost tla (0 je za čestice kamena, a više od 300 je za čestice vrlo sitnog pijeska), t/ha/god

K = izgled površine, 1,0 za ravne površine i 0,5 za neravne površine ako površina varira za najmanje 10,16 cm)

C = klimatski čimbenik (brzina vjetra i efektivna vlažnost tla)

L = utjecaj dužine istraživane površine (od 0 za male zaštićene površine do 1,0 za otvorene površine od više stotine metara, ako nema djelotvornih prepreka koriste se vrijednosti od 0,8 do 1,0 ovisno o otvorenosti)

V = ekvivalent količine biljnog pokrova koji se može izračunati iz odgovarajućih tablica prema vrsti biljnog pokrova ostavljenog na površini tla (slama, usitnjeni biljni ostaci,...).

Odnosi između varijabli u jednadžbi vrlo su složeni, a za izračun potencijalnog godišnjeg gubitka erodiranog tla izrađene su odgovarajuće tablice i grafikoni, koji postupak pojednostavljaju (Woodruff i Siddoway, 1965). Skidmore i sur., (1970) daju računalni program kojim se na još jednostavniji način može izračunati gubitak tla erozijom vjetrom. Za praktične potrebe utvrđivanja rizika od erozije tla vjetrom može se koristiti i sljedeća jednadžba (Chepil i Woodruff, 1963):

$$E = KC(V^2 - yW)^{1,5}, \text{ gdje je:}$$

E = maksimalna trenutna erozija tla vjetrom

K = hrapavost površine i čimbenik agregacije

C = otpornost tla prema vjetru

y = otpor vlažnog tla na smicanje

V = brzina vjetra, cm/s

W = sadržaj vlage na površini tla, m³ vode/m³ tla

Za predviđanje rizika tla od erozije vjetrom postoje, kako navodi Kisić (2016), brojne druge jednadžbe, koje u obzir uzimaju različite klimatske, pedološke i vegetacijske parametre. Cilj je konzervacije tla postići održivu razinu proizvodnje uz održavanje gubitka tla ispod praga koji omogućuje održavanje ravnoteže između novostvorenog tla pedogenezom i njegovog gubitka erozijskim procesima.

1.3. Mjere zaštite od erozije

Kod erozije uzrokovane kišom na proizvodnim površinama najčešće se preporuča konturna obrada, sjetva u pojaseve i terasiranje, a kod erozije vjetrom vjetrozaštitni pojasevi, zatravljivanje i pošumljavanje. Radove pri umirivanju eolskih pijesaka Podravine prikazuje slika 9., a slika 10. prikazuje klase nagiba i preporučene mjere zaštite od erozije vodom.

Na nagibima terena do 3° ne postoji opasnost od erozijskih procesa i tlo se koristi za uzgoj svih kultura, sjetvom u pojaseve ili konturnom obradom (obrada tla po izohipsama) i uzgojem kultura u plodoredu umanjuju se procesi erozije na nagibima od 3 do 7° . Kod nagiba terena između 7 i 15° preporuča se izvođenje terasa, a takva se tla koriste prvenstveno za uzgoj drvenastih kultura. Kod još izraženijih nagiba od 15 do 40° izvođe se strme terase za uzgoj vinograda ili se takvi prostori koriste kao permanentni travnjaci i šume. Iznad 40° je golet ili šuma i ne poduzimaju se nikakve mjere zaštite od erozije.



Slika 9. Radovi umirivanja Podravskih pijesaka (Šandor, 1910)



Slika 10. Mjere zaštite tla od erozijskih procesa (Izvor: www.pfos.hr)

Pri zaštiti tla od erozije vjetrom najprihvatljivija agrotehnička mjera je tlo obraslo vegetacijom i zadržavanje biljnih ostataka na površini tla. Kisić (2016) izdvaja kratkoročne i dugoročne mjere ublažavanja erozijskih procesa vjetrom, tablica 7.

Pokrivenost tla veća od 10% značajno smanjuje eroziju tla vjetrom. Pri pokrivenosti tla od 20% erozija tla je smanjena na oko 50%, a potpuno je onemogućena pri pokrivenosti većoj od 40%. Prihvatljiva mjera zaštite tla od erozijskih procesa vjetrom je uzgoj ozimih i krmnih kultura gustog sklopa u plodoredu (Kisić, 2014).

Tablica 7. Mjere ublažavanja erozijskih procesa vjetrom

Vrsta mjere	Agrotehnička mjera
Kratkoročna (ublažavaju stvarni rizik od erozije vjetrom)	- Interpolirani usjevi kratke vegetacije - Različite kombinacije združenih usjeva - Zaštitni i pokrovni usjevi - Biljni ostaci na površini tla - Tekuća organska gnojiva i kondicioneri - Kemijski stabilizatori strukture tla - Reducirana obrada tla - Navodnjavanje
Dugoročna (ublažavaju potencijalni rizik od erozije)	- Usitnjena polja - Krme kulture i trave u plodoredu - Veći sadržaj gline u tlu - Vjetrozaštitni pojasevi - Konsocijacija usjeva - Agrošumarstvo

Najučinkovitiji način zaštite tla i biljaka od erozije vjetrom na obradivim površinama su vjetrozaštitni pojasevi, a koriste se i za zaštitu građevinskih objekata, slika 11. U upotrebi je ograničena zaštita u hortikulturi za svaku biljku posebno i masovna kod koje se podižu mrtvi (suhozidine) i živi pojasevi (trave, grmlje, drveće), koji umanjuju kinetičku energiju vjetra. U zaštiti poljoprivrednih površina vjetrozaštitni pojasevi su dopunska mjera i nužno ih je kombinirati sa zahvatima obrade tla. Vjetrobrani se dijele na jednoredne i višeredne, a maksimalno ih može biti do pet, smatra se da su najučinkovitiji troredni. Pri zaštiti proizvodnih površina i naselja koriste se oni s većim brojem redova, a služe kao glavna zaštita. Iza njih se postavljaju vjetrobrani s manjim brojem redova, sve do jednorednih. Uski vjetrobrani se postavljaju uz puteve i zgrade. Kod podizanja vjetrobrana u sredini se nalaze visokostablašice i one su tzv. vodeći red. O vodećem redu ovisi kolika će proizvodna površina biti zaštićena, ona

je jednaka 20 do 25 visina stabala u metrima (Kisić, 2016). Duljina vjetrozaštitnog pojasa može se izračunati prema sljedećoj jednadžbi:

$$X = 2,5 \times H^2 \text{ ili } X = 20 \text{ do } 25 \times H, \text{ gdje je:}$$

H = visina zaštitnog pojasa u metrima.



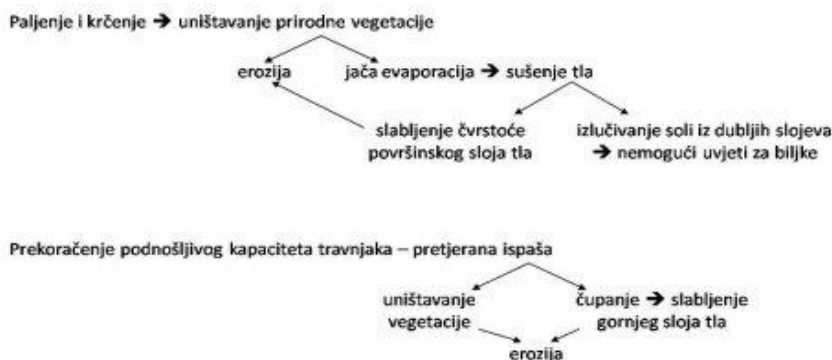
Slika 11. Vjetrozaštitni pojasevi (Izvor: <http://www.google.hr>)

Pri izboru biljaka koje se koriste kao vjetrozaštitni pojasevi preporučaju se autohtone vrste. Kod postavljanja vjetrobrana zbog učinkovitosti treba voditi računa o njegovoj gustoći. Preporuča se propusnost između 30 i 40% kako bi se uspostavila ravnoteža između vjetra koji ga prelazi i onog kojeg propušta. Brzina vjetra se smanjuje ovisno o kutu dolaska vjetra, što je ovaj kut veći veće je i smanjenje dolaska vjetra. Vjetrobrani se ne bi smjeli postavljati pod kutom manjim od 70° u odnosu na prevladavajući smjer vjetra. Na nagnutim terenima postavljaju se okomito na pad terena, a kod neravnih površina na najvišoj uzvisini isto okomito na smjer vjetra. Na velikim se površinama postavljaju glavni i sporedni vjetrobrani. Preporučeni razmak između glavnih vjetrobrana je od 200 do 300 m, a između sporednih s manjim brojem redova i okomito na glavne razmak je od 1000 do 2000 m.

2. Dezertifikacija

Dezertifikacija je proces degradacije tla izazvan ljudskom aktivnošću ili se zbiva prirodno, a ima za posljedicu nepoželjne promjene vodnog režima tla pri čemu se plodna tla postepeno isušuju i pretvaraju u pustinje ili se stvaraju uvjeti slični pustinjskim. Pretežno se javlja u područjima aridne i semiaridne klime. S vremenom se gubi biološka raznolikost i uspijevaju samo one biljne vrste s vrlo skromnim zahtjevima.

Od prirodnih činitelja mogu se izdvojiti sljedeći: pojava suša, erozija vodom i vjetrom te zaslanjivanje. Antropogeni utjecaj se odnosi na aktivnosti čovjeka kao što su na primjer: pretjerana ispaša, skraćivanje vremena parloga, nepravilno navodnjavanje, neprilagođena obrada tla, izostavljanje trava i leguminoza iz plodoreda i krčenje šuma (deforestacija), slika 12.



Slika 12. Uzroci dezertifikacije (Izvor: [http:// www.geografija.hr](http://www.geografija.hr))

Slika 13. prikazuje uništenu prirodnu vegetaciju na farmama zapadne Australije što je dovelo do povećanja razine podzemne vode i zaslanjivanja tla. Slika 14. prikazuje pješčanu oluju koja se pojavila kao posljedica dezertifikacije na sjevernoameričkom Srednjem zapadu tridesetih godina dvadesetog stoljeća.



Slika 13. Zaslanjivanje tla

(Izvor: [http:// www.geografija.hr](http://www.geografija.hr))



Slika 14. Pješčana oluja

(Izvor: [http:// www.geografija.hr](http://www.geografija.hr))

Vrlo učinkovite mjere ublažavanja posljedica dezertifikacije su pošumljavanje, sadnja vjetrozaštitnih pojaseva i zatravljanje. Isto tako se zadovoljavajući rezultati mogu postići upotrebom konzervacijske obrade (na primjer reducirane i izostavljene) tla.

3. Posljedice antropogenog zbijanja tla

Intenzivna biljna proizvodnja u kojoj se u velikoj mjeri primjenjuju agrokemikalije i gdje je plodored sužen, ili se proizvodi u monokulturi gotovo bez uporabe organskih gnojiva uzrok je pogoršanja fizikalnih, kemijskih i bioloških značajki tla. Izgrađeni sustavi odvodnje i navodnjavanja također mogu nepovoljno djelovati na značajke tla.

Nepravovremena i intenzivna obrada (učestali prohodi) uzrok su **antropogenog zbijanja**, čime se kvare vodozračni, toplinski i hranidbeni odnosi u tlu. Zbijanje tla dovodi do pogoršanja većine fizikalnih značajki kao što su: struktura, propusnost tla za vodu i stvaranje pokorice. Kvarenju strukture doprinosi i smanjena količina organske tvari u tlu (blagi humus sudjeluje u tvorbi stabilne strukture). Smanjena propusnost tla za vodu može pospješiti procese hidromorfizma i pseudooglejavanja, s mogućim nepoželjnim posljedicama na transformaciju organske tvari u pravcu stvaranja humusa slabije kvalitete (hidromorfni humus). Nedostatak organske tvari i njena slabija kvaliteta, uz povećani udio čestica praha u tlu, doprinose stvaranju pokorice, što se nepovoljno odražava na nicanje. Smanjenu opasnost od stvaranja pokorice i zbijanja tla uslijed obrade pri uzgoju usjeva u plodoredu u kojem su zastupljene leguminoze dobiva Špoljar i sur., (2001). Pri uzgoju usjeva u plodoredu u kojem su zastupljene djetelinsko travne smjese i leguminoze, uz primjenu kombinirane organske i mineralne gnojidbe s kalcifikacijom, također utvrđuje smanjenje opasnosti od zbijanja tla uslijed obrade i stvaranja pokorice (Špoljar, 2008).

Posljedice antropogenog zbijanja tla mogu se ublažiti na sljedeći način: pravovremenom obradom i smanjenim brojem prohoda (reducirana obrada), smanjenjem osovinskog pritiska mehanizacije, organskom gnojdbom, kombiniranom organskom i mineralna gnojdbom, uzgojem usjeva u plodoredu u kojem su zastupljene leguminoze i djetelinsko travne smjese. Slika 15. prikazuje reduciranu obradu tla.



Slika 15. Reducirana obrada tla (Izvor:<http://www.google.hr>)

U jednom proходу mehanizacije obavlja se više operacija čime se smanjuje nepovoljni utjecaj na zbijanje tla. Kondicionerima (strukturomatorima) se popravljaju nepovoljna struktura tla, a povoljan utjecaj na strukturu tla također ima organska gnojidba, kalcifikacija i uzgoj travnih biljnih vrsta te leguminoza u plodoredu. U jednom proходу mehanizacije obavlja se više operacija čime se smanjuje nepovoljni utjecaj na zbijanje tla.

Zadatak 1. Na učilišnom su pokušalištu u plodoredu uzgajane sljedeće kulture: kukuruz, lupina, djetelinsko-travna smjesa i zob. Izračunajte sadržaj fiziološki aktivne i optimalne vlage do 50 cm dubine na temelju laboratorijskih podataka o retencijskom kapacitetu tla za vodu, lentokapilarnoj vlažnosti tla i točki venuća, tablica 8. Na osnovi dobivenih podataka izdvojite kulture koje su ostavile najpovoljnije uvjete sadržaja vlage u tlu za narednu kulturu koja će se uzgajati.

Tablica 8. Sadržaj fiziološki aktivne i optimalne vlage u tlu pri uzgoju kultura u plodoredu

Kultura	Dubina, cm	Sadržaj vlage, % vol.				FAv, mm	Ov, mm
		Za dubinu	Kv	LKt	Tv		
Kukuruz	0-25	0-30	40,56	11,55	9,63		
	25-75	0-50	45,50	18,82	15,50		
Zob	0-25	0-30	42,57	12,64	9,21		
	25-57	0-50	40,66	19,96	15,36		
DTS	0-27	0-30	40,31	13,50	10,67		
	27-58	0-50	40,19	22,61	17,77		
Lupina	0-27	0-30	46,00	12,46	9,36		
	27-51	0-50	43,30	20,33	15,92		

Zadatak 2. Na temelju laboratorijskih podataka za kukuruz, zob, djetelinsko-travnu smjesu i lupinu uzgajane u plodoredu izračunajte vrijednosti pedomehaničkih parametara koji ukazuju na stanje zbijenosti tla, opasnosti od stvaranja pokorice i zbijanja tla uslijed obrade. Vrijednost gornje granice plastičnosti za sve kulture u površinskom horizontu iznosi 30,60 % mas., a donje 24,40 % mas. U potpovršinskom horizontu w_l je 30,00 % mas. i w_p je 23,10 % mas. Navedene podatke prikazuje tablica 9. Utvrdite koje su kulture ostavile najpovoljnije stanje ovih značajki tla za narednu kulturu u plodoredu.

U izradi zadatka koriste se sljedeće jednadžbe i interpretacijske vrijednosti:

1. Relativna poroznost i koeficijent pora

$$n = P/100, \quad n = \frac{e}{1+e}, \quad \text{ili} \quad e = \frac{n}{1-n}$$

2. Gustoća pakiranja čestica

$$G_p = \rho_v + 0,009 \cdot \% \text{ gline, g/cm}^3$$

Interpretacijske vrijednosti su sljedeće:

- < 1,40 g/cm³ slabo zbijeno tlo
- 1,40 - 1,75 g/cm³ srednje zbijeno tlo
- > 1,75 g/cm³ jako zbijeno tlo.

3. Indeks tečenja

$$I_L = \frac{K_v - W_p}{I_p},$$

$$I_p = W_L - W_p$$

Granične vrijednosti za I_L su:

- 0 tvrda tla
- 0 - 1 plastična tla
- > 1 tlo u stanju tekuće konzistencije.

3. Boekelovi parametri

Boekelovi parametri su odnosi gornje (W_L) i donje (W_p) granice plastičnosti s poljskim kapacitetom tla za vodu (K_v) ili ekvivalentnim vrijednostima retencije vlage kod 0,33 bara. Širi raspon parametra W_L/K_v označava manju opasnost od stvaranja pokorice. Najpovoljnije vrijednosti parametra W_p/K_v su oko 1 ili nešto ispod, jer je u tom slučaju tlo najmanje osjetljivo na zbijanje poradi obrade.

Tablica 9. Rezultati pedomehaničkih parametara nakon uzgoja usjeva u plodoredu

Kultura	K_v , % vol.	ρ_v , g/cm ³	P, % vol.	%, gline	G_p , g/cm ³	W_L/K_v	W_p/K_v	n	e	I_L
Lupina	40,56	1,49	45,33	14,65						
	45,50	1,62	41,16	13,50						
Zob	42,57	1,53	42,62	13,40						
	40,66	1,55	42,73	12,75						
DTS	40,31	1,41	46,49	16,95						
	40,19	1,55	41,84	16,50						
Kukuruz	46,00	1,41	47,47	13,90						
	43,30	1,56	45,43	13,95						

4. Smanjenje sadržaja ukupnog ugljika i biološke raznolikosti tla

4.1. Smanjenje sadržaja ukupnog organskog ugljika u tlu

Organsku tvar u tlu, kako navode Lickacz i Penny (2001) čine nerazgrađeni biljni ostaci i mikroorganizmi (1 - 10%), aktivna organska frakcija (10 - 40%) i stabilna organska tvar ili humus (40 - 60%). *Nerazgrađeni biljni ostaci* na površini tla umanjuju erozijske procese, a njihovo uklanjanje ili spaljivanje pospješuje eroziju tla. U tlu živi veliki broj različitih **živih organizama** u složenim i raznolikim zajednicama poput glista, protozoa, gljiva, algi, aktinomiceta, bakterija i cijanobakterija. Ovi različiti organizmi imaju svoju ulogu u ekosustavu, stvarajući na taj način čitavu „mrežu“ biološke aktivnosti. Na ove biološke zajednice utječu okolišni čimbenici, kao što su: temperatura, sadržaj vlage i kiselost tla, ali i ljudska aktivnost. Organizmi tla imaju ključnu ulogu u održivom funkcioniranju ekosustava. Glavni su nositelj kruženja tvari i energije u prirodi, reguliraju dinamiku organske tvari i ugljika u tlu, a sudjeluju i u oslobađanju stakleničkih plinova iz tla.

Humus ulazi u sastav koloidnog kompleksa tla (adsorpcijski kompleks) te ima sposobnost vezivanja kationa u tlu. Kapacitet adsorpcije kationa kod blagog humusa iznosi i do 300 mmol ekv. Može se, dakle, reći s praktičnog stajališta da organska tvar u tlu ima sljedeće bitne uloge: izvor je hraniva za biljke i popravljiva strukturu tla te umanjuje erozijske procese. Blagi humus povoljno utječe na tvorbu stabilne strukture i također umanjuje erozijske procese. Biljni ostaci su „skladište“ hraniva u tlu, koja se oslobađaju nakon razgradnje (mineralizacije), a humus (stabilna organska tvar) veže hranjive tvari u biljkama pristupačnom obliku.

Intenzivnom obradom u tlo se unosi zrak (kisik), koji pospješuje procese razgradnje organske tvari, što zbog izostanka organske gnojidbe dovodi do smanjenja sadržaja organske tvari s nepoželjnim posljedicama na plodnost tla. Povećanje temperature tla i sadržaja vlage u tlu također povoljno djeluju na procese mineralizacije. Da bi se održala biološka ravnoteža količina unesene organske tvari u tlo mora biti izjednačena sa stupnjem njezine razgradnje. U protivnom dolazi do dehumizacije i općenito do smanjenja sadržaja organske tvari u tlu. Nepovoljnu bilancu sadržaja organske tvari u tlu moguće je popraviti različitim mjerama gospodarenja:

- gnojdbom organskim gnojivima, zelenom gnojdbom (sideracija),
- uzgojem krmnih kultura u plodoredu sa žitaricama i uljaricama,
- uvođenjem travnih biljnih zajednica u plodored,
- uzgojem mahunarki u plodoredu,

- uvođenjem ljetnog ugara.

Lickacz i Penny (2001) navode da je uzgoj višegodišnjih krmnih kultura učinkovitiji glede porasta sadržaja organske tvari u tlu u odnosu na uzgoj mahunarki u plodoredu. Reducirana i izostavljena obrada tla, kako navode autori, također pridonosi povoljnijoj bilanci organske tvari u tlu.

4.2. Smanjenje biološke raznolikosti tla

Biološka raznolikost (bioraznolikost) tla definira se kao varijabilnost živih organizama i ekoloških zajednica u tlu, što uključuje raznolikost unutar vrsta te između vrsta i ekosustava. Pod padom bioraznolikosti podrazumijeva se smanjenje broja živih organizama u tlu, te njihove raznolikosti. Razlog tome je manji sadržaj organske tvari u tlu, te kvarenje kemijskih i fizikalnih značajki tla.

Mogu se navesti sljedeći primjeri biološke degradacije tla (Singh, 2004):

- Primjena organskih gnojiva niske pH vrijednosti može dovesti do akumulacije NH_4 iona, što nepovoljno utječe na aktivnost nitrifikacijskih bakterija (*Nitrobacter L.*), zbog čega se nakupljaju nitrati u tlu.
- Za kruženje dušika u prirodi važni su procesi mineralizacije, nitrifikacije, denitrifikacije i fiksacija dušika. Kod toga najlakše dođe do poremećaja fiksacije dušika i nitrifikacije. Nitrifikacijske bakterije (*Nitrosomonas* i *Nitrobacter L.*) su osjetljive na kisele uvjete sredine i nedostatak kisika. Stoga u uvjetima suficijentne vode u tlu također dolazi do poremećaja u ovim procesima i biološke degradacije tla.
- U anaerobnim uvjetima koji su posljedica antropogenog zbijanja pojavljuju se velike koncentracije metana, on ukazuje na jako redukcijske uvjete u tlu s nepoželjnim učinkom na ekosustav.
- Nepovoljni utjecaj na mikrobiološku aktivnost tla imaju toksični elementi u tlu i upotreba pesticida. Tako na primjer upotreba fungicida može smanjiti aeraciju (disanje) tla. Korištenje pesticida poput atrazina, bromacila i simazina može na kraće vrijeme inhibirati procese nitrifikacije i simbiotske fiksacije dušika. Onečišćenje teškim metalima (npr. Cd, Cu, Ni, Pb i Zn) nepovoljno utječe na ciklus kruženja ugljika, fiksaciju i nitrifikaciju dušika.
- Spaljivanje šuma može dovesti do povećanja pH vrijednosti u tlu, zbog čega se povećava pristupačnost kalcija i magnezija te dolazi do gubitka sumpora, fosfora i bora.

Spaljivanje šuma rezultira smanjenom infiltracijom vode u tlo te povećanjem otjecanja vode i erozijskih procesa.

Za povećanje biološke raznolikosti tla može se preporučiti reducirana obrada tla, uzgoj usjeva u plodoredu, upotreba organskih gnojiva i zelena gnojidba te reduciranje upotrebe pesticida. Glede očuvanja biološke raznolikosti tla ekološkoj i održivoj poljoprivredi treba dati prednost u odnosu na konvencionalni uzgoj poljoprivrednih kultura.

5. Zakiseljavanje

Na procese zakiseljavanja (acidifikacije) tla utječu: genetsko evolucijski stadij razvoja tla (tip tla), klimatski uvjeti, organizmi i čovjek. Kiselu reakciju tla uvjetuju ioni vodika (H^+), tla su kisela ako je pH manji od 7. U stabilnim ekosustavima smjer kemijskih procesa u tlu nije uvjetovan aktivnošću organizama, jer su proizvodnja i razgradnja organske tvari ujednačene i nema razlike u koncentraciji oslobođenih i primljenih protona. Odstupanja od stabilnog stanja, kako navode Mesić i sur., (2009), dovode do razlike u proizvodnji protona, što je razlog zakiseljavanja ili alkalizacije. Do zakiseljavanja tla dolazi u semihumidnim, humidnim i perhumidnim područjima. Proces zakiseljavanja zbiva se na prirodan način ili ga može uzrokovati čovjek svojom aktivnošću. **Prirodno zakiseljavanje** je geogenog ili pedogenog podrijetla. Geogeno podrijetlo kiselosti tla u svezi je s kiselim matičnim supstratima na kojima se razvijaju kisela tla, dok je kiselost pedogenog podrijetla u svezi s neutralnim i bazičnim stijenama. Međutim, treba istaknuti da je kod tala koja se razvijaju na kiselim stijenama također nazočno stalno daljnje zakiseljavanje tla. Na zakiseljavanje tla, osim matičnog supstrata uvelike utječu i klimatske prilike, odnosno količine oborina.

Mogu se izdvojiti tri ključna procesa, koja se zbivaju tijekom zakiseljavanja tla:

- dekarbonatizacija,
- debazifikacija,
- zakiseljavanje ili acidifikacija.

Prvotni proces kod karbonatnih tala koja se razvijaju na karbonatnim i silikatno karbonatnim matičnim supstratima je dekarbonatizacija, odnosno ispiranje $CaCO_3$ u obliku $Ca(HCO)_3$. Ovaj proces zbiva se pod utjecajem H_2O i CO_2 (ugljične kiseline H_2CO_3). Dekarbonatizacija je početak zakiseljavanja tla, nakon čega slijedi ispiranje baznih kationa (Ca, Mg, K i dr.) iz koloidnog kompleksa tla (adsorpcijski kompleks). Na mjesto ovih baznih kationa ulaze vodikovi (H^+) ioni pa se na ovakav način tlo zakiseljava. Kod nekarbonatnih tala neutralne ili

kisele reakcije proces koji prethodi zakiseljavanju je debazifikacija, nakon koje slijedi acidifikacija, postepeno ulaženje vodikovih iona (H^+) u adsorpcijski kompleks.

Uzrok **antropogenog zakiseljavanja** je gnojidba fiziološki kiselim mineralnim gnojivima i organska gnojidba. Od organskih gnojiva na zakiseljavanje tla ponajviše utječe upotreba gnojovke, pogotovo ako se učestalo primjenjuje na istim površinama. Na ispiranje baznih kationa, dakako da utječu klimatske prilike, ali i tipske značajke tla. Osim toga na zakiseljavanje utječe korijenov sustav biljaka (korijen oslobađa H^+ ione pri primanju kationa), razgradnja organske tvari, nitrifikacija amonijskih gnojiva i kisele kiše.

Mali je broj poljoprivrednih kultura, koje uspijevaju na kiselim tlima. Naime, kod niskog redoks potencijala zbivaju se redukcijski procesi, a kao rezultat toga pojavljuju se mobilni ioni aluminija i željeza. Oni u reakciji s fosfatnim anionom daju teško pristupačne aluminijeve i željezne fosfate. S druge strane zbog redukcije, također se u kiselim uvjetima, javljaju gotovo svi mikroelementi, osim molibdena, u toksičnim koncentracijama. Ovi nepovoljni uvjeti, kojima je uzrok kisela reakcija tla rješavaju se kalcifikacijom. Kod nas se najčešće količine materijala za kalcifikaciju određuju na temelju potencijalne kiselosti tla. Za uzgoj manje osjetljivih kultura određuje se supstitucijska kiselost tla (slabije vezani vodikovi ioni na koloidnom kompleksu), a za više osjetljive nužno je količinu materijala za kalcifikaciju odrediti na temelju hidrolitske kiselosti (jače vezani vodikovi ioni na koloidnom kompleksu tla).

6. Zaslanjivanje i alkalizacija

Bazičnu reakciju tla uzrokuju OH^- ioni, tla su bazična ako imaju pH veći od 7. Do procesa alkalizacije, isto kao i do zakiseljavanja može doći na prirodan način ili pod utjecajem čovjeka. Uzročnik bazične reakcije tla do pH 8,5 je kalcijev karbonat $CaCO_3$, a alkalne iznad pH 8,5 soda (Na_2CO_3). U nacionalnoj klasifikaciji tala Husnjak, (2014) izdvaja akutno slana (solončak) i akutno alkalna (solonec) tla. Kod solončaka osobiti problem predstavljaju suficitne lakotopljive soli unutar pedološkog profila (njih je više od 0,52% do 50 cm dubine, provodljivost tla veća je od 8 dSm^{-1}), a kod soloneca sadržaj ovih soli znatno je manji, ali zato ovo tlo ima u adsorpcijskom kompleksu više od 15% iona natrija u odnosu na ukupni kapacitet adsorpcije. Slika 16. prikazuje alkalno tlo - solonec.

Uzrok **zaslanjivanja** su podzemne vode koje su obogaćene lakotopljivim solima, one se u dijelu godine podižu do same površine, a nakon njihovog spuštanja odozgo zaostaju iscvjetanja soli (eflorescencije), slika 17. Do iscvjetavanja soli dolazi, kako navodi Fitzpatrick

(2002) kod elektroprovodljivosti tla u rasponu od 4 do 60 dS/m. Takve visoke koncentracije soli onemogućuju rast i razvoj biljaka i pogoduju erozijskim procesima. Osim na ovakav način do zaslanjivanja može doći poplavnim i slivenim vodama te vjetrom. Može se izdvojiti primarni i sekundarni salinitet. Pod primarnim se podrazumijeva izlučivanje soli na prirodan način, a sekundarni je rezultat ljudske aktivnosti. Kada je razina zaslanjene podzemne vode na dubini većoj od 5 m uglavnom izostaje utjecaj na vegetaciju. Do zaslanjivanja obično dolazi, kako navodi Fitzpatrick (2002), na nižim reljefnim formama i u mikrodepresijama kada je razina podzemne vode unutar 1,5 m dubine tla. Kapljice mora nošene vjetrom također su uzročnici zaslanjivanja tla. Kao međuprodukti trošenja stijena pojavljuju se različite soli koje također mogu biti uzrok salinizacije. Čovjek isto tako može prouzročiti zaslanjivanje navodnjavanjem nekvalitetnom vodom u kojoj su nazočne suficitne soli, kao i krčenjem prirodne vegetacije zbog podizanja razine podzemne vode obogaćene lakotopljivim solima. Nazočnost klorida i sulfata uzrokuje pH od 7,5 do 9, a ako je prisutna soda onda pH vrijednost tla može biti od 9 do 11. Ova su tla u nacionalnoj klasifikaciji tala izdvojena na razini tipa tla kao solončaci. Tla su slana ako imaju više od 0,52% soli, zaslanjena su sa 0,13 do 0,52% soli i nezaslanjena su ako imaju manje od 0,13% soli (Husnjak, 2014).

Uzrok **alkalizacije** su ioni natrija iz podzemnih voda koje su obogaćene sodom. Uslijed disocijacije sode oslobađa se veliki dio iona natrija (u reakciji s vodom tvori se NaOH) i pojavljuje se jako alkalna reakcija s pH vrijednošću tla od 8,5 do 11. Zbog visoke koncentracije iona natrija ne dolazi do disocijacije drugih soli, ponajprije kalcijevog i magnezijevog karbonata zbog čega u tlu dominiraju ioni natrija koji se vežu na koloide tla. Ako ih ima više od 15% u adsorpcijskom kompleksu tada je tlo alkalno. Na ovakav način nastaju soloneci. Alkalizirana tla imaju između 7 i 15% iona natrija, a nealkalizirana manje od 7%. Alkalna tla, osim što imaju veliku pH vrijednost, izrazito su nepovoljne strukture te imaju izuzetno malu infiltracijsku sposobnost. Natrijev ion ima veliku hidratacijsku opnu, zbog čega se tlo u vlažnim uvjetima pretvara u žitku masu, a nakon sušenja puca i dobiva bloknu i prizmatičnu strukturu. S obzirom na prisutnu veliku zbijenost kod soloneca, osobito dubljeg iluvijalnog natričnog Bt_{na} pothorizonata, korijenov sustav biljaka se ograničeno razvija i teško ga penetrira. Soloneci i solončaci ne osiguravaju povoljne uvjete za uzgoj većine poljoprivrednih kultura (veće pH vrijednosti dobro podnosi kamilica) pa ova tla zahtijevaju korekciju pH tla zakiseljavanjem.



Slika 16. Solonec (Fitzpatrick, 2002)



Slika 17. Primarna salinizacija u sjevernoj provinciji Hebei, Kina (Fitzpatrick, 2002)

Uzročnici bazične reakcije tla **prirodanim putem** su:

- Kalcit (CaCO_3) koji u reakciji s vodom (H_2O) daje kalcijev bikarbonat $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ i kalcijev hidroksid $\text{Ca}(\text{OH})_2$. pH tla kojem je uzrok nazočnost kalcijevog karbonata može biti maksimalno do 8,5.
- Soda u Na_2CO_3 reakciji s vodom daje natrijev hidroksid NaOH i natrijev bikarbonat NaHCO_3 , pH tla je iznad 8,5.
- Baze na adsorpcijskom kompleksu također se mogu osloboditi u otopinu pa će reakcija biti bazična. Oslobodeni kalcijev ion u reakciji s vodom daje kalcijev hidroksid, a natrijev ion natrijev hidroksid, pa je reakcija tla u svezi s time do pH 8,5 ili više od toga.
- Neutralne soli također mogu biti uzročnikom bazične reakcije. Ako padne njihova koncentracija u otopini iz adsorpcijskog kompleksa tla mogu se osloboditi ioni natrija i tvorit će se natrijeva lužina, a reakcija će biti jako bazična.

Uzročnici bazične reakcije na **antropogeni način** su sljedeći:

- U industriji i domaćinstvu koriste se brojne soli i hidroksidi kao što su: natrijev klorid, natrijev karbonat i bikarbonat, natrijev sulfat i hidroksid i dr. Ove soli i hidroksidi mogu dospjeti u podzemne vode i povećati njihovu bazičnost, a dakako da se onda može povećati i bazičnost tla.
- Pepeo lignita može biti uzrok bazične reakcije. Lignit koji se koristi u termoelektranama sadrži vapno, ono otopljeno u vodi daje kalcijev hidroksid, a on može biti uzrokom bazične reakcije. U pepelu se također mogu nalaziti u vodi topljive natrijeve soli koje isto tako povećavaju bazičnost.

- Iz rashladnih tornjeva instaliranih u rafinerijama, termoelektranama i nuklearnim elektranama kod kojih se koristi morska voda za rashlađivanje izlaze sitne kapljice vode koje sadrže natrijev klorid, on može povećati bazičnost.
- Korištenje omekšane vode za navodnjavanje koja sadrži veliki udio natrijevog bikarbonata i nešto manje kalcija i magnezija može također biti uzrok bazične reakcije.

Problem bazičnih tala vezan je, slično kao i kod kiselih tala, uz pristupačnost biljnih hraniva. Naime, kod povećanih pH vrijednosti zbog prisutnih iona Ca i Mg može doći do imobilizacije fosfora tvorbom primarnih, sekundarnih i tercijarnih fosfata. Pojavljuje se također i problem u ishrani biljaka mikroelementima, koji se nalaze također u nepristupačnom obliku, pri čemu je izuzetak molibden, njega biljke mogu koristiti u svojoj ishrani. Visoke koncentracije soli u tlu mogu dehidrirati biljne stanice, jer dovode do smanjenja osmotskog potencijala vode u tlu. Budući da se voda kreće s područja većeg osmotskog potencijala (manja koncentracija soli u stanicama biljaka) prema manjem osmotskom potencijalu (veća koncentracija soli u tlu) biljke nisu u mogućnosti primati vodu iz tla. Učinak na biljke je isti kao i kod stresa zbog suše, što se nepovoljno odražava na njihov rast i razvoj, a može uzrokovati i venuće. Kada vrijednost elektroprovodljivosti dosegne 4dS/m dolazi do smanjenja prinosa većine poljoprivrednih kultura. Šećerna repa je relativno tolerantna na povećanu zaslanjenost, ona tolerira elektroprovodljivost između 4 i 8 dS/m. Većina biljaka ne može uspješno rasti i razvijati se kod elektroprovodljivosti iznad 16 dS/m.

Kod akutno slanih i akutno alkalnih tala (solončak, solonec) koji imaju prisutnu podzemnu vodu problem se rješava izgradnjom kanalske mreže i drenaže, lakotopljive soli ispiru se povećanim obrocima navodnjavanja i tlo se zakiseljava. Alkalna reakcija tla može se regulirati unošenjem pirita, gipsa i aluminijskog fosfata u tlo. Gips je izvor kalcijevih iona, oni mogu zamijeniti ione natrija na adsorpcijskom kompleksu tla. Gips reagira s natrijevim karbonatom, rezultat čega je natrijev sulfat koji je neutralna sol i ne utječe na promjenu reakcije. Za smanjenje viška sode u tlu mogu se upotrijebiti različite kiseline kao što su: HCl, H₂SO₄ i dr. Tla kod kojih je uzročnik bazične reakcije CaCO₃ mogu se popraviti unošenjem kiselih organskih i anorganskih materijala, a preporuča se i duboka obrada. U svrhu smanjenja bazičnosti tla mogu se koristiti fiziološki kisela gnojiva poput UREE (Abrol i sur., 2012). Upotreba malča dolazi u obzir kod izdanjske salinizacije, odnosno kod podzemnih voda obogaćenih lakotopljivim solima, a također se može preporučiti i obrada tla nakon žetve ili berbe čime se prekida ascedentno kretanje podzemne vode u kapilarnim porama tla.

7. Štetne tvari u tlu

Štetne (onečišćujuće) tvari u tlu su one čija koncentracija djeluje nepovoljno na njegovu osnovnu ulogu u proizvodnji hrane s mogućim posljedicama na zdravlje životinja i ljudi. U ove tvari ubrajaju se teški metali, organske onečišćujuće tvari (industrijske kemikalije, pesticidi, produkti izgaranja i industrijskih procesa) radionukleidi i patogeni organizmi. Najčešći **teški metali** koji onečišćuju tlo i okoliš su Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn. Osim navedenih teških metala u tlu i općenito u okolišu, problem mogu predstavljati i drugi elementi. Tako su na primjer Fe, Mo i Mn bitni mikroelementi čija toksičnost nije jače izražena. Zn, Ni, Cu, V, Co i Cr su toksični elementi (Zn, Cu i Ni pripadaju u mikroelemente), a As, Cd, Hg i Pb nemaju biološku funkciju i toksični su za organizme. Fiziološka uloga teških metala za čovjeka, ljude i životinje, kako navodi Jug (2016), nije dovoljno poznata. Svi imaju tendenciju neograničenog nakupljanja u organizmu i biljnom tkivu, što je osobito opasno pri uzgoju povrća na onečišćenim tlima. Iz izloženoga je razvidno, da neki teški metali pripadaju skupini biogenih elemenata, drugi nemaju nikakvu fiziološku ulogu, dok je jedan dio samo toksičan i stoga nepoželjan u živim organizmima. Učinkoviti način rješavanja problema teških metala u tlu je provođenje kalcifikacije ili kombinirane organske i mineralne gnojidbe s kalcifikacijom, a u posljednje vrijeme preporuča se i fitoremedijacija („izvlačenje“ teških metala iz tla pomoću biljaka koje imaju osobiti afinitet prema pojedinim teškim metalima).

Policiklički aromatski ugljikovodici (PAH) su spojevi koji se sastoje od četiri i više prstenova benzena (fenantren, piren, krizen, fluorantren, perilen, benzo-a-piren, benzo-e-piren), a po svojoj kemijskoj građi pripadaju u trajne organske onečišćujuće tvari. Ovi spojevi su kancerogeni i mutageni, a u tlo i okoliš dolaze različitim antropogenim emisijama. Druga skupina toksičnih aromatskih spojeva dobivenih kloriranjem bifenila (aromatski ugljikovodici koje karakterizira otpornost na toplinu) su postojeće organske onečišćujuće tvari (POP). Koriste se u organskim sintezama, u proizvodnji boja, kao konzervansi i kao pesticidi (insekticidi). Ovi spojevi imaju kancerogeno djelovanje, djeluju na reproduksijske funkcije i na imunološki sustav kod životinja. Republika Hrvatska potpisnica je Konvencije iz Štokholma 2001. godine kojom se obvezala da do 2025. godine ukloni iz upotrebe sve proizvode koji sadrže **poliklorirane bifenile** (PCB). Veliki dio ovih spojeva koji se koriste kao insekticidi (aldrin, klordan, DDT, dieldrin i drugi) već su zabranjeni.

8. Provjerite svoje znanje

1. Nabrojite ključne degradacijske procese u tlu, što je erozija tla vodom i vjetrom, kako se dijeli erozija tla vodom?
2. Na kojim načelima se temelji prognostička metoda utvrđivanje erozije tla vodom prema USLE jednadžbi, protumačite način izračuna količine erodiranog nanosa tla?
3. Kroz koje stadije se odvija erozija tla vjetrom i protumači ih?
4. Preporučite mjere uređenja tala oštećenih erozijom vodom i vjetrom.
5. Protumačite pojam dezertifikacija i kako je ublažiti?
6. Koje su posljedice antropogenog zbijanja tla i preporučite mjere konzervacije?
7. Na koji način dolazi do smanjenja sadržaja organske tvari u tlu i koje su posljedice, što je biodiverzitet i zbog čega dolazi do njegovog smanjenja?
8. Na koji način dolazi do zakiseljavanja tla i koje su štetne posljedice?
9. Na koji način dolazi do zaslanjivanja i alkalizacije, preporučite mjere sanacije tla?
10. Što su štetne (toksične) tvari u tlu, nabrojite važnije te kako djeluju na žive organizme?

9. LITERATURA

- Abrol, I.P., Yadav, J.S.P. Massoud, F.I. (2012): "Salt-Affected Soils and their Management, refer para 4.7". Retrieved 23 D J.S.P. december 2012.
- Chepil, W.S., Woodruff, N.P. (1963): The physics of wind erosion and its control. Adv. Argon., 15(1963), p.p 210-302.
- Fitzpatrick, R.W. (2002): Land Degradation Processes. ACIR Monograph No 84, 119-129.
- Husnjak, S. (2010): Pedologija. Interna skripta, Zavod za pedologiju, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 142 str.
- Husnjak, S. (2014): Sistematika tala Hrvatske. Udžbenik, Sveučilište u Zagrebu, 373 str.
- Jug, I. (2016): Štetne tvari u tlu. Prezentacija iz modula Osnove agroekologije, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, 10 str.
- Kisić, I. (2014): Uvod u ekološku poljoprivredu. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, 340 str.
- Kisić, I., Bašić, F., Butorac, A., Mesić, M., Nestroy, O., Sabolić, M. (2005): Erozija tla vodom pri različitim načinima obrade. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Kisić, I. (2016): Antropogena erozija tla. Udžbenik Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 274 str.
- Lyckacz, J., Penny, D. (2001): Soil Ogranic Matter. Alberta.ca, 8 pages. (www1.agric.gov.ab.ca/departments/deptdocs.nsf/all/agdex890).
- Lyless, L., Hagen, L.J., Skidmore, E.L. (1983): Soil conservation: Principles of Erosion by Wind. Dryland Agriculture – Agronomy Monograph no. 23. Madison, p.p. 177-188.
- Mesić, M. Husnjak, S., Bašić, F., Kisić, I., Gašpar, I. (2009): Suvišna kiselost tla kao negativni čimbenik razvitka poljoprivrede u Hrvatskoj. Plenarno izlaganje, 44. hrvatski i 4. međunarodni skup agronoma, Opatija.
- Racz, Z. (1993): Šira problematika erozije tla u svijetu i kod nas. Savjetovanje poljoprivrednih stručnjaka Slovenije, Kmetijski zavod, Maribor.
- Singh, P.K. (2004): Biodiversity and biological degradation of soil. Indian Journal of Agricultural Sciences, 9(1): 26-33.
- Skidmore, E. L., Fisher, P.S., Woodruff, N.P. (1970): Wind erosion equation: Computer solution and application. Soil Sci. SOC. Am. Proc. 34:931-935.
- Špoljar, A., Stojnović, M., Kamenjak, D., Dadaček N., Andreata Koren M. (2001): Influence of Vetch and Oat Growth in Crop Rotation on Soil Properties. Agriculture Conspectus Scientificus, Vol. 66., 127 – 137 str., Zagreb.
- Špoljar, A. (2008): Utjecaj gnojidbe na fizikalno-kemijske značajke tla. Disertacija, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 148 str.
- Van Der Knijf, J.M., Montanarella, L. (2000): Soil Erosion Risk Assessment in Europe, EUR 19044 Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Wischmeir, W.H., Johnson, C.B., Cross, B.V. (1971): A soil erodibility nomograph and constructions sites. Journal of Soil and Water Conservation, 26/5: 189-194.
- Woodruff, N. P., Siddoway F. H. (1965): A wind erosion equation. Soil Sci. SOC. Am. Proc. 29: 502-608.
- *** Soil Erosion. Physics, Agri-science Resources for High School Sciences (November 2016).
- *** [http:// www.geografija.hr](http://www.geografija.hr)
- *** [http:// www.pfos.hr](http://www.pfos.hr)