



Agencija za
strukovno obrazovanje
i obrazovanje odraslih



DEGRADACIJA TLA

Monika Zovko



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.

Autorica:

Monika Zovko

Sektor:

Poljoprivreda, prehrana i veterina

Naziv standarda kvalifikacije:

Agromeliorator / Agromelioratorica

Razina HKO: 4.2

Modul:

Degradacija i sanacija tla

Skup ishoda učenja:

Degradacija tla

Razina SIU: 4

Ishodi učenja:

1. obrazložiti pojam, uzroke i posljedice degradacije tla,
2. analizirati degradaciju kemijskih svojstava tala kao posljedicu djelovanja prirodnih čimbenika i djelovanja čovjeka,
3. identificirati izvore antropogenog onečišćenja tla,
4. analizirati degradaciju fizikalnih svojstava tla: zbijenost, uništavanje strukture, smanjivanje poroznosti, raspršivanje čestica tla, pokorica, dezertifikacija,
5. obrazložiti uzroke biološke degradacije tla: smanjenje organske tvari u tlu, smanjenje biološke raznolikosti,
6. istražiti mjere za sprječavanje degradacije tala,
7. primijeniti važeću zakonsku regulativu i smjernice na nacionalnoj i europskoj razini u području degradacije i onečišćenja tla.

Ključni pojmovi:

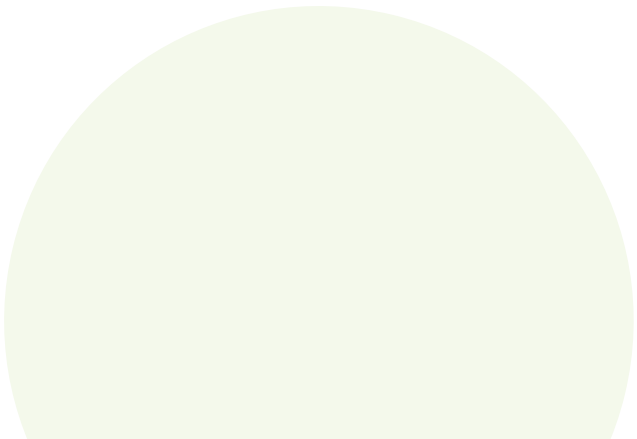
klimatske promjene, daljinska istraživanja, otpornost

CSVET: 2

Datum izrade DOM-a: 20. srpnja 2023.

Napomena:

Riječi i pojmovni sklopovi koji imaju rodno značenje korišteni u ovom dokumentu (uključujući nazive strukovnih kvalifikacija, zvanja i zanimanja) odnose se jednako na oba roda (muški i ženski) i na oba broja (jedinu i množinu), bez obzira na to jesu li korišteni u muškom ili ženskom rodu, odnosno u jedini ili množini.





Agencija za
strukovno obrazovanje
i obrazovanje odraslih

DEGRADACIJA TLA

Monika Zovko



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.

SADRŽAJ

UVOD	5
1. DEGRADACIJA TLA	6
EROZIJA TLA VODOM I VJETROM	6
ANTROPOGENO ZBIJANJE TLA	8
DEZERTIFIKACIJA	9
ZAKISELJAVANJE TLA	10
ZASLANJIVANJE I ALKALIZACIJA TLA	12
2. SUSTAV PRAĆENJA TLA I ZEMLJIŠTA	14
ZAKLJUČAK	16

UVOD

Jeste li znali da je i tlo dobilo svoj dan? Na prijedlog Međunarodnog saveza za tloznanstvo (IUSS), još je 2002. godine Međunarodnim danom tla proglašen 5. prosinca. Uistinu možemo reći da je tlo jedno od najznačajnijih prirodnih resursa. Ono je izvanredno važan i dragocjen resurs koji često uzimamo zdravo za gotovo. Na prvi pogled, možda nam se čini samo kao nešto “prljavo” ili površinski sloj na kojem hodamo. Međutim, tlo je živo i složeno biološko okruženje koje podržava sveukupan život na Zemlji. Tlo igra ključnu ulogu u održavanju ravnoteže ekosustava i pružanju potpore biljkama i životinjama koje nas okružuju. Bez plodnog tla, ne bi bilo moguće uzgajati hranu. Poljoprivreda, na kojoj počiva naša prehrana, ovisi o plodnosti tla i njegovoj sposobnosti da pruži hranjive tvari biljkama. Osim toga, tlo djeluje kao ključni regulator vodnog ciklusa. Ono upija i zadržava vodu, pružajući nam pitku vodu i sprečavajući poplave. Tlo također služi kao filter, pročišćavajući vodu koja prolazi kroz njega. Tlo je dom raznolikom životinjskom svijetu, uključujući bezbroj mikroorganizama i beskralježnjaka koji obavljaju vitalne funkcije u razgradnji organske tvari i recikliranju hranjivih tvari. Nažalost, tlo nije neiscrpno. Ljudske aktivnosti, poput neodgovarajućih poljoprivrednih praksi, urbanizacije i zagađenja, dovode do degradacije tla. Gubitak plodnosti tla i erozija mogu dovesti do ozbiljnih ekoloških problema i ugroziti buduće generacije. Kontinuirana degradacija tla u idućih 25 godina mogla bi smanjiti globalnu proizvodnju hrane. Istovremeno, očekuje se da će rast populacije, rastući prihodi i promjene u obrascima potrošnje značajno povećati potražnju za hranom. Velika područja svih kontinenata suočavaju se s problemima degradacije tla, primjerice SAD, mediteranska regija Južne Europe i Sjeverne Afrike te cijela Azija.

Nakon usvajanja obrazovnih sadržaja ove lekcije moći ćete:

- obrazložiti pojam, uzroke i posljedice degradacije tla,
- analizirati degradaciju kemijskih svojstava tala kao posljedicu djelovanja prirodnih čimbenika i djelovanja čovjeka, te identificirati izvore antropogenog onečišćenja tla,
- analizirati degradaciju fizikalnih svojstava tla (zbijenost, uništavanje strukture, smanjivanje poroznosti, raspršivanje čestica tla, pokorica, dezertifikacija) i obrazložiti uzroke biološke degradacije tla
- istražiti mjere za sprječavanje degradacije tala te primijeniti važeću zakonsku regulativu i smjernice na nacionalnoj i europskoj razini u području degradacije i onečišćenja tla.

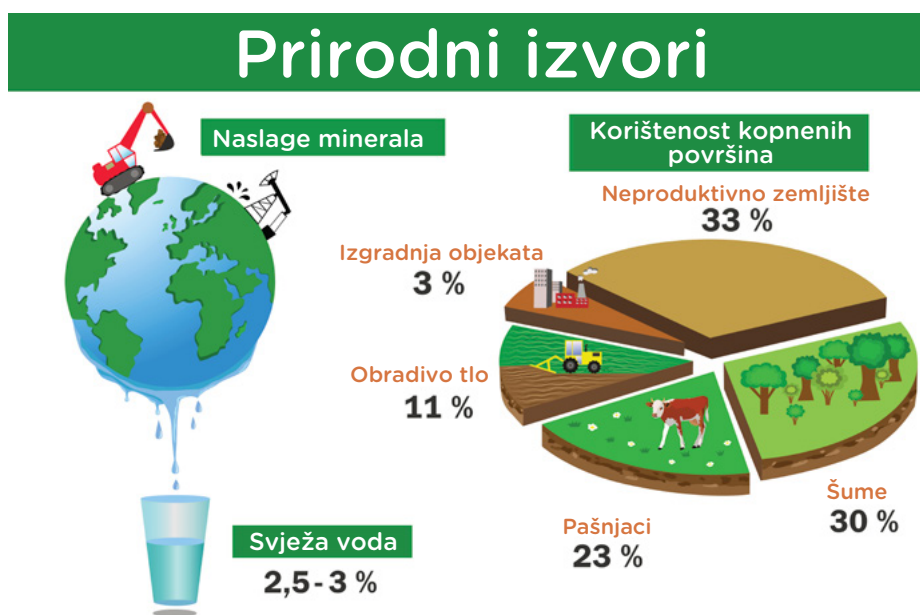
1. DEGRADACIJA TLA

Pitanje:

Razmislite o svojim aktivnostima tijekom prošlog tjedna. Navedite što više situacija u kojima ste došli u izravan ili neizravan kontakt s tlom.

Čovječanstvo je kroz tisućljeća naporno radilo kako bi tla pod prirodnom vegetacijom privedo kulturi i udovoljilo osnovnim ljudskim potrebama, a dosad je kultivirano više od polovice svjetskih tala. Međutim, sve veći dio tih tala zauzima se izgradnjom prometnica, stambenih i industrijskih zona, kao i razvojem rekreacijskih područja. Degradacija tla znači bilo kakvo smanjenje bioraznolikosti i funkcionalnosti ekosustava koji negativno utječe na pružanje ekosustavnih usluga. Pravna definicija "degradacije zemljišta" uključena je u članak Konvencije Ujedinjenih naroda o suzbijanju dezertifikacije u zemljama pogođenim jakim sušama, prema kojoj je **degradacija tla smanjenje ili gubitak biološke i ekonomske produktivnosti tla**, poput pašnjaka, šuma i obradivih zemljišta. To smanjenje može biti rezultat različitih procesa, uključujući one uzrokovane ljudskim aktivnostima. Ti procesi mogu uključivati eroziju tla koju izazivaju vjetar i voda, pogoršanje fizikalnih, kemijskih, bioloških ili ekonomskih svojstava tla i dugoročni gubitak prirodne vegetacije. Sve to često se događa zbog načina na koji ljudi koriste ta zemljišta.

Ključni degradacijski procesi u tlu uključuju: eroziju tla vodom i vjetrom, antropogeno zbijanje, dezertifikaciju, smanjenje sadržaja organske tvari i bioraznolikosti tla, zakiseljavanje, zaslaničavanje, alkalizaciju te prisutnost štetnih (toksičnih) tvari u tlu.



Slika 1. Prirodni resursi

Erozija tla vodom i vjetrom

Erozija je proces u kojem se tlo pretvara u male čestice, poznate kao **sediment**. Kad se erozija dogodi prirodno, bez ljudskog utjecaja, to se naziva geološka erozija. To je prirodni proces koji oblikuje pejzaž oko nas. Taj proces postupno erodira brda i planine, a sitne erodirane čestice

talože se u dolinama, jezerima i uvalama. Mnogi oblici zemlje koje vidimo svakodnevno, poput kanjona, brda, dolina, delti, ravnica i obronaka, rezultat su tog procesa. **Geološka erozija** obično se događa dovoljno sporo da se novo tlo može formirati brže nego što se staro tlo gubi.

Kad govorimo o eroziji kao procesu koji uzrokuje degradaciju tla, mislimo na kretanje čestica tla pod utjecajem vode ili vjetra, i za razliku od geološke erozije, događa se vrlo brzo. Erozija tla vodom i vjetrom uzrokuje gubitak tla i hranjivih tvari, što može dovesti do smanjenja plodnosti tla i poteškoća u uzgoju biljaka. Kolvijalni proces je oblik erozije tla u kojem se materijal, poput kamenja, pijeska ili drugih čestica, odnosi s nagnutih terena i taloži na dnu padine. Kolvijalni materijal može biti vrlo važan za razumijevanje geološke povijesti i procesa koji su oblikovali krajobraz. Također, to taloženje može imati posljedice na okoliš i poljoprivredu, osobito u područjima s intenzivnim nagibom terena. Erozija ovisi o mnogo stvari, poput nagiba terena, količine i intenziteta oborina, pokrivenosti terena vegetacijom, brzini i učestalosti vjetra te o samim karakteristikama tla, poput sposobnosti upijanja vode, strukture tla i slično.

Erozija tla vodom događa se kad se tlo obrađuje, kad se šume sijeku ili uslijed nepravilne ispaše na nagnutim terenima, osobito u vlažnim do semiaridnim područjima. Erozija tla vjetrom (eolska erozija) događa se uglavnom u semiaridnim do aridnim područjima, kada se tlo, vegetacija ili biološki slojevi tla poremete zbog obrade, nepravilne ispaše ili prometa.

Erozija vjetrom (eolska) događa se kad jaki vjetrovi pušu preko područja s relativno suhim površinskim slojevima tla. Svi tipovi tla i čestice tla podložni su eolskoj eroziji, ali ilovasta i sitno pjeskovita tla općenito su najpodložnija odnošenju vjetrom. Sitnije čestice tla mogu biti nošene do velikih visina i na udaljenosti od više tisuća kilometara. Prisjetite se vjetrova koje u Hrvatsku donose crveni pijesak iz Sahare. Eolska erozija česta je na tlima bez vegetacije. Naime, vegetacija povećava neravnine u prostoru i sprečava eroziju vjetrom. Najčešće se događa na nagnutim terenima koja se obrađuju. Međutim, neke metode obrade tla mogu ostaviti tlo u stanju manje izloženom eroziji, poput različitih oblika konzervacijske obrade tla. Erozija koja se javlja kao posljedica navodnjavanja naziva se "irigacijska erozija". Površinsko odnošenje čestica tla i njihovo taloženje na drugim mjestima može izazvati niz problema. Fizičke posljedice uključuju gubitak oraničnog horizonta, a taloženje erodiranog materijala na drugim mjestima, poput kanala i rijeka, može narušiti njihove hidrauličke značajke. Osim toga, može doći i do kemijskog onečišćenja.



Slika 2. Erozija tla obradom

Antropogeno zbijanje tla

Zbijanje tla koje uzrokuju ljudske aktivnosti, poput intenzivne poljoprivrede ili građevinskih radnji, poznato je kao antropogeno zbijanje tla. Te radnje mogu dovesti do stvaranja nepropusnih slojeva u tlu i smanjiti njegovu sposobnost prozračivanja. Primjerice, prolazak teških strojeva i vozila, kao što su traktori s kotačima ili gusjenicama, može imati značajan utjecaj na tlo. Taj utjecaj ovisi o tlaku u gumama, masi vozila i opterećenju na kotačima. Važno je napomenuti da različita tla reagiraju različito na zbijanje. Kad je tlo previše vlažno, negativni efekti obrade tla posebno su izraženi.

Zbijanje tla može uzrokovati promjene u fizikalnim, kemijskim i biološkim svojstvima tla. Fizikalne promjene uključuju smanjenje poroznosti tla, što može ograničiti protok zraka i vode, otežati rast korijena biljaka i smanjiti sposobnost tla da apsorbira vodu. Kemijske promjene mogu utjecati na dostupnost hranjivih tvari za biljke, a biološke promjene mogu narušiti životni prostor za mikroorganizme i korisne organizme u tlu. Korištenje odgovarajućih metoda i tehnika može pomoći u minimiziranju negativnih učinaka na tlo, očuvanju plodnosti i osiguranju održive poljoprivredne proizvodnje.

Prema stručnoj definiciji, tlo se smatra zbijenim kada je ukupna poroznost – posebno velikih zračnih pora – smanjena do razine na kojoj je onemogućeno prozračivanje tla i/ili širenje korijena te drenaža. To može dovesti do nekoliko problema: tlo postaje teže, voda se teže infiltrira kroz tlo i filtrira, drenaža je manje učinkovita, korijenje biljaka ne može rasti toliko duboko i intenzivnija je pojava bolesti. Da bismo znali koliko je tlo zbijeno, možemo koristiti posebne alate zvane **penetrometri**. Oni mjere otpor tla kad se u njega utiskuju, pokazujući nam koliko je ono zbijeno. Postoje dvije glavne vrste penetrometra: sondni konusni penetrometri (Slika 2.) i džepni (klipni) penetrometri. Osim toga, danas postoje i napredniji penetrometri koji dolaze sa sustavima za globalno pozicioniranje.



Slika 3. Penetrometar za mjerenje zbijenosti tla.

Dezertifikacija

Prema Konvenciji Ujedinjenih naroda o suzbijanju dezertifikacije u zemljama pogođenim jakim sušama, **dezertifikacija** znači degradaciju zemljišta u aridnim, semiaridnim i suhim subhumidnim područjima, a događa se kao posljedica različitih činitelja, uključujući promjene klime i ljudske aktivnosti. To je oblik degradacije tla, pri čemu relativno aridno kopneno područje postaje sve aridnije, obično dovodeći do uvjeta nalik onima u pustinji. Proces obično uključuje gubitak biološke ili ekonomske produktivnosti na poljoprivrednim površinama, pašnjacima i šumama.

Dezertifikaciju uzrokuje niz čimbenika, prirodnih i onih izazvanih ljudskom aktivnošću. Ona može biti posljedica raznih fenomena, uključujući klimatske promjene, krčenje šuma, prekomjernu ispašu, neodržive prakse navodnjavanja, ali i različite sociološke aspekte u društvu i povećanje svjetske populacije. **Klimatske promjene**, osobito u obrascima padalina i temperaturi, mogu povećati stopu dezertifikacije. Manje oborina i više temperature mogu dovesti do povećane isparavanja i, stoga, sušenja tla. **Stabla** igraju ključnu ulogu u održavanju plodnosti tla kroz proces kruženja hranjivih tvari. Osim toga, krošnje stabala omogaćavaju tlu hlad, što smanjuje isparavanje vode iz tla. Kada se drveće posiječe, tlo postaje izloženije sunčevom zračenju, što dovodi do sušenja. Uz to, korijenje drveća djeluje kao veza koja čuva strukturu tla. Bez njih, tlo je podložnije eroziji, bilo da je uzrokovana kišom ili vjetrom. Ti procesi zajedno mogu dovesti do dezertifikacije, tj. prelaska plodnog tla u "pustinske" uvjete. Stoga je krčenje šuma prepoznato kao važan čimbenik koji doprinosi procesu dezertifikacije.

Prekomjernom ispašom, životinje konzumiraju vegetaciju brže nego što se može obnoviti, što dovodi do erozije tla. Neodržive poljoprivredne prakse poput monokulture, izostanak plodoreda i ugara mogu iscrpiti tlo od hranjivih tvari, što dovodi do degradacije i potencijalno dezertifikacije.

Posljedice dezertifikacije ozbiljne su i uključuju smanjenu produktivnost zemljišta, gubitak bioraznolikosti, promjenu ekosustava, nižu kvalitetu vode, povećanu eroziju tla, pa čak i socioekonomske probleme kao što su povećanje siromaštva i masovna migracija populacija. Važno je napomenuti da se, iako se dezertifikacija često povezuje s pustinskim područjima, ona može pojaviti bilo gdje, gdje uvjeti to dopuštaju.

Suzbijanje dezertifikacije uključuje aktivnosti za održivi razvoj koje su dio sveukupnog razvoja zemljišta u aridnim, semiaridnim i suhim subhumidnim područjima, a kojima je cilj:

- sprečavanje i/ili ublažavanje degradacije zemljišta,
- obnavljanje djelomično degradiranog zemljišta i
- melioracije zemljišta zahvaćenih dezertifikacijom.

Osim toga, obnova degradiranih zemljišta programima pošumljavanja i upotrebom autohtonih biljnih vrsta može pomoći ublažavanju posljedica dezertifikacije. Predviđanja u pogledu klimatskih promjena u Europi upućuju na sve veći rizik od dezertifikacije.

Smanjenje sadržaja organske tvari i bioraznolikost

Smanjenje sadržaja organske tvari i bioraznolikosti tla uzrokuje osiromašenje tla i gubitak sposobnosti da podrži raznolike biljne i životinjske vrste. Organska tvar (OT) je organska frakcija tla nastala razgradnjom biljnih i životinjskih ostataka te mikroorganizama. Ta heterogena dinamična tvar varira u veličini čestica, sadržaju ugljika, stupnju razgradnje i trajanju kruženja. Pod organskom tvari smatramo sve biljne i životinjske ostatke u ili na površini tla koji sadrže organski ugljik. Organski ugljik (OC) je ugljik pohranjen u OT-u, koji u tlo ulazi razgradnjom biljnih i životinjskih ostataka, izlučevinama korijenja, mikroorganizmima te biotom tla. Faktor pretvorbe OT u OC iznosi 1,72 prema formuli:

$$OC(g\ kg^{-1}) = \frac{OT(\%) \times 10}{1,72}$$

Promjene u korištenju zemljišta mogu utjecati na količinu organskog ugljika u tlu. Primjerice, pretvaranje šuma i pašnjaka u poljoprivredno zemljište može smanjiti količinu organske tvari u tlu, što dovodi do smanjenja plodnosti tla.

Tri su glavna procesa koji utječu na organski ugljik u tlu: humifikacija, razgradnja i mineralizacija. **Humifikacija** je proces pretvaranja velikih molekula organske tvari u manje. **Razgradnja** predstavlja gubitak određenih komponenti organskog ugljika, dok **mineralizacija** pretvara organski ugljik u ugljikov dioksid. Prekomjerna obrada tla može dovesti do smanjenja organske tvari jer se povećava količina kisika u tlu, što potiče razgradnju. Povećanje temperature i vlage u tlu također potiče mineralizaciju, što dodatno smanjuje količinu organske tvari. Kako bi se održala plodnost tla, važno je osigurati ravnotežu između količine organske tvari koja se dodaje u tlo i stope njezine razgradnje. Različite mjere upravljanja, poput gnojidbe organskim gnojivima, uzgoja krmnih kultura u rotaciji s žitaricama i uljaricama, uvođenja travnih zajednica u plodored, ili uzgoja mahunarki, mogu pomoći u održavanju te ravnoteže. Međutim, mnoge ljudske aktivnosti mogu tu ravnotežu i narušiti. Pretvaranje travnjaka, šuma i prirodne vegetacije u obradivo zemljište, duboko oranje tla koje dovodi do brze mineralizacije organske tvari, posebno humusa, prekomjerna ispaša, erozija tla i šumski požari – sve su to faktori koji mogu doprinijeti smanjenju organske tvari u tlu.

Stalan pad biološke raznolikosti predstavlja veliki izazov za 21. stoljeće. Globalno, postoji politički konsenzus da usporimo ili zaustavimo taj pad. Međutim, taj je izazov složen, djelomično i zbog nedostatka znanja o trenutnom stanju i distribuciji biološke raznolikosti. Gubitak biološke raznolikosti i klimatska kriza međusobno su ovisni: ako se jedno pogoršava, pogoršava se i drugo. Strategija EU-a za biološku raznolikost do 2030. godine, u sklopu Europskog zelenog plana, uključuje obnovu degradiranih kopnenih i morskih ekosustava diljem Europe, povećavajući značajke krajolika bogate biološkom raznolikošću na poljoprivrednom zemljištu. S tom namjerom, postavljen je obvezujući cilj smanjiti upotrebu i štetnost pesticida za 50 % do 2030. godine.

Tlo je jedan od najkompleksnijih ekosustava. Samo je po sebi stanište i dom je nevjerojatnoj raznolikosti organizama koji reguliraju i kontroliraju važne usluge ekosustava kao što su plodnost tla, kruženje hranjivih tvari i regulacija klime. Tematska strategija za zaštitu tla (COM (2006) 231) i misija “Zdravlje tla i hrana” u okviru programa Horizon Europe bave se pitanjima biološke raznolikosti tla i onečišćenja kako bi ispunili obveze EU-a i međunarodnih obveza u pogledu neutralnosti degradacije zemljišta. Invazivne vrste također mogu utjecati na smanjenje bioraznolikosti tla. Jedan je takav primjer novozelandski plosnati crv, grabežljivac koji može drastično smanjiti populaciju glista, što zauzvrat utječe na produktivnost tla.

Zakiseljavanje tla

Stalne promjene pH u tlu posljedica su ravnoteže kationa/aniona, izlučivanja organskih kiselina, disanja korijena i oksido-redukcijskih reakcija. Svaka promjena pH mijenja adsorpcijski kapacitet minerala i organskih koloida. Kod niskog pH prevladava pozitivni naboj. Kisela tla predstavljaju 30 do 40 % svjetskih obradivih površina. U Hrvatskoj kisela tla (pH u H₂O < 5) najviše su zastupljena na području Panonske i Gorske Hrvatske. Proces zakiseljavanja tla potaknuti djelovanjem čovjeka najčešće su posljedica neadekvatne gnojidbe dušičnim gnojivima i kiselih kiša.

Osnovni **oblici dušika u tlu** su amonijski (NH₄⁺), nitratni (NO₃⁻) i organske tvari. Većina

dušika u tlu nalazi se vezana u organskoj tvari, koju mikrobi u tlu sporo razgrađuju do NH_4^+ . Proces mikrobiološke transformacije NH_4^+ u NO_3^- znatno je brži, a oba su oblika izravno pristupačna biljkama. Biljke mogu primiti i male količine plinovitog NH_3 i topljivih organskih spojeva s dušikom kao što su urea i aminokiseline. Dušik vezan u drugim organskim spojevima može postati pristupačan tek nakon njihove razgradnje. Dva su amonijska oblika N: amonijev ion (NH_4^+) i plinoviti amonijak (NH_3). Gnojidba dušikom u obliku amonijaka može značajno smanjiti pH tla

Nitrifikacija je aerobni proces (odvija se uz prisutnost kisika) kojim bakterije u tlu pretvaraju NH_4^+ u NO_3^- , pri čemu se oslobađaju H^+ ioni. Zakiseljavanje je osobito intenzivno ako se stvori više NO_3^- nego što biljke mogu apsorbirati i ako se većina kationa koje biljke apsorbiraju ukloni žetvom/berbom. Kao rezultat smanjenja pH, smanjuje se i kapacitet zamjene kationa. I primjena organskih gnojiva (stajska gnojiva, različiti komposti) također mogu sniziti pH tla, bilo oksidacijom amonijaka ili organskim i anorganskim kiselinama koji se formiraju tijekom razgradnje organskih gnojiva. Protoni H^+ se u otopinu tla mogu oslobađati i transformacijom ugljičnih i sumpornih spojeva.

Kisele kiše odnose se na oblik oborina s neuobičajeno niskim vrijednostima pH te mogu imati štetne učinke na biljke, vodene životinje i infrastrukturu. Kisele kiše uzrokuju emisije sumporovog dioksida i dušikovog oksida, koje reagiraju s molekulama vode u atmosferi stvarajući kiseline. Ti spojevi uglavnom dolaze iz ljudskih aktivnosti, poput sagorijevanja fosilnih goriva u elektranama i vozilima. Uobičajena, "čista" kiša ima pH vrijednost od oko 5,6. To je blago kiselo jer ugljični dioksid i voda u zraku reagiraju stvarajući ugljičnu kiselinu, koja je slaba kiselina. Međutim, kisele kiše mogu imati pH oko 4,0 do 4,5, a u ekstremnim slučajevima i niži od 3,0. Kad pada kisela kiša, ona može promijeniti kiselost okoliša, uključujući vode i tlo.



Slika 4. Posljedice kiselih kiša

Zakiseljavanje tla smanjuje pH tla, sa štetnim posljedicama na biljke i mikroorganizme u tlu. U kiselim tlima biljkama je ograničena pristupačnost većine hraniva, i to u prvom redu fosfora, a zatim i kalcija, magnezija i kalija. S druge strane, javlja se toksičnost aluminija, mangana i željeza. Aluminij se prirodno nalazi u tlu, uglavnom kao dio minerala kao što su aluminosilikati. U neutralnim ili bazičnim (alkalnim) uvjetima, aluminij je uglavnom netopiv i neaktivno vezan u mineralima tla. Međutim, kako pH tla opada (tlo postaje kiselije), aluminijevi se ioni oslobađaju iz tih minerala i postaju topljivi. Topljivi aluminij može biti toksičan za biljke jer se može apsorbirati kroz korijenje i inhibirati rast korijena, smanjiti apsorpciju vode i hranjivih tvari te oštetiti stanične strukture. U krajnjem slučaju, toksičnost aluminija može dovesti do smanjenja plodnosti tla. To je jedan od razloga zašto se kiselila tla često kalcificiraju (dodavanje vapna), kako bi se neutralizirala kiselost i smanjila toksičnost aluminija. Općenito, pH je glavni faktor topivosti elemenata u tlu. Topivost Mn i Zn izrazito je ovisna o reakciji tla. Što je pH niži, Mn i Zn su u većoj kompeticiji s H^+ i Al^{3+} ionima za mjesta na adsorpcijskom kompleksu tla te je veća topivost Mn i Zn i veći udio lako pristupačnih slobodnih iona u otopini tla.

Ta situacija, s jedne strane, uzrokuje smanjenu dostupnost hranjivih tvari, a s druge dovodi do povećane topivosti metala. Zbog toga je veća biopristupačnost metala, od kojih su neki toksični za biljke. To može ograničiti rast i značajno smanjiti prinose poljoprivrednih kultura koje su osjetljive / netolerantne na takve uvjete u tlu.

Zaslanjivanje i alkalizacija tla

U izvješću Svjetske banke iz 2014. godine ističe se da je **zaslanjivanje** jedan od najvažnijih oblika degradacije tla u svijetu, s osobito negativnim učincima na produktivnost tla. To je posebno važno za poljoprivredu, koja se bavi proizvodnjom hrane. U aridnim i semiaridnim područjima zaslanjivanje često dovodi do povećanja saliniteta površinskih i podzemnih voda, što može uzrokovati znatne štete poljoprivrednoj proizvodnji.

Razlozi za zaslanjivanje mogu biti prirodni, ali i antropogeni.

Prirodni uzroci uključuju geološke procese, dok **antropogeni uzroci** uključuju isušivanje močvara, intenzivno navodnjavanje poljoprivrednih površina i neodrživo upravljanje vodama. Tlo je najintenzivnije zaslanjeno u aridnim i semiaridnim klimatskim zonama te obalnim područjima svih klimatskih zona. Procjenjuje se da zaslanjene površine tla na svjetskoj razini, posebno u obalnim područjima, obuhvaćaju oko 230 milijuna hektara. Najveće takve površine mogu se pronaći na obali Središnje Azije i Sjeverne Afrike, uključujući Crno more, Kaspijsko jezero i Mediteranski bazen; obali Australije i Tasmanije; obali Istočne i Jugoistočne Azije te obali Meksičkog zaljeva. Ostatak takvih površina uglavnom se nalazi u estuarijima velikih rijeka. Izvještaj Europske komisije iz 2009. godine navodi da je oko 3,8 milijuna hektara tla u Europskoj uniji ugroženo zaslanjivanjem, s najvećim dijelom tog tla u Mediteranskom bazenu. U obalnim područjima, morska voda prodire ispod kopna u obliku klina, koji je najširi na samom dnu vodonosnika. Kada more prodire u ušća rijeka, dolazi do zaslanjivanja ne samo površinskih voda i podzemnih voda, već i tla. Općenito, prodor morske vode ovisi o intenzitetu plime, propusnosti vodonosnika i dotoku slatke vode s kopna. Na istočnoj obali Jadranskog mora, u području malih plima, prodor mora može ići do 25 km uzvodno. Značajniji utjecaj mora može se primijetiti na rijekama Dragonja, Raša i Mirna u Istri, Rječina na Kvarneru te Zrmanja, Krka, Jadro, Cetina, donji tok Neretve i Ombla u Dalmaciji. Da bi se standardizirali načini mjerenja zaslanjenosti tala i postavile sljedive referentne vrijednosti za uspoređivanje, zaslanjenost tala najčešće se izražava kao vrijednost električne vodljivosti saturacijskog vodnog ekstrakta tla (E_{Ce} u $dS\ m^{-1}$). Prema postavljenim kriterijima, tlo se smatra slanim ako je vrijednost $E_{Ce} > 4\ dS\ m^{-1}$, a alkalna tla imaju $pH > 8,5$.

Zaslanjenost tla izražena kao vrijednost E_{ce} linearno je povezana s prinosom uzgajanih kultura. Zato su i najčešće primjenjivani kriteriji procjene zaslanjenosti tla oni koji vrednuju utjecaj na prinose različitih kultura.

Procese zaslanjivanja tla, naročito one inducirane navodnjavanjem vodama loše kakvoće, prati vrlo često i proces **alkalizacije tla**. Alkalizacija je proces koji karakterizira nakupljanje iona Na na adsorpcijskom kompleksu tla. Štetne posljedice suvišnog Na u tlu odražavaju se promjenom fizikalno-kemijskih svojstava matriksa tla bubrenjem gline i disperzijom čestica tla. Ti su mehanizmi međusobno povezani i uzrokuju smanjenje infiltracijske sposobnosti i propusnosti tla za vodu. Kemijska disperzija čestica tla izaziva pokoricu, koja je jedna od dijagnostičkih znakova alkaliziranih tala. Na vrlo malim udaljenostima koloidne čestice gline povezivat će slabe van der Walsove veze. Stabilnost koaguliranih koloidnih čestica ovisi o tome jesu li dominantne disperzivne ili privlačne sile.

Dva su ključna uzroka disperzije čestica:

distorzija dvostrukog difuznog sloja između susjednih koloidnih čestica, zbog koje dolazi do elektrostatskog odbijanja i veličina iona (hidratacijskog radijusa) u dvostrukom difuznom sloju.

Tako su otopljeni u vodi (hidratizirani) ioni Na⁺ veći od iona K⁺, a hidratizirani ioni Mg²⁺ veći su od iona Ca²⁺. Općenito, veliki kationi u dvostrukom difuznom sloju djeluju kao antikoagulansi za čestice gline u mineralnoj frakciji tla. Smanjenje elektrostatskog odbijanja među česticama može se postići smanjenjem debljine dvostrukog difuznog sloja. Zamjenom jednovalentnih kationa (Na⁺) dvovalentnim kationima (Ca²⁺) može se smanjiti debljina dvostrukog difuznog sloja na pola. Stupanj zasićenosti tla Na najčešće se izražava kao vrijednost udjela zamjenjivog Na u ukupnom kapacitetu izmjene kationa (ESP vrijednost). ESP vrijednost (%) se određuje iz odnosa zamjenjivog Na⁺ i ukupnog kapaciteta zamjene kationa (CEC) prema izrazu (1):

$$(1) \quad P = \frac{Na^+(cmol(+)kg^{-1})}{CEC(cmol(+)kg^{-1})} \times 100$$

Vrijednost postotka zamjenjivog natrija (ESP) od 15 % granična je za narušavanje strukture tla i propusnost vode. Kod koje će vrijednosti ESP-a i koncentracije otopine doći do disperzije gline i promjene u tlu, ovisi o sadržaju i mineraloškom sastavu gline, količini organske frakcije i o volumnoj gustoći tla. Međutim, postoje i drugi činitelji koji mogu povećati ili smanjiti negativno djelovanje povećanog udjela zamjenjivog Na⁺ na adsorpcijskom kompleksu tla te prethodno navedena granična vrijednost svakako se ne bi smjela uzimati kao apsolutna. Disperzija gline pri istoj vrijednosti ESP-a bit će izraženija ako je vrijednost pH veća i ako je sadržaj organske tvari nizak.

Omjer adsorpcije natrija (SAR) je drugo, lakše mjerljivo svojstvo koje postaje čak i šire korišteno od ESP-a. SAR pruža informacije o usporednim koncentracijama Na⁺, Ca²⁺ i Mg²⁺ u tlu. Omjer adsorpcije natrija (SAR, eng. *sodium adsorption ratio*) određen je iz koncentracije Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ u otopini dobivenoj ekstrakcijom iz saturacijskih pasti, a prema izrazu (2):

$$(2) \quad SAR_{iw} = Na^+ / ((Ca^{2+} + Mg^{2+}) / 2)^{0.5}$$

gdje je koncentracija kationa izražena u mmol/l.



Slika 5. Posljedice suše na tlo

Provjerite svoje znanje



Na temelju informacija iz teksta osmisлите hipotetički scenarij o potencijalnoj degradaciji tla u području gdje živite. Napišite ga u svoje bilježnice u obliku eseja. Raspravite u razredu o mogućim uzrocima, posljedicama i rješenjima za ovaj problem.

2. SUSTAV PRAĆENJA TLA I ZEMLJIŠTA

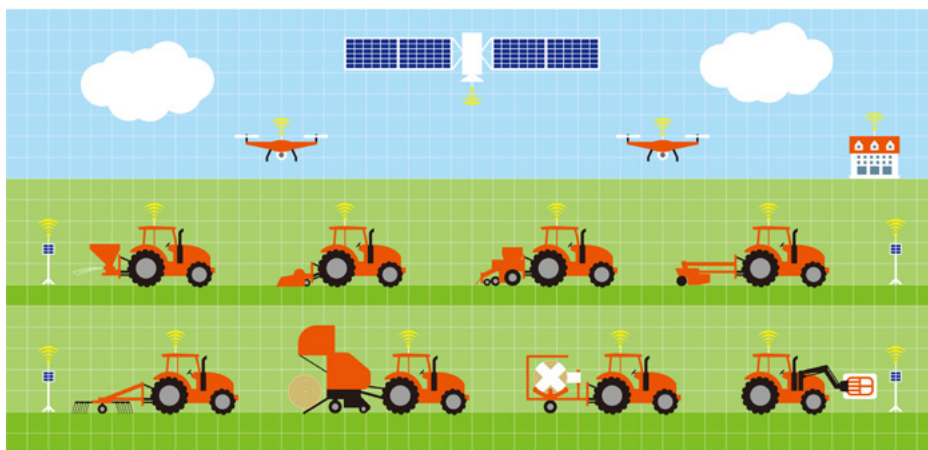
U zakonu o Poljoprivrednom zemljištu u čl. 2. navedeno je da je Poljoprivredno zemljište dobro od interesa za Republiku Hrvatsku i ima njezinu osobitu zaštitu. Da bi se spriječila daljnja degradacija tla i predložile učinkovite mjere zaštite, iznimno je važno kontinuirano pratiti i detaljno poznavati stanje tla. To uključuje razumijevanje kako se tlo mijenja tijekom vremena, kako biološki, kemijski i fizički procesi utječu na njegovu strukturu i kvalitetu te kako ljudske aktivnosti mogu utjecati na te procese. Praćenjem tla (monitoringom) možemo identificirati područja koja su podložna degradaciji, što može uključivati eroziju, zaslanjivanje, gubitak organske tvari, smanjenje plodnosti i druge procese. Kada se ta područja identificiraju, mogu se poduzeti odgovarajuće mjere za njihovo očuvanje i moguću revitalizaciju. Rekognosciranje terena, uzorkovanje tla u površinskim i potpovršinskim slojevima, otvaranje pedoloških profila te daljnja laboratorijska ispitivanja fizikalnih i kemijskih pokazatelja osnovni su alati za praćenje stanja tla. Međutim, ti su alati vremenski zahtjevni i uglavnom su ograničeni na praćenje stanja tla manjih površina. Zbog toga u praćenju stanja tla sve veću primjenu nalaze tzv. neinvazivne metode kao što su **georadari**, instrumenti koji rade na principu elek-tromagnetske indukcije, električne provodljivosti te spektroskopije u vidljivom i bliskom in-fracrvenom dijelu elektromagnetskog spektra. Spektralna snimanja tla mogu se obavljati direktno na terenu, snimanjem tla s male udaljenosti. Međutim, razvijene su i kamere, senzori koji mogu biti pozicionirani na bespilotne zrakoplove (tzv. dronove, slika 6.), ali i satelite.



Slika 6. Dron s kamerom za snimanje tla

U tom slučaju, govorimo o daljinskim istraživanjima. Jedan je od popularnih primjera upotreba NASA-inog *Landsat* satelita za prikupljanje podataka o površini Zemlje, uključujući tlo, za analizu i procjenu.

S druge strane, *Copernicus* program Europske unije koristi seriju *Sentinel* satelita za prikupljanje informacija o Zemlji, uključujući podatke o tlu. Ti podatci mogu pomoći u pružanju informacija o pokrovnosti tla, promjenama u pokrovnosti tla tijekom vremena, i drugim relevantnim podacima. *Copernicus* program – europski sustav praćenja Zemlje – pokrenula je 2016. godine Europska komisija u suradnji s Europskom svemirskom agencijom. *Copernicus* obuhvaća 6 tematskih servisa za praćenje zemljišta, morskog okoliša, atmosfere, klimatskih promjena, upravljanja u hitnim situacijama i sigurnosti. *Copernicus* servis za praćenje zemljišta koristi satelitske snimke kako bi pružio zemljopisne informacije o pokrovu zemljišta i srodnim podacima, poput stanja vegetacije i ciklusa vode. Taj sustav podržava različite aplikacije, uključujući prostorno planiranje, gospodarenje šumama, gospodarenje vodama, poljoprivredu i sigurnost hrane. Temeljni proizvodi *Copernicus* servisa za praćenje zemljišta su *CORINE Land Cover* baze podataka koje prate promjene u pokrovu zemljišta od 1980. godine na teritoriju 38 europskih zemalja (EU 28 + 10). CLC je ključan izvor usklađenih geoinformatičkih podataka koji omogućuju analizu, kontrolu kvalitete podataka i modeliranje za cjelokupan europski teritorij. Uspješna primjena daljinskih istraživanja ovisi o točnosti, rezoluciji i vremenskoj kontinuitetu prikupljenih podataka, kao i o sposobnosti tumačenja i korisne upotrebe tih podataka.



Slika 7. Shematski prikaz umreženih daljinskih senzora i senzora na tlu za prikupljanje informacija o stanju u polju i preciznu provedbu agrotehničkih radnji



ZANIMLJIVOST

Više od 25 % ukupne biološke raznolikosti na našem planetu nalazi se upravo u tlu, koje čini temelj prehrambenih lanaca kako za čovječanstvo, tako i za biološku raznolikost koja živi iznad površine zemlje. Taj osjetljivi sloj ima nevjerojatno važnu ulogu – do 2050. godine, od njega će se očekivati da pruža hranu te filtrira vodu za piće za skoro 10 milijardi ljudi širom svijeta. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0699>)

Provjerite svoje znanje



Istražite i napravite prezentaciju o nevidljivim ulogama tla o kojima ovisi život na Zemlji. Ovdje ste naučili o oblicima degradacije tla, možete li na temelju tih spoznaja definirati što je zdravo tlo?

ZAKLJUČAK

Kako bismo očuvali tlo za budućnost, ključno je razumjeti njegovu važnost i naučiti kako ga održavati i zaštititi. Ekološki osviješteno upravljanje zemljištem, održiva poljoprivreda i zaštita prirodnih staništa ključni su koraci prema očuvanju tog neprocjenjivog resursa. Zato, čuvajmo tlo kao osnovu naše prehrane, domaćina životu i važnog saveznika u očuvanju naše planete. Neka nas ova svijest nadahne na djelovanje i brigu prema tlu kako bismo osigurali njegovu budućnost i budućnost naše planete. Jer kad čuvamo tlo, čuvamo i sami sebe. S obzirom na to da je tlo globalno pitanje, degradacija tla zahtijeva koordiniran i koherentan pristup na nacionalnoj i međunarodnoj razini, utemeljen na međunarodnim normama.

IMPRESUM

Autorica:

Monika Zovko

Nakladnik:

Agencija za strukovno obrazovanje i obrazovanje odraslih

Izvoditelj:

Profil Klett d.o.o.

Recenzentica:

Marina Bubalo Kovačić

Urednica:

Adrijana Leko

Lektorica:

Tamara Damjanović

Grafička priprema:

Atlantis, Zagreb

Stručnjakinja za didaktičko-metodičko oblikovanje:

Matea Thompson

Voditeljica projekta:

Kristina Ferara Blašković

Izvori fotografija:

Istockphoto,
Shutterstock,
Sciencephoto

Literatura:

1. Butorac, Anđelko. 1999. *Opća Agronomija*. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet. Zagreb.
2. Lazarević, Boris. 2013. *Fiziološki mehanizmi otpornosti kultivara krumpira (*Solanum tuberosum* L.) na toksični aluminij*. Doktorska disertacija. Agronomski fakultet. Zagreb. [https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/news/2017-12/Izvjestajne_obaveze_i_uloga_projekta_HAOP%20\(1\).pdf](https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/news/2017-12/Izvjestajne_obaveze_i_uloga_projekta_HAOP%20(1).pdf) (Pristupljeno: 18. srpnja 2023.)
3. Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja. NN 9/2014.
4. Službene stranice EU-a. URL: <https://eur-lex.europa.eu/HR/legal-content/summary/united-nations-convention-to-combat-desertification-in-countries-seriously-affected-by-drought.html> (Pristupljeno: 18. srpnja 2023.)
5. Službene stranice EU-a. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0699> (Pristupljeno: 18. srpnja 2023.)
6. Šimunić; Špoljar. 2007. *Tloznanstvo i popravak tla (II. dio)*. Skripta. Visoko gospodarsko učilište u Križevcima.
7. Šimunić, I. 2013. *Uređenje voda*, sveučilišni udžbenik. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet. Zagreb.
8. Pravilnik o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta. NN 47/2019.
9. Zakon o poljoprivrednom zemljištu. NN 20/18, 115/18, 98/19, 57/22.

Sadržaj ove publikacije isključiva je odgovornost Agencije za strukovno obrazovanje i obrazovanje odraslih.

Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.

Za više informacija o EU fondovima posjetite web stranicu Ministarstva regionalnoga razvoja i fondova Europske unije: www.strukturnifondovi.hr.



Agencija za
strukovno obrazovanje
i obrazovanje odraslih



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.