

DEGRADACIJA TLA U SVIJETU I HRVATSKOJ

SOIL DEGRADATION IN THE WORLD AND CROATIA

A. Špoljar, S. Husnjak

SAŽETAK

Pod degradacijom tla podrazumijevaju se procesi koji dovode do smanjenja njegove plodnosti ili proizvodne sposobnosti te drugih korisnih uloga koje tlo ima u ekosustavu zbog ljudske aktivnosti ili prirodnih uvjeta. Tlo je izloženo procesima fizikalne, kemijske i biološke degradacije. Od fizikalnih procesa degradacije mogu se izdvojiti: gubitak plodnog tla zbog erozije vodom i vjetrom, kvarenje strukture i zbijanje tla, te dezertifikacija. Kemijski procesi degradacije tla odnose se na: ispiranje hraniva i toksičnost zbog kisele ili bazične reakcije tla (zaslanjivanje ili alkalizacija) i štetne tvari u tlu. Smanjenje sadržaja organske tvari i biološke raznolikosti tla pripadaju biološkim procesima degradacije. Svi ovi procesi, koje ponajprije uzrokuje čovjek, a manje su rezultat prirodnih uvjeta, nepovoljno se odražavaju na plodnost, produktivnost, kakvoću i zdravlje tla. U radu su detektirani uzroci i posljedice ovih degradacijskih procesa te se daju odgovarajuće smjernice za kvalitetnije gospodarenje tlom i preporučuju se mjere njegove sanacije.

Ključne riječi: degradacija tla, uzroci, posljedice, sanacija

ABSTRACT

Soil degradation refers to processes that lead to a decrease in its fertility or production capacity and other useful roles that the soil plays in the ecosystem due to human activity or natural conditions. The soil is exposed to the processes of physical, chemical and biological degradation. From the physical processes of degradation, the following can be distinguished: loss of fertile soil due to erosion by water and wind, deterioration of the structure and soil compaction, and desertification. Chemical processes of soil degradation refer to: leaching of nutrients and toxicity due to acidic or basic soil reaction (salinization or alkalization) and harmful substances in the soil. The decrease in the organic matter content and biological diversity of the soil belong to the biological processes of degradation. All these processes, which are primarily human-

caused and less the result of natural conditions, adversely affect the fertility, productivity, quality and health of the soil. In the paper, the causes and consequences of these degradation processes are detected and appropriate guidelines are given for better soil management and measures for its remediation are recommended.

Key words: soil degradation, causes, consequences, remediation

UVOD

Lal i sur. (1989.) izdvajaju prirodne i antropogene procese degradacije tala. U prirodne procese autori ubrajaju: laterizaciju, kompakciju tla, nastanak nepropusnih slojeva i geološku eroziju. Zbijanje, ubranu eroziju tla, dezertifikaciju, zaslanjivanje i acidifikaciju uglavnom uzrokuje čovjekova aktivnost. Prema Meigenu i Langu (cit. Schaufelberger, 1953.) u nedostatku humusa procesom laterizacije, trošenjem iz hidrargirita nastaje kaolinit, koji se nalazi u svim tlima tropskog područja. Lateriti su produkti intenzivnog trošenja hidrargirita čiji je sadržaj željeza i/ili aluminija veći od silicija u odnosu na samo kaoliziranu matičnu stijenu.

Lal (2015.) navodi kako je u 2015. godini trebalo prehraniti sedam milijardi i tristo milijuna stanovnika, a do 2050. predviđa se njihov rast do devet i pol milijardi. Autor procjenjuje kako bi zbog toga trebalo povećati poljoprivrednu proizvodnju u razdoblju od 2005. do 2050. za oko 70 %. Glavni ograničavajući čimbenik za postizanje ovog cilja je degradacija tla koju karakterizira pad njegove kvalitete te smanjenje njegovih proizvodnih potencijala. U glavne procese degradacije pripadaju: ubrzana erozija, iscrpljivanje zaliha organskog ugljika, gubitak bioraznolikosti, acidifikacija, zaslanjivanje tla i kvarenje strukture, a posljedica toga je smanjenje njegove plodnosti. Za obnavljanje tla autor preporučuje uvođenje konzervacijske poljoprivrede, integriranog upravljanja hranjivim tvarima, kontinuiranog vegetacijskog pokrova („malč“ i pokrovni usjevi) te kontrolirane ispaše.

Bhattacharra i sur. (2015.) navode kako degradaciju tla izazvanu djelovanjem čovjeka uzrokuju: krčenje šuma, neodgovarajuće poljoprivredne prakse, loše upravljanje industrijskim otpadnim vodama i otpadom, prekomjerna ispaša, eksploatacija mineralnih sirovina, širenje gradova te komercijalnih i industrijskih područja. Neodgovarajuće poljoprivredne prakse odnose se na preveliki broj prohoda kroz proizvodne površine, pretjeranu uporabu mineralnih gnojiva, nestručno navodnjavanje i upravljanje vodnim

resursima, prekomjernu uporabu pesticida, nedostatnu organsku gnojidbu te uzgoj usjeva u monokulturi. Karlen i Rice (2015.) ističu kako je degradacija tla globalni problem kojem je uzrok intenzivna obrada tla, sužen plodored, pretjerana ispaša ili uklanjanje ostataka usjeva s proizvodnih površina, krčenje šuma, rudarenje i urbanizacija. S ciljem poboljšanja zdravlja tla, za ublažavanje ovih procesa autori preporučuju veću primjenu održivih poljoprivrednih praksi i održivo gospodarenje zemljištem. Dosljedni pokazatelji degradacijskih procesa, kako ističu, su erozija tla i smanjenje sadržaja organske tvari u tlu.

Shaheb i sur. (2021.) navode kako je upotreba teških poljoprivrednih strojeva povećala učinkovitost poljoprivrednih radova i globalnu proizvodnju hrane od pedesetih godina prošlog stoljeća. Međutim, već nekoliko desetljeća govori se o njihovom nepovoljnom utjecaju na značajke tla. Posebice se to odnosi na kvarenje strukture tla, što rezultira, kako naglašavaju, pogoršanjem produktivnosti i kvalitete okoliša. Na nepovoljan utjecaj zbijenosti tla zbog velikog broja prohoda mehanizacije kroz proizvodne površine na istraživane značajke tla ukazuju i drugi autori (De Lima i sur. 2017., Špoljar i sur. 2014.).

Emadodin i sur. (2019.) ističu kako je dezertifikacija rezultat prirodnih i antropogenih čimbenika. Osnovni prirodni uzrok njene pojave je meteorološka suša, a javlja se zbog duljih razdoblja bez oborina. Prekomjerno korištenje vodnih resursa, pretežno za potrebe poljoprivrede, utječe na negativnu bilancu vode u tlu i promjenu biljnog pokrova, što ubrzava dezertifikaciju. Uz ovaj antropogeni učinak, autori ističu kako brzi porast stanovništva i zaslanjivanje također dovode do dezertifikacije. Ističu kako ju se ne može spriječiti, ali strategijama održivog gospodarenja zemljištem može se ublažiti.

Baumhardt i sur. (2015.) navode kako tlo može biti degradirano prirodnim procesima ili je uzrok njegove degradacije čovjekova aktivnost. Osobiti problem su, kako ističu, erozija tla vodom i vjetrom ili ona koju uzrokuje obrada tla te stvaranje nepoželjnih fizikalnih, kemijskih i bioloških značajki tla zbog neodgovarajućih poljoprivrednih praksi ili industrijalizacije. Degradacija tla se zbiva kad ovi nepoželjni procesi nadjačaju prirodnu regeneraciju tla. Sanacija ili prevencija degradacije tla zahtijeva, kako naglašavaju autori, integrirana rješenja koja podrazumijevaju korištenje pokrovnih usjeva ili uporabu prirodnog „malča“ kako bi se umanjio nepoželjni utjecaj kišnih kapi, povećala infiltracijska sposobnost tla za vodu, njena konzervacija i u konačnici se povećala proizvodnja. Povećanje biomase i sadržaja organskog ugljika u tlu može povoljno utjecati na stabilnost strukture, povećati sadržaj hraniva i biološku aktivnost tla.

Oldeman (1991.-1992.) izdvaja dvije osnovne skupine procesa degradacije tla. U prvu skupinu ubrajaju se erozija tla vodom i vjetrom, a u drugu pripada degradacija tla „in situ“. Autor također razlikuje fizikalne i kemijske procese degradacije. Erozija tla vodom obično se odnosi na odnošenje najplodnijeg površinskog dijela tla, što rezultira smanjenjem njegove produktivne sposobnosti, a u ekstremnim slučajevima ograničena je i dubina zakorijenjivanja poljoprivrednih kultura. Erozija tla vjetrom uvijek je, kako ističe autor, rezultat smanjenja vegetacijskog pokrova zbog prekomjerne ispaše ili uklanjanja prirodne vegetacije u svrhu prenamjene tla za poljoprivredne svrhe. Javlja se u semiaridnom i aridnom klimatskom području. U kemijsku degradaciju tla pripada ispiranje hraniva i organske tvari, zaslanjivanje, acidifikacija i onečišćenje tla. Zbijanje tla, stvaranje pokorice, zamočvarivanje i slijeganje organskih tala fizikalni su procesi degradacije tala.

Blanco-Canqui i sur. 2008. (cit. Rocco i sur., 2016.) navode kako se tijekom procesa erozije odvajaju čestice tla od površine pomoću egzogenih sila i talože na drugim mjestima. Intenzitet erozivnog djelovanja ovisi o nekoliko čimbenika: intenzitetu oborina, duljini i nagibu zemljišta, prisutnosti vegetacije i značajkama tla. Ako se ne poduzmu mjere zaštite, ova pojava može dugoročno uzrokovati njihovu eutrofikaciju ili dezertifikaciju tla s nepovoljnim učinkom na poljoprivrednu proizvodnju i dovesti do ozbiljnih ekoloških i gospodarskih posljedica. Oldeman 1993. (cit. Rocco i sur. 2016.) ističe da erozija može zahvatiti vrlo velike dijelove golog tla. Autor procjenjuje kako je erozijom tla u Europi obuhvaćeno oko 25 milijuna hektara.

Dai i sur. (2017.) bave se procesima kemijske degradacije tala i ističu kako kisela tla s pH vrijednošću manjom od 5,5, kojih je u svijetu mnogo, imaju nisku plodnost i produktivnost. Autori za neutralizaciju kiselosti koriste biougljen, čime se povećava pristupačnost hraniva i umanjuje nepovoljan utjecaj mobilnog aluminija u tlu. O nepovoljnom utjecaju niskih pH vrijednosti na pojedine značajke tla, kao i niskoj produktivnosti tla, govore i drugi autori (Bolan i sur. 2023., Yadav i sur. 2020.). Singh (2021.) upozorava na još jedan problem kemijske degradacije tala, a to je zaslanjivanje. Ističe kako je primjena navodnjavanja izuzetno bitna za prehranjivanje rastuće svjetske populacije, ali da ono može biti uzrokom zaslanjivanja tla. Više od 20 % navodnjavanih površina u svijetu pod negativnim je utjecajem zaslanjivanja, a ukoliko se taj trend nastavi, ovaj problem mogao bi se do 2050. godine proširiti na oko 50 % ukupnih navodnjavanih površina.

Machado i Serraeheiro (2017.) navode kako je zaslanjenost veliki problem koji utječe na proizvodnju usjeva u cijelom svijetu. Oko 20 % obrađenih površina u svijetu i 33 % navodnjavanih pod utjecajem su prekomjernih koncentracija soli. Povećana zaslanjenost tla smanjuje produktivnost mnogih poljoprivrednih kultura, a osobito je osjetljivo povrće. Bulent i Orcen (2020.) navode kako će povećanje aridnosti klime uzrokovati zaslanjivanje hidromorfni tala. Aridna područja najsklonija su dezertifikaciji i zaslanjivanju. U ranim stadijima povećana slanost utječe na metabolizam organizama i smanjuje produktivnost tla, no u uznapredovalim stadijima uništava svu vegetaciju i druge organizme koji žive u tlu, pretvarajući plodno i produktivno u neplodno i pustinjsko tlo.

Mishara i Dhar (2004.) navode da tlo sadrži ogroman broj raznolikih živih organizama okupljenih u složene i raznolike zajednice. Tu žive milijarde organizama poput nematoda, protozoa, gljivica, algi, aktinomiceta, bakterija i cijanobakterija. Ovi različiti organizmi međusobno djeluju u ekosustavu, tvoreći složenu mrežu biološke aktivnosti. Čimbenici okoliša, kao što su: temperatura, vlaga i kiselost, kao i ljudska aktivnost, utječu na biološke zajednice tla i njihove funkcije. Jeffry i Gardi (2010.) ističu kako organizmi u tlu imaju brojne uloge u ekosustavu kojem pripadaju te da o tome ovisi sav život na našem planetu. Međutim, zbog erozije, onečišćenja i klimatskih promjena bioraznolikost tla u mnogim područjima se smanjuje. Autori navode da postoji jaka korelacijska veza između povećanja intenziteta korištenja zemljišta i smanjenja bioraznolikosti tla.

Weismeier i sur. (2016.) upozoravaju na smanjeni sadržaj organskog ugljika u poljoprivrednim tlima. Ističu kako klimatske promjene i nezadovoljavajuće prakse gospodarenja mogu uzrokovati smanjenje zaliha organskog ugljika u tlu, što dovodi do značajnih emisija ugljikovog dioksida i smanjenja produktivnosti poljoprivrednih tala. U takvim izmijenjenim uvjetima unos ugljika u tlo trebao bi se povećati za 29 % kako bi se održale njegove postojeće zalihe. Da do gubitka organskog ugljika u tlu dovodi neadekvatno gospodarenje i klimatske promjene upozoravaju i drugi autori (<http://soco.jrc.ec.europa.eu>). Tla s niskim sadržajem organskog ugljika nalaze se uglavnom u toplim i suhim klimatskih uvjetima, a veći sadržaj organskog ugljika imaju tla hladnijih i vlažnijih klimatskih područja. Gotovo polovica europskih tala ima nizak sadržaj organske tvari, a ta se tla nalaze uglavnom u južnoj Europi.

Alengebawy i sur. (2021.) navode kako su u okolišu osobit problem onečišćujuće tvari poput teških metala i pesticida. Autori analiziraju toksični

učinak teških metala (kadmija, olova, bakra i cinka) i pesticida (insekticida, herbicida i fungicida) na biljke, tlo i zdravlje ljudi.

Iz navedenoga proizlazi kako se procesi degradacije tla mogu podijeliti u tri skupine:

- fizikalni (gubitak plodnog tla zbog erozije vodom ili vjetrom, kvarenje strukture i zbijanje tla, dezertifikacija),
- kemijski (zakiseljavanje, zaslanjivanje i alkalizacija, štetne tvari u tlu), i
- biološki (smanjenje sadržaja organskog ugljika i bioraznolikosti u tlu).

CILJEVI

Iz kratkog pregleda literature u uvodu, može se zaključiti kako je degradacija tla posljedica prirodnih procesa i neodgovarajuće prakse gospodarenja tлом. Cilj ovoga rada je definirati uzroke degradacijskih procesa u tlu, detektirati posljedice ovih procesa te dati odgovarajuće smjernice za kvalitetnije gospodarenje tлом i preporučiti mjere sanacije (remedijacije) tla.

DEGRADACIJA TLA U SVIJETU

Van den Born i de Haan (2000.) ističu kako je degradacija tla sve veći problem u Europi. Oko 12 % od ukupnog europskog kopna izloženo je eroziji vodom i oko 4 % eroziji vjetrom. Ovaj problem najviše je izražen zbog „krhkih“ ekoloških uvjeta u mediteranskoj regiji, ali je nazočan i u većini drugih europskih zemalja. Autori izdvajaju visok i vrlo visok rizik od erozije vodom u Grčkoj (85 %), dok površine u Finskoj i Nizozemskoj nisu izložene ovim rizičnim vrijednostima. Odnosenje oraničnog sloja tla u vodotoke može prouzročiti njihovu eutrofikaciju i onečišćenje (Racz, 1993., Lal, 1994.). Lal (1994.) ističe kako je erozija tla glavni čimbenik koji utječe na globalnu ravnotežu ugljika. Osman (2014.) preporučuje u borbi protiv erozije tla vodom sljedeće mjere: malčiranje i korištenje pokrovnih usjeva, popravljivanje strukture tla te povećanje infiltracije vode u tlo i smanjenje otjecanja, povećanje infiltracije te smanjivanje otjecanja malčiranjem i korekcijom nagiba, smanjivanje otjecanja vode po površini terasiranjem, konturnu obradu i uzgoj kultura u trakama, integrirane mjere ublažavanja erozije tla vodom, poput malčiranja, u kombinaciji s izostavljenom obradom.

Da zbijenost tla koja je rezultat prevelikog prometovanja po proizvodnim površinama uvjetuje smanjenje prinosa većine poljoprivrednih kultura diljem svijeta, ističu brojni autori (Hakansson i Voorhees 1998., Nawaz i sur. 2013., Osman 2014. i dr.). Antropogeno zbijanje tla, kako navodi Osman (2014.), globalni je problem i zauzima 4 % od ukupne površine degradiranih tala. Autor ističe kako su u nekim područjima Europe i Sjeverne Amerike, zbog ovih degradacijskih procesa prinosi uzgajanih kultura manji za 25 do 50 %, a u zemljama zapadne Afrike između 40 i 90 %. Nawaz i sur. (2013.) ističu kako one mogu također promijeniti ciklus kruženja dušika i ugljika u prirodi, što rezultira većom emisijom stakleničkih plinova u vlažnim uvjetima. Jaka zbijenost tla uzrokuje deformaciju korijena, zastoj u rastu izdanaka, kasno klijanje i nisku klijavost biljaka te njihovo veliko uginuće. Zbijanje tla isto tako nepovoljno utječe na biološku raznolikost, a to rezultira smanjenjem mikrobne biomase, aktivnosti enzima, faune tla i prizemne flore.

Dezertifikacija je pretvaranje plodnih tala u polupustinjska i pustinjska zbog klimatskih promjena ili je ona rezultat antropogenih čimbenika, poput primjerice pretjerane ispaše i deforestacije. Uglavnom se javlja u semiaridnim i aridnim klimatskim područjima. Osman (2014.) navodi kako se dezertifikacija nepovoljno odražava na 70 % tala u sušnim klimatskim područjima, što iznosi oko 30 % obradivih površina u svijetu. Lyu i sur. (2020.) ističu kako je dezertifikacija osobiti problem u Kini, gdje su česte pješčane oluje. Autori navode kako se trend isušivanja tala u posljednjim desetljećima umanjio zbog umirivanja vjetrom nošenih pijesaka pošumljavanjem i konzervacije vode, što je omogućilo, kako ističu, povratak sušnih i polusušnih ekosustava u uravnoteženije stanje. Da je dezertifikacija veliki problem i u drugim dijelovima svijeta, ističu i drugi autori (Singh 2009., Streck i Stoorvogel 2020.).

Osim fizikalnoj, tlo je izloženo kemijskoj i biološkoj degradaciji, a u sklopu kemijske degradacije najčešće se pojavljuje zakiseljavanje. Goulding (2016.) navodi kako su najvažniji uzroci zakiseljavanja tla na poljoprivrednim površinama amonijska gnojiva, gnojidba ureom, gnojiva na bazi elementarnog sumpora te uzgoj leguminoza. Također ga mogu uzrokovati kisele kiše i taloženje kiselih plinova ili čestica iz atmosfere, poput sumporovog dioksida, amonijaka i dušične kiseline. Osman (2014.) navodi kako ova tla u svijetu zauzimaju oko 14 % od ukupnog zemljišnog fonda. U kiselim tlima ispiru se bazni kationi iz adsorpcijskog kompleksa, povećava se sadržaj mobilnog aluminija, i u konačnici, smanjuje se prinos uzgajanih kultura. U jako kiselim tlima razaraju se minerali gline, smanjuje se kapacitet zamjenjivih kationa i

kvari se struktura tla. Meng i sur. (2019.) ističu kako se sadržaj baznih kationa (kalcija, magnezija i natrija) pri zakiseljavanju tla smanjuje, dok se sadržaj aluminija i željeza povećava. Ono nepovoljno utječe na disanje tla, a također se slabije razvija korijenov sustav biljaka. Sadržaj organskog ugljika i dušika pri zakiseljavanju tla značajno se smanjuje.

Zhu i sur. (2016.) navode kako u posljednjih trideset godina zakiseljavanje tla dolazi sve više do izražaja te se zbog toga postupno povećava pristupačnost toksičnog kadmija. Autori preporučuju provođenje kalcifikacije za korekciju kiselosti tla, a time se smanjuje, kako ističu, i sadržaj pristupačnog kadmija u tlu. Alvarenga (2022.) ističe kako prisutnost kemikalija u tlu može nepovoljno utjecati na zdravlje ljudi ili drugih živih organizama, pa je tada riječ o onečišćenju. Neke od tih kemikalija proizvodi čovjek, dok druge mogu imati i prirodno i antropogeno podrijetlo, kao što su elementi u tragovima. Osim potencijalno toksičnih elemenata kao što su metali i metaloidi, postojećih organskih onečišćivača (POPs), poput polikloriranih bifenila, dioksina i furana, policikličkih aromatskih ugljikovodika (PAH) i pesticida, u tlu se također pojavljuju onečišćivači u nastajanju, kao što su: nanočestice, lijekovi te mikroplastika. Autor navodi kako su znanja o tim onečišćujućim tvarima nedostatna pa je potrebno provoditi istraživanja o njihovim koncentracijama, bioraspoloživosti, toksičnosti i reakcijama u tlu.

Kako ističe Osman (2014.), slanim i alkalnim tlima u svijetu pripada 3 105 000 km² ili 2,4 % od ukupnog zemljišnog fonda. Gupta i sur. (2019.) navode kako u otopini slanih tala prevladavaju kloridi i sulfati kalcija, magnezija i natrija, a kod alkalnih to je soda i natrijev bikarbonat. Autori ističu da je elektroprovodljivost (EC) slanih tala veća od 4 dSm⁻¹, a kod alkalnih više je varijabilna. Međutim, sadržaj zamjenjivog natrija (ESP) na adsorpcijskom kompleksu tla kod alkalnih tala veći je od 15, dok su kod slanih ove vrijednosti manje. Slana i alkalna tla razlikuju se i prema pH vrijednosti. Ona je kod slanih tala, prema kriterijima koje daju, manja od 8,2, a kod alkalnih su pH vrijednosti veće od 8,2. Ova tla nastaju na prirodan način pedogenetskim procesima ili pod utjecajem čovjeka. Tavakkali i sur. (2021.) popravljaju fizikalne i kemijske značajke alkalnih tala uzgojem leguminoza u plodoredu te primjenom gipsa. Autori navode kako se već s malim količinama primijenjenog gipsa smanjuje pH vrijednost tla i održava postojeća razina opskrbljenosti organskim ugljikom.

Manji sadržaj organske tvari u tlu te kvarenje fizikalnih, kemijskih i bioloških značajki tla uzrok su pada njegove biološke raznolikosti, što podrazumijeva smanjenje broja živih organizama u tlu te njihove raznolikosti

(Singh, 2004.). Tšcharantke i sur. (2012.) ističu kako je očuvanje biološke raznolikosti tla, zbog brzog porasta broja stanovnika na našem planetu, globalni izazov. Pad biološke raznolikosti tla može dovesti do dramatičnog povećanja broja štetnika, a neodgovarajuće gospodarenje poljoprivrednim zemljištem dovodi do degradacije okoliša.

DEGRADACIJA TLA U HRVATSKOJ

Tla u Hrvatskoj, kao i u svijetu, izložena su procesima fizikalne, kemijske i biološke degradacije. Vidaček i sur. (2005.) ističu sljedeće bitnije procese degradacije tala u Hrvatskoj: erozija, zbijanje, štetne tvari u tlu (teški metali, pesticidi, poliklorirani bifenili, policiklički aromatski ugljikovodici, radionuklidi), petrokemikalije, zakiseljavanje, alkalizaciju, salinizaciju, dehumizaciju, i ratna oštećenja. Husnjak (2000.) navodi kako su blaži oblici erozije u Hrvatskoj mogući na 27,2 %, a jači na 48,3 % površine. Na strmim liticama moguće je i urušavanje tla. Osim što erozija smanjuje produktivnost tla, ona nepovoljno utječe i na kvalitetu voda. Kod erozije na proizvodnim površinama uzrokovane kišom, najčešće se preporuča konturna obrada, sjetva u pojaseve i terasiranje. U borbi protiv erozije tla vjetrom preporučuju se vjetrozaštitni pojasevi, zatravljanje i pošumljavanje (Špoljar, 2019.). Najprihvatljivija agrotehnička mjera je tlo obraslo vegetacijom, malčiranje i zadržavanje biljnih ostataka na površini tla. Kisić (2016.) navodi kako se pri pokrivenosti tla većoj od 20 % erozija smanjuje za 50 %, a u potpunosti je onemogućena pri pokrivenosti tla većoj od 40 %.

Prema podacima koje iznosi Racz 1977. (cit. Vidaček i sur. 2005.) antropogenom zbijanju posebno su sklona tla tipa pseudogleja i luvisola, koja sadrže velike količine praha. Ovih tala u Hrvatskoj ima oko milijun hektara, od čega je polovica obradivih, pa se može pretpostaviti da su štete značajne. Zbijena tla imaju nepovoljnu strukturu, ograničena je infiltracija vode, nepovoljni su vodozračni i toplinski odnosi te je ograničen razvoj korijenovog sustava. Glavni čimbenici koji utječu na zbijenost tla su njegova tekstura, struktura, sadržaj vlage i organske tvari. Tla s povećanim sadržajem praha i gline te s manje organske tvari osobito su sklona antropogenom zbijanju i stvaranju pokorice (Špoljar i sur. 2014., Špoljar, 2019.).

Zbijenost tla ima izravne učinke na većinu fizikalnih značajki tla, kao što su volumna gustoća, poroznost i sadržaj vlage u tlu. Nepovoljne fizikalne značajke tla smanjuju pristupačnost hraniva. Špoljar i sur. (2018.) navode kako se s ciljem ublažavanja nepoželjnih posljedica povećane zbijenosti tla može

preporučiti smanjenje osovinskog opterećenja korištene mehanizacije, povećanje kontaktne površine kotača s tlom, smanjenje broja prohoda, povećanje sadržaja organske tvari te uvođenje onih kultura u plodored koje dobro rahle tlo. Degradacija strukture i stvaranje pokorice može se učinkovito ublažiti povećanjem sadržaja organske tvari u tlu.

Bašić (2014.) regionalizira Hrvatsku i ističe kako panonsku regiju najviše karakterizira degradacija zbog intenzivne poljoprivredne proizvodnje, a njen istočni dio izložen je opustinjavanju – dezertifikaciji. Špoljar (2019.) navodi kako su navodnjavanje, pošumljavanje, sadnja vjetrozaštitnih pojaseva i zatravljivanje učinkovite mjere ublažavanja posljedica dezertifikacije. Gorska regija također je izložena procesima erozije tla vodom i zakiseljavanju zbog kiselih kiša, a u jadranskoj je moguća erozija tla vodom.

Prema podacima Bogunovića i sur. 1996. (cit. Špoljar, 2019.), iz pedološke karte Republike Hrvatske mjerila 1 : 300 000 može se izdvojiti oko 16 000 km² kiselih tala ili 28 % od ukupne površine. Autor navodi kako zaslanjivanje i alkalizacija kod nas nisu velik problem budući da zauzimaju gotovo beznačajne površine od svega 5 km² ili 0,01 %. Slika 1. prikazuje solončak u suhom i u vlažnom stanju nastao na prirodan način izdanjskim zaslanjivanjem (Škorić, 1986.; Husnjak, 2014.).



Slika 1. Solončak Izvor: Škorić, 1986.
Picture 1 Solončak Source: Škorić, 1986



Slika 2. Solončak Izvor: Husnjak, 2014.
Picture 2 Solončak Source: Husnjak, 2014

Za postizanje održivih prinosa uzgajanih kultura na ovim tlima preporuča se spuštanje razine podzemne vode, njihovo ispiranje i zakiseljavanje (Husnjak, 2014., Špoljar, 2015.). U kiselim tlima zbog niskog redoks potencijala, kako navodi Špoljar (2019.), u toksičnim se koncentracijama pojavljuju gotovo svi

mikroelementi, osim molibdena. Fosfor, zbog tvorbe aluminijskih i željezovih fosfata, biljkama nije pristupačan. U njima se također u toksičnim koncentracijama pojavljuju teški metali poput kadmija, olova, kroma, kositra, srebra i nikla te metaloid arsen. Za korekciju nepovoljne kiselosti autor predlaže provođenje kalcifikacije u kombinaciji s organskom gnojidbom, a za čišćenje tla od teških metala može se, uz spomenutu kalcifikaciju, provoditi i fitoremedijacija.

Kako navodi Špoljar (2019.), slično kao i kod kiselih tala, problem bazičnih tala vezan je uz pristupačnost biljnih hraniva. Zbog nazočnosti iona kalcija i magnezija može doći do tvorbe primarnih, sekundarnih i tercijarnih fosfata nepristupačnih biljkama. Biljke također ne mogu primati mikroelemente, s izuzetkom molibdena. Visoke koncentracije soli u tlu mogu dehidrirati biljne stanice, jer biljke nisu u mogućnosti primati vodu iz tla.

Vidaček i sur. (2005.) navode kako je kod antropogenih tala prisutan značajan gubitak sadržaja humusa njegovom ubrzanom mineralizacijom. Autori ističu kako su černozem i eutrično smeđe tlo u zadnjih stotinjak godina agrikulture u Istočnoj Slavoniji izgubili približno 50 do 70 % humusa pa sada ta tla sadrže od 1 do 2 % humusa. Dehumizacija je prisutna i na drugim poljoprivrednim tlima u Hrvatskoj. Špoljar (2019.) navodi kako se sadržaj organske tvari u tlu može povećati, primjerice uzgojem pokrovnih usjeva i navodnjavanjem, dok se intenzivnom obradom njen sadržaj smanjuje. Ovaj negativni utjecaj obrade može se kompenzirati unosom biljnih ostataka u tlo. Nepovoljna bilanca sadržaja organske tvari u tlu može se popraviti različitim mjerama gospodarenja: gnojidbom organskim gnojivima, zelenom gnojidbom, uzgojem krmnih kultura u plodored, sa žitaricama i uljaricama, uvođenjem travnih biljnih zajednica u plodored, uzgojem mahunarki u plodored, te uvođenjem ljetnog ugara. Autor upozorava kako se pad sadržaja humusa u tlu nepovoljno odražava na biološku raznolikost tla.

PREPORUKE ZA SANACIJU DEGRADIRANIH TALA

S ciljem ostvarenja načela održivog načina gospodarenja tлом, WOCAT (*World Overview of Conservation Approaches and Technologies*) 2007. (cit. Gabriels i Verdoodt, 2012.), ovisno o stupnju njegove degradacije preporučuje sljedeće aktivnosti: prevenciju, ublažavanje procesa degradacije i rehabilitaciju već degradiranog zemljišta. Prevencija podrazumijeva uporabu mjera održivog gospodarenja kojima se održavaju prirodni resursi i njihova ekološka i produktivna funkcija na zemljištu koje može biti izloženo degradaciji.

Ublažavanje je intervencija namijenjena smanjenju trajne degradacije, a provodi se kad je nepoželjan i štetan proces već započeo. Mjere rehabilitacije se provode kada je zemljište degradirano do tog stupnja da njegova izvorna uporaba više nije moguća, zemljište je neproduktivno i ekosustav je ozbiljno narušen. Rehabilitacija obično zahtijeva visoke investicijske troškove, ali donosi srednjoročnu i dugoročnu korist.

Temeljem izloženoga, mogu se preporučiti sljedeće mjere očuvanja i obnavljanja (remedijacija ili sanacija) degradiranih tala, Tablica 1.

Tablica 1. Preporuke sanacije degradiranih tala

Table 1 Recommendations for rehabilitation of degraded soils

Vrsta degradacije tla Type of soil degradation	Preporučene mjere sanacije Recommended remedial measures
<i>Fizikalni procesi degradacije</i>	
Erozija tla vodom i vjetrom	- <i>Erozija tla vodom</i> : malčiranje i korištenje pokrovnih usjeva, popravljivanje strukture tla te povećanje infiltracije vode u tlo i smanjenje otjecanja, povećanje infiltracije te smanjivanje otjecanja malčiranjem i korekcijom nagiba, smanjivanje otjecanja vode po površini terasiranjem, konturna obrada i uzgoj kultura u trakama, integrirane mjere ublažavanja erozije tla vodom poput malčiranja u kombinaciji s izostavljenom obradom (Osman, 2014.). - <i>Erozija tla vjetrom</i> : vjetrozaštitni pojasevi, zatravljivanje i pošumljavanje (Špoljar, 2019.). - Tlo obraslo vegetacijom, malčiranje i zadržavanje biljnih ostataka na površini tla (Kisić, 2016.).
Kvarenje strukture, antropogeno zbijanje i pokorica	- Smanjenje osovinskog opterećenja korištene mehanizacije, povećanje kontaktne površine kotača s tlom, smanjenje broja prohoda, povećanje sadržaja organske tvari te uvođenje onih kultura u plodored koje dobro rahle tlo. Degradacija strukture i stvaranje pokorice može se učinkovito ublažiti povećanjem sadržaja organske tvari u tlu (Špoljar, 2018.).
Dezertifikacija	- Navodnjavanje, pošumljavanje, sadnja vjetrozaštitnih pojaseva i zatravljivanje učinkovite su mjere ublažavanja posljedica dezertifikacije (Špoljar, 2019.).
<i>Kemijski procesi degradacije</i>	
Zakiseljavanje	- Provođenje kalcifikacije u kombinaciji s organskom gnojdbom, a za čišćenje tla od teških metala može se, uz spomenutu kalcifikaciju, provoditi i fitoremedijacija (Meng i sur. 2019.).
Zaslanjivanje i alkalizacija	- Spuštanje razine podzemne vode, navodnjavanjem s povećanim obrocima navodnjavanja i zakiseljavanje (Husnjak, 2014; Špoljar, 2015.). - Fizikalne i kemijske značajke alkalnih tala mogu se popraviti uzgojem leguminoza u plodoredu te primjenom gipsa (Tavakkali i sur. 2021.).

A. Špoljar i sur.: Degradacija tla u svijetu i Hrvatskoj

Štetne tvari u tlu	<ul style="list-style-type: none"> - Za rješavanje povećanih koncentracija teških metala preporuča se provođenje kalcifikacije ili fitoremedijacije (Zhu i sur. 2016.). - Umjesto kemijskih sredstava za zaštitu bilja preporuča se korištenje biopesticida (El Benduray 206; Eski i sur. 2017.).
<i>Biološki procesi degradacije</i>	
Pad sadržaja humusa u tlu	<ul style="list-style-type: none"> - Konzervacijske mjere gospodarenja - povećanje sadržaja organske tvari i reduciranje njezinog gubitka (Broadbent, 2017.). - Nepovoljna bilanca sadržaja organske tvari u tlu može se popraviti različitim mjerama gospodarenja: gnojidbom organskim gnojivima, zelenom gnojidbom, uzgojem krmnih kultura u plodoredu sa žitaricama i uljaricama, uvođenjem travnih biljnih zajednica u plodored, uzgojem mahunarki u plodoredu, te uvođenjem ljetnog ugara (Špoljar, 2019.).
Pad biološke raznolikosti	<ul style="list-style-type: none"> - Za povećanje biološke raznolikosti tla može se preporučiti reducirana obrada, uzgoj kultura u plodoredu, korištenje organskih gnojiva i zelena gnojidba te reduciranje uporabe pesticida (Gardy i Jeffrey, 2009.).

Iz svega navedenoga proizlazi kako, s ciljem očuvanja kakvoće tla i njegovog zdravlja, prednost u biljnoj proizvodnji treba dati ekološkoj i održivoj poljoprivredi. Bašić (2015.) ističe da je tlo bitna sastavnica tzv. ekološkog trojstva „tlo-voda-zrak“ te da kakvoća života uvelike ovisi o dovoljnim količinama zdrave hrane, čiste vode, i dakako, o očuvanom okolišu.

ZAKLJUČAK

Vidljivo je kako je tlo izloženo procesima fizikalne, kemijske i biološke degradacije, odnosno procesima koji dovode do smanjenja njegove plodnosti i proizvodne sposobnosti, te drugih korisnih uloga koje ono ima u ekosustavu, zbog ljudske aktivnosti ili prirodnih uvjeta. Svi ovi procesi, koje ponajprije uzrokuje čovjek, a manje su rezultat prirodnih uvjeta, uz negativan utjecaj na plodnost i ostvarene prinose, također se nepovoljno odražavaju na kakvoću i zdravlje tla. U intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji vrlo se često proizvodi u monokulturi ili je plodored sužen, prevelik je broj prohoda kroz proizvodnu površinu, gnoji se pretežno mineralnim gnojivima i prevelika je uporaba pesticida, što je jedan od ponajčešćih uzroka degradacije tala. Stoga, s ciljem očuvanja okoliša, prednost treba dati održivoj poljoprivrednoj proizvodnji nasuprot intenzivne, a tamo gdje postoje za to mogućnosti, u obzir dolazi i ekološka poljoprivreda.

LITERATURA

1. Alengebawy, A., Adbelkhalek, S. T., Quereshi, S. R., Wang, M. R. (2021.): Heavy Metals and Pesticides Toxicity in Agricultural Soil and Plants: Ecological Risks and Human Health Implications. *Toxics*, 9 (3): 42. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>.
2. Alvarenga (2022.): Soil Pollution Assessment and Sustainable Remediation Strategies. *Environments*, 9 (4): 46. <https://doi.org/103390/environments9040046>.
3. Bašić, F. (2014.): Regionalizacija hrvatske poljoprivrede u zajedničkoj poljoprivrednoj politici EU. *Agronomski glasnik*, 1: 143-176.
4. Bašić, F. (2015.): Tlo kao sastavnica ekološkog trojstva, članak, *Geografija hr.*
5. Battacharyya, R., Ghosh, B. N., Mishra, P. K., Mandal, B., Rao, c. S., Sarkar, D., Das, K., Anil, K. S., Lalitha, M., Hati, K. M., Franzlenbbers, A. J. (2015.): Soil Degradation in India: Challenges and Potential Solutions. *Sustainability*, 7(4): 3528-3570. <https://doi.org/103390/su7043528>.
6. Baumhardt, R. L., Stewart, B. A.Q., Sainju, U.M. (2015.): North American Soil Degradation: Processes, Practices, and Mitigating Strategies. *Sustainability*, 7 (3): 2936-2960. <https://doi.org/10.3390/su7032936>.
7. Bolan, N., Sarmah, A. K., Bordoloi, S., Bolan, S., Padhye, L. P., Van Zwieten, L., Sooriyakumar, P., Khan, B.A., Ahmad, M., Solaiman, Z.M., Rinklebe, J., Wang, H., Singh, B.P., Siddique, K.H. M.(2023): Soil acidification and the liming potential of biochar. *Environmental Pollution*, vol. 317, Article 120632. <https://doi.org/10.1016/j:2022.120632>.
8. Broadbent, F. E. (2017.): Soil Organic Matter, *Land Management* 34, 4 pages.
9. Bulent, O., Orcen, N. (2020.): Soil salinization and climate change. *Climate change and Soil Interactions*. 331-350. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00016-6>.
10. Dai, Z., Zhang, X., Tang, C., Muhammad, N., Wu, J., Brookes, P.C., Xu, J. (2017.): Potential role of biochars in decreasing soil acidification – A critical review. *Science of Total Environment*. 581-582: 601-611. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.169>.
11. De Lima, R. P., da Silva, A. P., Giarola, N. F. B., da Silva, A. R., Rolim, M. M. (2017.): Changes in Soil compaction indicators in response to agricultural field traffic. *Byosystems Engineering*. 162: 1-10. <https://doi.org/101016/j.biosystemseng.2017.07002>
12. El Benduray (2006.): *Bacillus thuringiensis* and *Bacillus sphaericus* biopesticides production. *Journal of Basic Microbiology*, 46(2): 158-170.

13. Emadodin, I., Reinsch, T., Taube, F. (2019.): Drought and Desertification in Iran. *Hydrology*, 6(3): 66. <https://doi.org/10.3390/hydrology/6030066>.
14. Eski, A., Demir, I., Sezen, K., (2017.): A new biopesticide from a local *Bacillus thuringiensis* var. *Tenebrionis* (Xd3) against alder leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33:95.
15. Gabriels, D., Verdoodt, A. (2012.): *Soil Degradation*. University of Gent, 244.
16. Gardi, C., Jeffrey, S. (2009.): *Soil Biodiversity*. JRC Scientific and Technical Reports, 24.
17. Goulding, K.W.T. (2016.): Soil acidification and importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use and Management*, 32: 390-399. <https://doi.org/10-1111/sum.12270>.
18. Gupta, S. K., Sharma, P. C., Chandhari, S.K. (2019.): *Handbook of Saline and alkali Soils*. Scientific Publishers, 239.
19. Hakansson, J., Voorhees, W. B. (1998.): *Methods for Assessment for Soil Degradation – Soil Compaction*. eBook, Taylor and Francis Online, 13.
20. Husnjak, S. (2000.): Procjena rizika erozije tla vodom metodom kartiranja u Hrvatskoj. Disertacija, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 138.
21. Husnjak, S. (2014.): *Sistematika tla*. Sveučilišni udžbenik u izdanju Hrvatske sveučilišne naklade, Zagreb, 373.
22. Jeffrey, S., Gardi, C. (2010.): Soil biodiversity under threat – a review. *Acta Soc. Zool. Bohem.* 74: 7–12.
23. Karlen, D. L., Rice, C. W. (2015): Soil Degradation: Will Human Kind Ever Learn? *Sustainability*, 7(9): 12490-12501. <https://doi.org/10.3390/su70912490>.
24. Kisić, I. (2016.): *Antropogena erozija tla*. Udžbenik Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 274 .
25. Lal, L., Hall, G.F., Miller, F.P.(1989.): Soil degradation: I. Basic processes. *Land degradation and development*. <https://doi.org/101002/ldr.3400010106>.
26. Lal, R. (1994.): *Global Overview of Soil Science: Key to Understanding Our Global Environment*, vol. 41. <https://doi.org/10.2136/sssaspepub41.c5>.
27. Lal, R. (2015.): Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability*, 7(5): 5875-5895; <https://doi.org/10.3390/su7055875/19.10.2022>.
28. Lyu, Y., Shi, P., Han, G., Liu, L., Guo, L., Hu, X., Zhang, G. (2020.): Desertification Control Practices in China. *Sustainability*. 12(8): 3258; <https://doi.org/103390/su12083258> . .

29. Machado, R.M.A., Serraeheiro, R.P. (2017.): Soil Salinity: Effect on Vegetable Crop Growth. Management Practices to Prevent and Mitigate Soil Salinization. *Horticulturae*, vol. 3, Article 3020030. <https://doi.org/10.390/horticulturaer3020030>.
30. Meng, C., Tian,D., Zeng,H., Li,Z., Yi,C., Niu,S. (2019.). Global soil acidification on impacts on belowground processes. *Environ. Res. Lett.* 14074003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab239c>.
31. Mishara, U., Dhar, D.W. (2004.): Biodiversity and biological degradation of soil. *Resonance*, 9: 26-33.
32. Nawaz, M.F., Bourrie, G., Trolard, F. (2013.): Soil compaction impact and modelling- A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33: 291-309.
33. Oldeman, L.R. (1991-1992.): Global Extent of Soil Degradation. *ISRIC Bi-Annual Report*, 19-36.
34. Osman, K.T. (2014.): *Soil Degradation, Conservation and Remediation*, Springer Dordrecht Heidelberg, New York London, 227.
35. Racz, Z. (1993.): Šira problematika erozije tla u svijetu i kod nas. Savjetovanje poljoprivrednih stručnjaka Slovenije, Kmetijski zavod, Maribor.
36. Rocco, M.V., Casseti, G., Garadumi, F., Colombo, E. (2016.): Exergy Life Cycle Assessment of soil erosion remediation technologies: an Italian case study. *Journal of Cleaner Production*. 112(4): 3007-3017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.055>.
37. Schaufelberger, P. (1953.): What is laterit?, *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 3(1): 47-52. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(53\)90049-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(53)90049-0).
38. Shaheb, M.R.,m Vekatesh, R., Shearer, S.A. (2021.): A Review on the Effect of Soil Compaction and its Management for Sustainable Crop Production. *Journal of Biosystems Engineering*, 46 (13): 417-439. .
39. Singh, P.K. (2004.): Biodiversity and biological degradation of soil. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 9 (1): 26-33.
40. Singh, A. (2021.): Soil Salinization management for sustainable development. A review. *Journal of Environmental Management*. vol. 277, Article 111383.
41. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111383>.
42. Streck, G., Stoorvogel, J.J. (2020.): Desertification-Scientific Versus Political Realities. *Land* 9(5): 156; <https://doi.org/103390/land9050156>.

43. Škorić, A. (1986.): Postanak, razvoj i sistematika tla. Udžbenik Sveučilišta u Zagrebu u izdanju Fakulteta poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 172.
44. Špoljar, A., Kvaternjak, I., Slunjski, D. (2014.): Mehanički otpor tla u vinogradima različite starosti. *Agronomski glasnik*, 76 (6): 267-276. <https://hrcak.srce.hr/148506>.
45. Špoljar, A. (2015.): Pedologija. Udžbenik Visokog gospodarskog učilišta u Križevcima, Križevci, 223.
46. Špoljar, A., Kvaternjak, I., Kisić, I. (2018.): Parametri antropogenog zbijanja, kvarenja strukture i stvaranja pokorice kod različitih načina obrade tla. *Agronomski glasnik*. 4: 225-238. <https://doi.org/10.33128/ag.80.4.2>.
47. Špoljar, A. (2019.): Konzervacija i remedijacija tla. Udžbenik Visokog gospodarskog učilišta u Križevcima, 209 .
48. Tavakkali, E., Uddin, S., Renegasamy, P., McDonald, G.K. (2021.): Field applications of gypsum reduce pH and improve soil C in highly alkaline soils in southern Australia's dry land cropping region. *Soil and management*, 466-477, <https://doi.org/10.1111/sum.1276>.
49. Tschamtker, T., Tylianakis, M. J., Raud, T. A. (2012.): Landscape moderation of biodiversity patterns and processes – eight hypotheses. *Biological Reviews*. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.2011-00216.x> .
50. Van den Born, G. J., de Haan, B. J. (2000.): Technical Report on Soil Degradation. Environment Directorate – General of European Commission, 20.
51. Vidaček, Ž., Bogunović, M., Bensa, A. (2005.): Aktualno stanje zaštite tla u Hrvatskoj. *Gazophylacium*, (3-4): 95-107.
52. Yadav, D. S., Jaiswal, B., Gautam, M., Agrawal, M. (2020.): Soil Acidification and its Impact on Plants. *Plant Responses to Soil Pollution*, 1-26. https://doi.org/10.120071978-981-15-4964-9_1.
53. Zhu, H., Chen, C., Xu, C., Zhu, Q., Huang, D. (2016.): Effects of soil acidification and liming on phytoavailability of cadmium in paddy soils of central subtropical China. *Environmental Pollution* 219: 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.env.pol.2016.10.043>.
54. Wiesmeier, M., Poeplau, C., Sierra, C.A., Maier, H., Frühauf, C., Hübner, R., Kühnel, A., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Schilling, B., von Lütow, M., Kögel-Knabner, I. (2016.): Projected loss of soil organic carbon in temperate agricultural soils in the 21st century: Effects of climate change and carbon input trends. *Scientific reports*, Vol. 6, Article number: 32525.
***<http://soco.jrc.ec.europa.eu>

Adresa autora – Authors address:

dr. sc. Andrija Špoljar, prof. struč. stud.,
e-mail: aspoljar@vguk.hr
Visoko gospodarsko učilište u Križevcima
M. Demerca 1, Križevci, Hrvatska

Primljeno – Received:

24.03.2023.

Prof. dr. sc. Stjepan Husnjak
e-mail: shusnjak@agr.hr
Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Svetošimunska 25, Zagreb, Hrvatska