

# Uloga organske tvari u tlu-mjere sprečavanja degradacije

---

**Abramović, Lorena**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:473846>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-26**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
**FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Lorena Abramović

Sveučilišni diplomski studij Bilinogojstvo

Smjer Zaštita bilja

**ULOGA ORGANSKE TVARI U TLU - MJERE SPRJEČAVANJA  
DEGRADACIJE**

Diplomski rad

**Osijek, 2022.**

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
**FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Lorena Abramović

Sveučilišni diplomski studij Zaštita bilja

**ULOGA ORGANSKE TVARI U TLU - MJERE SPRJEČAVANJA  
DEGRADACIJE**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Mirjana Brmež, predsjednik
2. izv. prof. dr. Brigita Popović, mentor
3. doc. dr. Vladimir Zebec, član

**Osijek, 2022.**

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. PREGLED LITERATURE.....	3
2.1. Analiza tla.....	5
2.2. pH vrijednost tla.....	5
2.3. Hraniva u tlu .....	7
2.4. Plodnost tla .....	9
2.5. Struktura i tekstura tla.....	9
2.6. Poroznost tla.....	10
2.7. Sastav zraka u tlu.....	11
3. ORGANSKA TVAR TLA.....	12
3.1. Važnost organske tvari u tlu .....	13
3.2. Sadržaj i značaj organske tvari.....	14
3.2.1. <i>Živi dio organske tvari</i> .....	15
3.2.2. <i>„Mrtva” organske tvari tla - svježi ostaci</i> .....	16
3.2.3. <i>Humus</i> .....	17
3.2.4. <i>Biogljen</i> .....	21
3.3. Organizmi u tlu .....	22
3.3.1. <i>Nematode</i> .....	24
3.4. Ciklus ugljika .....	27
3.5. Ciklus dušika.....	28
3.6. Ciklus vode .....	30
4. DEGRADACIJA TLA.....	31
5. PROCESI DEGRADACIJE TLA .....	36
5.1. Fizikalni procesi degradacije .....	36
5.1.1. <i>Erozija tla</i> .....	36
5.1.2. <i>Zbijenost tla</i> .....	42
5.1.3. <i>Pokorica</i> .....	43
5.1.4. <i>Dezertifikacija</i> .....	44
5.2. Kemijski procesi degradacije tla .....	46
5.2.1. <i>Acidifikacija (zakiseljavanje) tla</i> .....	46
5.2.2. <i>Salinizacija (zaslanjivanje) i alkalizacija tla</i> .....	47

5.2.3.	<i>Onečišćenje tla</i> .....	50
5.2.4.	<i>Fitotoksični efekt i depresija rasta</i> .....	52
5.2.5.	<i>Ugrožavanje akvatičnih ekosustava</i> .....	53
5.3.	Biološki procesi degradacije tla .....	53
5.3.1.	<i>Smanjenje ili gubitak organskog ugljika tla</i> .....	53
5.3.2.	<i>Smanjenje biološke raznolikosti</i> .....	54
5.3.3.	<i>Infekcija tla</i> .....	56
6.	ZAKLJUČAK .....	57
7.	POPIS LITERATURE.....	58
9.	SUMMARY .....	62
10.	POPIS SLIKA .....	63
11.	POPIS TABLICA.....	64
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA		
BASIC DOCUMENTATION CARD		

## 1. UVOD

Stoljećima je organska tvar tla smatrana eliksirom života biljaka. Vrlo rano u povijesti, čovjek je otkrio da je boja tla izravno povezana s organskom tvari koja uglavnom nastaje raspadom biljnog materijala (Zdruli i sur., 2004.).

Brojni su autori koristili razne definicije organske tvari. Organsku tvar u tlu je ukupna organska tvar koje sadrži ugljik u tlu, a koja se sastoji od mješavine biljaka i životinjski ostataka u različitim fazama raspadanja, tvari sintetizirane mikrobiološki i/ili kemijski iz produkata razgradnje, te živih i mrtvih mikroorganizama i njihovi razgradni ostaci (Schnitzer, 2000.).

Organizmi u tlu koriste ju kao hranu, a kada ju probave izlučuju hranjive tvari i humus. Nakon što se učinkovito razgradi, postaje humus. Humus tla definira se kao mješavina tamnih, koloidnih polidispergirani organskih spojeva velike molekularne mase i relativno otporanog na raspadanje (Nieder, R., Benbi, D. K. 2008.).



Slika 1. Humus (Izvor: <https://www.homequestionsanswered.com>)

Organska tvar u tlu potiče poboljšanu strukturu tla, biološku aktivnost i povećanu sposobnost zadržavanja i oslobađanja hranjivih tvari i vode u tlu. Živi organizmi pospješuju razgradnju organske tvari tla, otpuštaju hranjive tvari u biljku, stvaraju pore koje dovode do poboljšane strukture tla i stabiliziraju tla.

Organizmi tla svojom životnom aktivnošću utječu na proces raspadanje stijena, transformacije organske i manjim dijelom mineralne tvari, te ovaj način sudjeluju u procesima tvorbe i razvoja tla.

Organizmi sudjeluju u razvojnim procesima pedosfere toliko da mnogi autori smatraju tlo samo one proizvode litosfere koji su nastali uz pomoć biotičkih faktora.

Danas možemo reći da je čovjek vrlo važan činitelj u evoluciji tla, te da je posljednjih 50 godina tlo pod snažnim utjecajem ljudske aktivnosti. Unos različitih zagađivača u obliku čestica, primjena pesticida i herbicida, kisele kiše, erozija, otpadni muljevi, eksploatacija mineralnih sirovina, trajno zbijanje i uništavanje strukture, zagađenje tla i površinskih voda agrokemijskim i atmosferskim zagađivačima, a sve navedeno zajedno utječe na kemijske, fizikalne i mikrobiološke osobine tla, te na samu plodnost tla (Zdruli i sur., 2004.).

Povećanje i održavanje prihvatljive razine organske tvari u tlima smanjuje navedene negativne utjecaje.

Smanjenje količine organske tvari je indikator smanjenja kvalitete u većine tala. Razlog tomu je što je organska tvar tla vrlo važna u svim procesima koji se događaju u tlu. Ustanovljeno je da su tla s visokim sadržajem organske tvari produktivnija i za proizvodnju usjeva i za pašnjake za ispašu stoke. Da bi se stoga osiguralo održivo gospodarenje tlo, neophodno je gospodariti i održavati organsku tvar na prihvatljivoj razini (Zdruli i sur., 2004.).

Cilj ovog rada je prikazati status i ulogu organske tvari u agroekosustavu, definirati uzroke degradacije organske tvari te navesti moguće mjere povećanja sadržaja organske tvari.

## 2. PREGLED LITERATURE

Znanost koja se bavi izučavanjem tla naziva se pedologija ili tloznanstvo (Špoljar, A. 2007.). Pedologija je definirana kao znanost koja proučava nastanak, prirodu, rasprostranjenost i korištenje potencijala tla.

Temeljna je zadaća pedologije ispravno dešifriranje prirodnih pedogenetskih procesa, raščlamna njihove naravi i učinaka na fizikalne, kemijske i biološke značajke te objašnjenje njihovog kompleksnog djelovanja koje vodi do razvoja različitih tipova tala.

Tlo kao prirodna tvorevina nastaje složenim procesima, najprije usitnjavanjem i razgradnjom stijene, odnosno primarnih minerala od matične stijene i sintezom – tvorbom novih, sekundarnih minerala. Nastala masa može zadržavati vodu što omogućuje biotizaciju odnosno naseljavanje trošine, najprije bakterijama, gljivicama, algama i lišajima, a zatim višim biljkama, prvo onima koje mogu izdržavati skromne uvjete kao što su sukulentne biljne vrste, a zatim kserofitima i ksenotermnom vegetacijom.

Matični supstrat podrazumjeva stijenu iz koje se procesima trošenja oslobađa mineralna komponenta. Matični supstrat ima za postanak tala najveću važnost jer gotovo sav mineralni dio tla, koji iznosi 86-99% njihove ukupne mase, potječe iz stijena.

Mineralni i kemijski sastav stijena određuju značajke tla, kao i tijek predogenetskih procesa (Špoljar, A. 2007.). Klima je među najvažnijim aktivnim činiteljima tvorbe i razvoja tla. Oborine, toplina i zasićenost zraka vodenim parama presudno utječu na postanak i oblikovanje pedosfere jer intenzitet pedogenetskih procesa ovisi o vlažnosti i toplini.

Najveća je razlika između tla i stijene u sadržaju organske tvari. Poljoprivredno tlo sadržava 0,5 – 5%, a tresetna tla i do 50% organske tvari. Upravo se po toj tvari najviše razlikuje od stijene od koje je nastao.

Premda je sadržaj u poljoprivrednim tlima razmjerno malen, humus u tlo unosi i održava život. Kada bi tlo izgubilo humus, to više nebi bilo živo tlo nego stijena od koje je nastao i ono bi izgubilo svoju prvobitnu ulogu, a to je opskrba vodom, zrakom i hranjivim tvarima (Karačić, I. 2016.).



Dakle, na taj način nastaje tlo i od tog trenutka započinje proces razvoja tla odnosno evolucija. Tlo prolazi različite stadije evolucije koji traje od minimalno nekoliko desetaka tisuća godina do nekoliko milijuna godina.

Biljkama i životinjama tlo omogućuje prostor za život, stanište, vodu, tvari za rast, biljkama tvari koje će u procesu fotosinteze omogućiti stvaranje hrane (Agić, B., Banović, T., Lopac Groš, A., 2019.). Tlo pruža medij za biljke da se „usidre“ i rastu. Proizvodnja hrane, stočne hrane, vlakana i energenata ovisi 90% o tlu.

Tlo je nužno i za zdravlje ekosustava jer je zaslužan za počišćavanje i reguliranje vode, pruža nam čistu vodu, pokretač je ciklusa hranjivih tvari i spremnik za gene i razne vrste, čime podržava bioraznolikost. Globalni je spremnik ugljika i dušika, te igra važnu ulogu u potencijalnom usporavanju klimatskih promjena i njihovih utjecaja. Tlo je otvoren sustav jer gubi i prima materijal i energiju na svojim granicama.



Slika 2. Shematski prikaz funkcija tla (Izvor: <https://www.fao.org>)

Plodna tla sadrže hranjive tvari i vodu potrebnu za zdrav rast biljaka. Ako promatramo plodnost tla kao najvažniju značajku tla, evolucija je u početnim stadijima nastanka tla progradacijska, što znači da se evolucijom tla plodnost povećava, a poslije odgovarajućeg stadija plodnost opada pa govorimo o degradacijskoj evoluciji tla, te možemo reći da je od vitalnog značaja za našu ljudsku dobrobit.

## 2.1. Analiza tla

Zdravo tlo predstavlja uspješnost poljoprivredne proizvodnje. Pruža usjevima vrijedan rezervoar vode i hranjivih tvari. Tekstura tla se ne može promijeniti, ali poljoprivrednici uvijek mogu poboljšati kvalitetu tla upravljanjem razinama hranjivih tvari i pH reakcijom tla. Analiza tla daje vrijedne informacije neophodne za poboljšanje kvalitete tla. Praćenjem točne količine hranjivih tvari u tlu, može se lako prilagoditi gnojidba u skladu sa zahtjevima tla i usjeva.

Redovita analiza tla je jedan od najvažnijih čimbenika upravljanja kvalitetom tla. Analiza tla je vrijedna poljoprivredna praksa kojom se utvrđuje točna količina dostupnih hranjivih tvari usjeva u tlu. Pruža nam vidljivu sliku različitih kemijskih, fizičkih i bioloških svojstava tla.

Neka od najosnovnijih, ali neophodnih mjerenja mikronutrijenata uključuju:

- ✚ određivanje razine dušika, fosfora, kalija, magnezija i kalcija,
- ✚ analiza pH tla,
- ✚ određivanje sadržaja humusa, raspoloživog vapna i organske tvari.

## 2.2. pH vrijednost tla

pH tla je mjera kiselosti ili lužnatosti u tlu, naziva se i reakcija tla. Ima utjecaj na fizikalne, kemijske i biološke procese u tlu, ishranu bilja i djelovanje gnojiva. Koncentracija otopine tla je sadržaj u vodi otopljenih različitih tvari izražen u mg/l ili % u odnosu na masu tla.

Promjenjiva je vrijednost jer otopina tla neprekidno prima nove tvari otopanjem primarnih minerala i produkata mineralizacije, desorpcijom iz adsorpcijskog kompleksa tla, mobilizacijom iz netopljivih spojeva, ali i gubi neke tvari sorpcijom, ispiranjem ili fiksacijom.

Reakcija tla prikazuje odnos koncentracije vodikovih i hidroksidnih iona. Ako je koncentracija  $H^+$  iona veća, reakcija tla je kisela (aciditet tla), a ako je veća koncentracija  $OH^-$  iona, reakcija je bazična, lužnata ili alkalna (lužnatost tla). Dok tla sam jednakom koncentracijom vodikovih i hidroksilnih iona imaju neutralnu reakciju. Sva su tla s pH vrijednosti manjom od pH 7 kisela, s više od pH 7 alkalična (lužnata), te tla s pH 7 neutralna.

pH tla često se naziva glavnom kemijskom varijablom u tlima zbog velikog utjecaja na mnoge druge kemijske procese. Raspoloživost većine biljnih makronutrijenata najveća je blizu neutralnog pH i smanjuje se kako se pH povećava ili smanjuje.

pH tla utječe na aktivnost mikroorganizama odgovornih za razgradnju organske tvari i većinu kemijskih transformacija u tlu. pH od 6,6 do 7,3 je povoljna za mikrobne aktivnosti koje doprinose dostupnosti dušika, sumpora i fosfora u tlu. Procesima humifikacije i mineralizacije otopine tla obogaćuju se različitim organskim i mineralnim spojevima te različitim plinovitim tvarima.

Poželjni raspon pH vrijednosti za optimalan rast biljaka razlikuje se među kulturama. Dok neki usjevi najbolje rastu u rasponu od 6,0 do 7,0, drugi dobro rastu u blago kiselim uvjetima.

Međutim, neke biljke imaju zahtjeve za pH tla iznad ili ispod ovog raspona jer dostupnost hranjivih tvari je različita pod različitim pH vrijednostima tla.

Tla nastala u uvjetima velikih godišnjih padalina, kiselija su nego tla nastala u sušnijim uvjetima. pH reakcija tla koja je veća od oko 8,0 smatra se visokim za većinu poljoprivrednih kultura. Tla koja imaju pH u ovom rasponu su često i vapnenasta. Vapnenasta tla imaju visok sadržaj kalcijevog karbonata. pH ovih tala se ne mijenja ukoliko se ne ukloni kalcijev karbonat. Kiseline koje se dodaju u tlo otapaju karbonate i snižavaju pH tla. Tretmani kiselinom općenito su neekonomični za tla koji imaju sadržaj kalcijevog karbonata veći od oko 5%.

Kalcizacija predstavlja mjeru smanjenja kiselost tla, te kalcij ima veliku ulogu u održavanju reakcije tla i utječe indirektno na druge elemente i povećanje sorpcijske sposobnosti tla. Vapnenaste tvari odnosno vapno se unosi u tlo. Za kalcizaciju možemo reći da je pozitivna mjera, iako prilikom primjene treba biti oprezan jer može uzrokovati promjene u stanju hranjiva (teški metali, fosfor itd.).

Pomoću lizimetra se mjeri koncentracija vodene otopine tla iz pojedinih horizonata tla. Dobiju se podatci o sezonskom i godišnjem ispiranju hraniva i potencijalnih onečišćenja iz tla.

Kapacitet kationske izmjene organske tvari i nekih glina kontrolira pH kao i mnoge reakcije otapanja i taloženja.

### 2.3. Hraniva u tlu

Usvajanje hraniva iz tla je vrlo učinkovit proces koji podržava velika površina korijena biljaka i njegova sposobnosti apsorpcije elemenata ishrane pri njihovoj vrlo niskoj koncentraciji u vodenoj otopini tla (Vukadinović V. i Vukadinović V., 2011.).

Biljna hraniva su elementi ishrane, odnosno kemijski elementi i molekule čije podrijetlo može biti anorgansko kao i organsko, ovisno o tome potječu li iz minerala Zemljine kore ili su produkt razgradnje žive tvari (humus, žetveni ostatci, organska gnojiva i dr.) (Vukadinović V. i Vukadinović V., 2011.).

Hranjive tvari čini 17 kemijskih elemenata koji su za život viših biljaka neophodni. Zbog toga se nazivaju neophodni, esencijalni ili biogeni elementi. Na dostupnost ovih hranjivih tvari izravno ili neizravno utječe prisutnost organske tvari.

Biljke ne zahtjevaju jednake količine hranjivih elemenata ishrane bilja pa ih dijelimo prema značaju:

- makroelementi (C, O, H, N, P, K, S, Ca, Mg i Fe; još Na i Si),
- mikroelementi (B, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl i Ni; još Co i V),
- korisni elementi (Co, Na, Si, Al, Se, V, Ti, La, Ce),
- toksični elementi (Cr, Cd, U, Hg, Pb, As itd.).

Unutar grupe makroelemenata izdvajaju se organogeni elementi, odnosno nemineralni elementi C, O i H, koji grade više od 90% žive tvari, te u koje se ne ubrajaju N, P i S iako sudjeluju u građi organske tvari ali u znatno manjim količinama.

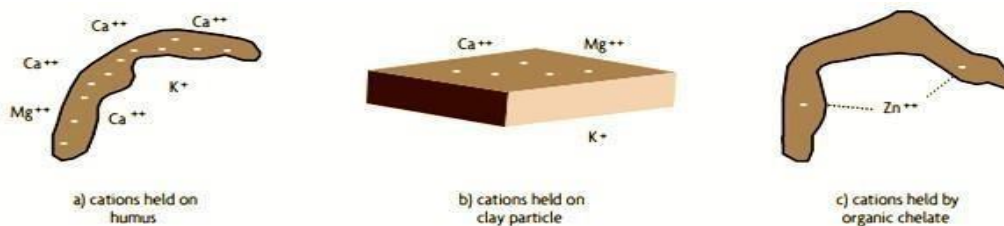
Biljke ih pretežito usvajaju u mineralnom obliku. Kada poremetimo ravnotežu u tlu, dolazi do snižavanja sadržaja esencijalnih hranjivih elemenata i pada prinosa, a to se događa odnošenjem dijela prinosa ratarskog bilja za ljudsku ishranu.

Većinu hranjivih tvari u organskoj tvari u tlu biljke ne mogu koristiti sve dok te hranjive tvari postoje kao dio velikih organskih molekula. Kako organizmi u tlu razgrađuju organsku tvar, hranjive tvari se pretvaraju u jednostavnije, anorganske (mineralne) oblike koje biljke mogu lako koristiti. Ovaj proces, nazvan mineralizacija, osigurava veći dio dušika koji je biljkama potreban pretvarajući ga iz organskih oblika.

Proteini se pretvaraju u amonij ( $\text{NH}_4^+$ ), a zatim u nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Većina biljaka će većinu svog dušika preuzeti iz tla u obliku nitrata. Mineralizacija organske tvari također je važan mehanizam za opskrbu biljaka hranjivim tvarima poput fosfora i sumpora te većinom mikronutrijenata. Ovo oslobađanje hranjivih tvari iz organske tvari mineralizacijom dio je većeg ciklusa poljoprivrednih hranjivih tvari.

Brojni esencijalni hranjivi elementi pojavljuju se u tlima kao pozitivno nabijene molekule zvane kationi. Sposobnost organske tvari da zadrži katione na način koji ih drži dostupnim biljkama poznata je kao kapacitet kationske izmjene (CEC).

Humus ima mnogo negativnih naboja, a budući da se suprotni naboji privlače, sposoban je zadržati pozitivno nabijene hranjive tvari, kao što su kalcij ( $\text{Ca}^{++}$ ), kalij ( $\text{K}^+$ ) i magnezij ( $\text{Mg}^{++}$ ).



Slika 3. Kationi se drže na negativno nabijenoj organskoj tvari i glini (Izvor: <https://www.sare.org>)

To ih sprječava od ispiranja duboko u niže slojeve tla. Hranjive tvari koje se drže na ovaj način mogu se postupno otpuštati u otopinu tla i stavljati na raspolaganje biljkama tijekom vegetacije.

Međutim, sve biljne hranjive tvari ne pojavljuju kao kationi. Nitratni oblik dušika negativno je nabijen ( $\text{NO}_3^-$ ) i zapravo ga odbija negativno nabijeni CEC. Stoga se nitrati lako ispiraju dok voda prolazi kroz tlo i izvan zone korijena.

Organske molekule u tlu također mogu zadržati i zaštititi određene hranjive tvari. Te čestice, nazvane su kelati nusprodukti su aktivne razgradnje organskih materijala ili se izlučuju iz korijena biljaka. Elemente jače drže kelati nego vezivanje pozitivnih i negativnih naboja (Magdoff, F., Harold E., 2021.).

Kelati dobro djeluju jer vežu hranjive tvari na više od jednog mjesta u organskoj molekuli. U nekim bi se tlima elementi u tragovima, poput željeza, cinka i mangana, pretvorili u nedostupne oblike da nisu vezani kelatima.

#### **2.4. Plodnost tla**

Plodnost je sposobnosti tla da osigura potrebe biljaka za hranjivim tvarima, vodom, zrakom i toplinom, tj. da osigura pogodne uvjete za razvoj podzemnoga i nadzemnoga dijela biljke (Butorac, 1999.).

Prema toj definiciji plodnost je opći pokazatelj svih svojstava tla – sinteza kemijskih, fizikalnih, vodnih, zračnih i toplinskih svojstava (Kisić, I. 2018.).

Značajke tla ključne za njegovu plodnost su: sorpcijska sposobnosti tla za hraniva, sadržaj fiziološki aktivnih hraniva, reakcija tla (pH vrijednost), sadržaj i oblik humusa, poroznost, mehanički sastav – osobito količina i vrsta minerala gline te kapacitet tla za vodom i zrakom. Svi navedni pokazatelji su mjerljivi, mogu se kvantificirati te na osnovi toga ocijeniti plodnost kao skupnu značajku na koju utječu sve nabrojane značajke tla.

Za biljnu proizvodnju važna je efektivna plodnost tla pa su brojni agrotehnički zahvati usmjereni na njeno povećanje. Ona je zapravo rezultat čovjekova djelovanja na tlo s određenom prirodnom plodnosti u određenim ekonomskim i društvenim uvjetima.

#### **2.5. Struktura i tekstura tla**

Tlo je trodijelni sustav koji ima svoju krutu, tekuću i plinovitu fazu. Od čvrstih tvari njegovu osnovu čine kamen i šljunak. Za čvrstu fazu veže se mineralni oko 90% i organski dio 1 – 10%, mineralni dio tla čine primarni minerali koji su slabo podložni raspadanju i zanemarive su sposobnosti zadržavanja hraniva i vode oko korijenja biljke, dok su sekundarni minerali (glineni minerali), koji zajedno s humusom čine organominealni kompleks koji je aktivni i najvažniji dio tla.

Plinoviti dio obuhvaća plinove koji se nalaze u atmosferi, a tekući dio je dio vode s različitim otopljenim tvarima.

Kisik, silicij, aluminij i željezo su najzastupljeniji elementi u tlu, zatim kalcij, natrij, kalij i magnezij. Dok se svi ostali elementi nalaze u litosferi u količini manjoj od 1%.

Tekuću fazu tla čini voda, odnosno vodena otopina tla. Odnos pojedinih faza dinamička je vrijednost ovisna o mehaničkom sastavu tla, klimi, trenutačnim vremenskim prilikama, godišnjem dobu i ostalim vanjskim čimbenicima. Taj vrlo složen sustav neprestalno se mijenja s ciljem održavanja povoljne strukture i oslobađanja hranjivih elemenata neophodnih za život biljaka i mikroorganizama u tlu.

Jedan od najvažnijih čimbenika plodnosti tla je struktura (Kisić, 2012.). Ona može znatno korigirati loše osobine tla prouzročene mehaničkim sastavom.

Prozračna tla, rahla, rastresita, povoljna za obradu, predstavljaju tla s povoljnom strukturom i samim tim u njima se korijeni sustav optimalno razvija.

Tla stabilne strukture imaju dobar vodni režim, propusna su za vodu, dobro primaju i zadržavaju vodu, nisu podložna suši i stvaranju rezerve vode u tlu.

Pomoću vodnog, zračnog i toplinskog režima struktura utječe i na mikrobiološku aktivnost tla, odnosno tvorbu i mineralizaciju humusa, a njome određuje i hranidbeni potencijal tla.

Tla bez strukture imaju loš vodozračni režim, slabu dreniranost i povremeno u njima nastaju procesi redukcije zbog dužeg zadržavanja vode. Na njima se stvara pokorica, teža je obrada tla, slaba je kvaliteta obrade, smanjena je mikrobiološka aktivnost i manji hranidbeni potencijal. Sve se klase prema svojim značajkama mogu podijeliti na tri osnovne skupine (vrste tla), a to su pjeskovita, ilovasta ili glinovita tla. Glinovita tla označavaju se kao teška, a pjeskovita kao laka.

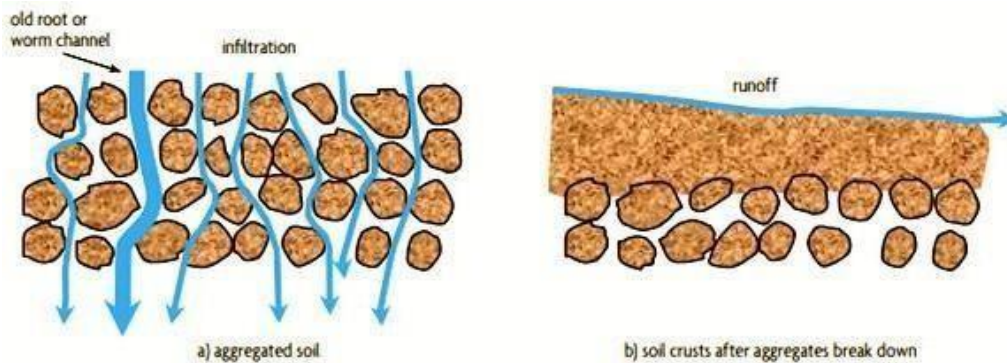
## **2.6. Poroznost tla**

Slobodni prostor između strukturnih agregata predstavljaju pore (šupljine) tla, a njihov ukupni sadržaj u volumnim postotcima naziva se poroznost tla. U porama se u dinamičnom odnosu, nalaze ključne sastavnice tla – voda i zrak, a u njih se smješta korijen biljaka i fauna tla. U tom prostoru ostvaruje se neposredan dodir svih sastavnica tla (kruće, tekuće i plinovite) i kroz njih se kreću makroorganizmi i mikroorganizmi.

Poroznost tla ovisi o broju čimbenicima, a to su mehanički sastav, struktura i sadržaj organske tvari. Povećanjem sadržaja humusa povećava se i ukupna poroznost, osobito broj makropora jer se stvara povoljna struktura s optimalnim odnosom pora i vodozračnim prilikama.

U gospodarenju tlom, svim čimbenicima koji odlučuju o poroznosti, prije svega o strukturi i sadržaj humusa, mora se posvetiti osobita poroznost.

Kada tlo ima povoljan fizički uvjet za uzgoj biljaka, kaže se da ima dobru obradu. Takvo tlo je porozno i omogućava da voda lako ulazi, umjesto da otiče s površine. Više vode se pohranjuje u tlu, kako bi ju biljke koristile između kiša i dolazi do manje erozije. Dobra obrada također znači da je tlo dobro prozračeno.



Slika 4. Promjene površine tla i protoka vode (Izvor: <https://www.sare.org>)

Korijeni mogu lako dobiti kisik i riješiti se ugljičnog dioksida. Kada je tlo loše obrađeno, propada i agregati tla se razgrađuju, uzrokujući povećano zbijanje i smanjenu aeraciju i skladištenje vode. Sloj tla može postati toliko zbijen da korijenje ne može rasti.

## 2.7. Sastav zraka u tlu

Plinovita sastavnica tla je dio pedosfere smještena u sustavu pora koje nisu ispunjene vodom. Zrak i voda u tlu predstavljaju konkurentski odnos. Zrak tla sastoji se od različitih plinova koji dolaze u tlo iz atmosfere ili se stvaraju u tlu. Najvažnije su razlike u odnosu na zrak u atmosferi u tome što je on u pravilu veći dio godine potpuno zasićen vodenom parom, bogatiji ugljikovim dioksidom, a siromašniji kisikom.

Zrak tla potječe uglavnom iz atmosfere, dok dio plinova se stvara i u tlu kao posljedica mikrobiološko – kemijskih procesa. Sadržaj ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) i kisika (O<sub>2</sub>) u zraku tla i atmosferi približno je jednak, što znači da ako u tlu ima više kisika, biti će manje ugljikovog dioksida, što i obrnuto.

Odnos CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> u tlu ovisi o aeraciji (prozračnosti tla). CO<sub>2</sub> se u tlu oslobađa disanjem korijena biljke i mikrobiološkom razgradnjom organske tvari (Jug, I. 2015.).



Pa samim tim je CO<sub>2</sub> veći u ljetnom razdoblju i veći je u tlima s većom biološkom aktivnosti, kao što su humozna tla, nego u mineralim tlima niske biološke aktivnosti, veći je u vlažnom nego u suhom tlu, u težem nego u lakšem, u bestrukturnom nego u dobro prozračnom (strukturnom) tlu.

Visok sadržaj ugljikovog dioksida ne djeluje štetno na rast biljke, dok do oštećenja biljke dolaze neizravno zbog nedostatka kisika.

U tlima s malom prozračnosti, u uvjetima redukcije u malim količinama nastaju: amonijak (NH<sub>3</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), sumporovodik (H<sub>2</sub>S), vodik (H<sub>2</sub>) i dr. Njihova je pojava indikator nepovoljnog stanja tla, narušeni vodozračnih prilika u tlu jer mogu nastati samo u uvjetima nedostatka kisika.

### **3. ORGANSKA TVAR TLA**

S novim naglaskom na održivu poljoprivredu dolazi do ponovnog buđenja interesa za zdravlje tla. Ranije znanstvenici i poljoprivrednici su bili itekako svjesni važnosti kvalitete tla i organske tvari za produktivnost tla nakon što su vidjeli kako plodna zemlja postaje neproduktivna.

Charles Darwin, prirodoslovac 19. stoljeća koji je razvio modernu teoriju evolucije, proučavao je i pisao o važnosti glisti za kruženje hranjivih tvari i općoj plodnosti tala. Na prijelazu iz 20. stoljeća bilo je ponovno uvažavanje važnosti zdravlja tla.

Znanstvenici su shvatili da "istrošena" tla, čija produktivnost drastično opada, rezultat su uglavnom iscrpljivanja organske tvari u tlu. Uz dostupnost jeftinih gnojiva i veće poljoprivredne opreme nakon Drugog svjetskog rata, te uz dostupnost jeftine vode za navodnjavanje u sušnim krajevima, mnogi su ljudi zaboravili ili zanemarili važnost organske tvari koja je važna u promicanju visokokvalitetnog tla.

Ljudi su bili svjesni da hrana koju su koristili za prehranu, izrasta iz tla te su mnoge kulture smatrale tlo kao središte za svoje živote. Naši preci koji su se prvi bavili poljoprivredom, bili su zadivljeni vidjevši kako se život ponovno rađa svake godine kada sjeme u tlu proklija i potom naraste do svoje zrelosti. U mnogim kulturama smatralo se da su tlo i ljudski život isprepleteni. Posebno poštovanje prema tlu bio je dio kultura mnogih civilizacija, pogotovo Indijanskih plemena.

John Evelyn tijekom 1670 - ih u Engleskoj, opisao je važnost gornjeg sloja tla i objasnio da se produktivnosti tla s vremenom gubila. Napominjao je da se plodnost može održavati pomoću dodavanja organske tvari.



Slika 5. Shematski prikaz pedološkog profila tla (Izvor: <https://slidetodoc.com>)

### 3.1. Važnost organske tvari u tlu

Plodno i zdravo tlo osnova je zdravih biljaka, životinja i ljudi, a organska tvar tla sam je temelj za zdravo i produktivno tlo. Razumijevanje uloge organske tvari u održavanju zdravog tla ključno je za razvoj ekološki prihvatljivih poljoprivrednih praksi.

Organska tvar, koja čini samo mali postotak većine tala, jaka je važna, a razlog je taj što organska tvar pozitivno utječe te ima modificiran učinak, u biti na sva svojstva tla, i to je ono što tlo čini plodnim. To je razlog zašto je toliko važno za naše razumijevanje zdravlje tla i kako bolje upravljati tlama.

Osim što funkcionira u velikom broju ključnih uloga koje promiču procese u tlu i rast usjeva, organska tvar u tlu kritičan je dio brojnih globalnih i regionalnih ciklusa. Istina je da možemo uzgajati biljke na tlama s malo organske tvari.

Zapravo, uopće ne moramo imati tlo. Iako hidroponski sustavi od šljunka i pijeska, pa čak i aeroponika (gdje se hranjiva otopina raspršuje izravno na korijenje biljaka) bez tla, mogu uzgajati izvrsne usjeve, veliki sustavi ovog tipa mogu imati ekološke probleme i ekonomski su smisleni samo za ograničen broj visokovrijednih usjeva uzgajanih u blizini njihovih tržišta.

Također, istina je da postoje i druga važna pitanja osim organske tvari kada se razmatra zdravlje tla.

Međutim, kako se organska tvar u tlu smanjuje, postaje sve teže uzgajati biljke, jer su sve češći problemi s plodnošću, dostupnošću vode, zbijenošću, erozijom, parazitima, bolestima i kukcima (Magdoff, F., Harold, E. 2021.). Dolazi do veće potrebe za korištenjem gnojiva, vode za navodnjavanje, pesticida i uporabom strojeva da bi održali prinose unatoč iscrpljenju organske tvari.

Ako pozornost posvetimo pravilnim upravljanjem organskom tvari, tlo može podržati dobar urod uz manje potrebe za navedenim postupcima.

### **3.2. Sadržaj i značaj organske tvari**

Kada se biljni ostaci vrate u tlo, razni organski spojevi podliježu razgradnji. Razgradnja je biološki proces koji uključuje fizičku razgradnju i biokemijsku transformaciju složenih organskih molekula mrtvog materijala u jednostavnije organske i anorganske molekule (Juma, 1998.).

Organska tvar se sastoji od različitih komponenata koje se mogu grupirati u tri glavne vrste:

- ✚ biljni ostaci i živa mikrobiomasa,
- ✚ aktivna organska tvar tla - detritus,
- ✚ stabilna organska tvar tla – humus.

Živa mikrobna biomasa uključuje mikroorganizme odgovorne za razgradnju biljnih ostataka i aktivnu organsku tvar ili detritus tla, dok je humus stabilna frakcija organske tvari tla koja je nastala sukcesivnim razlaganjem mrtvog materijala i modificirane organske tvari (Juma, 1998.). Taj se proces naziva humifikacija.

Prve dvije vrste organske tvari doprinose plodnosti tla jer se razbijanjem ovih frakcija rezultira oslobađanje biljnih hranjivih tvari kao što je dušik, fosfor, kalij i dr., dok humusna frakcija ima manji utjecaj na plodnost tla jer je konačni produkt razgradnje. Međutim, još uvijek je važan za tlo jer doprinosi strukturi tla, obradi tla i kationskom izmjenjivačkom kapacitetu (CEC), te je također frakcija koja potamni boju tla (Juma, 1998.).

Kontinuirano dodavanje raspadajućih biljnih ostataka na površinu tla doprinosi biološkoj aktivnosti i procesu kruženja ugljika u tlu. Razgradnja organske tvari u tlu te rast i propadanje korijena također pridonose tim procesima.

Razgradnja organske tvari uglavnom je biološki proces koji se događa prirodno. Njegovu brzinu određuju tri glavna čimbenika: organizmi u tlu, fizički okoliš i kvaliteta organske tvari (Brussaard, 1994.).

Količina organske tvari u tlu utječe na mogućnost rasta biljaka te na proces nastanka tla koji je usko povezan s njenom prisutnošću. Količina organske tvari je mala, u odnosu na mineralni dio, no ipak ima veliki značaj.

Organska tvar tla čini samo 1% - 5% mase tla, ali ima ključnu ulogu u zdravlju tla jer ima snažan učinak na svojstva i funkciju tla. Od ukupne nežive organske tvari tla, na humus otpada 60 – 80%.

Prisutnost organske tvari je karakteristično svojstvo tla, zbog čega se ono razlikuje od matičnog supstrata. Supstrat postaje tlo, tek onda kada se u njemu pojavi organska tvar (Crnogorac, J. 2019.).

Sastav organske tvari čine različiti organski spojevi u čijem sastavu su pored ugljika i vodika uglavnom kisik, dušik, fosfor i sumpor. Intenzitet nastanka i razgradnje organske tvari je uravnotežen u tlima pod prirodnim biocenozama, zbog toga su takva tla sa stabilnim sadržajem humusa. Općenito je poznato da organska tvar daje tlu željeno fizičko stanje.

Dva su procesa transformacije:

- ✚ mineralizacija - razgradnja do konačnih mineralnih tvari CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> + biogeni makro i mikroelementi,
- ✚ humifikacija - proces sinteze humusnih tvari ili humus.

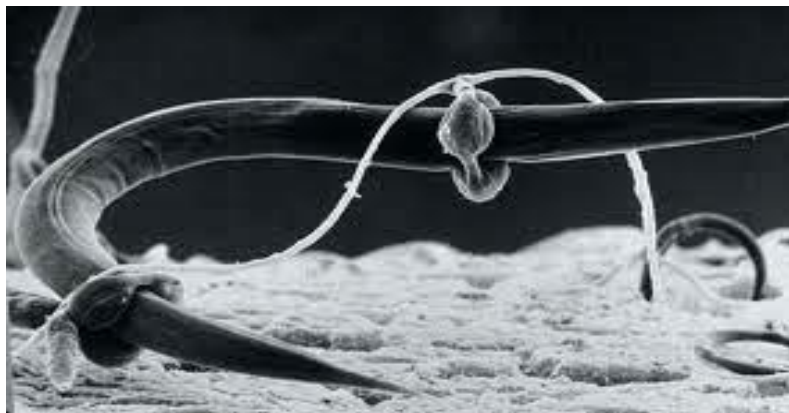
### 3.2.1. Živi dio organske tvari

Živi dio organske tvari u tlu uključuje široku paletu mikroorganizama, kao što su bakterije, virusi, gljive, protozoe i alge. Uključuje i korijenje biljaka, kukce, kišne gliste i veće životinje (krtice, zečevi i dr.) koji dio svog vremena provode u tlu. Živi dio predstavlja oko 5% ukupne organske tvari tla. Raspon organizama u tlu je toliko velik da se procjenjuje da oni predstavljaju oko 25% ukupne svjetske biološke raznolikosti.

Mikroorganizmi, gliste i kukci hrane se biljnim ostacima i stajskim gnojem a pritom miješaju organsku tvar u mineralno tlo. Osim toga, recikliraju biljne hranjive tvari.

Ljepljive tvari na koži glista i drugi materijali koje proizvode gljive pomažu u povezivanju čestica. To pomaže u stabilizaciji agregata tla, koji su nakupine čestica koje čine dobru strukturu tla.

Korijenje biljaka također je u značajnoj interakciji s različitim mikroorganizmima i životinjama koje žive u tlu. Drugi važan aspekt organizama u tlu je da su u stalnoj međusobnoj borbi.



Slika 6. Interakcija između nematode i gljive (Izvor: <https://microbewiki.kenyon.edu>)

Dakle, živi dio tla odgovoran je za održavanje dostupnosti zraka i vode, osiguravanje hranjivih tvari za biljke, razbijanje onečišćujućih tvari i održavanje strukture tla.

### 3.2.2. „Mrtva” organske tvari tla - svježi ostaci

Svježi ostaci sastoje se od nedavno uginulih mikroorganizama, insekata, glista, starog korijenja biljaka, ostataka usjeva i nedavno dodanog gnojiva. U nekim slučajevima dovoljan je samo njihov pogled da se utvrdi podrijetlo svježih ostataka.

Ovaj dio organske tvari u tlu je aktivna ili lako razgradljiva frakcija. Ova aktivna frakcija organske tvari u tlu glavna je opskrba hranom za različite organizme - mikroorganizme, kukce i gliste - koji žive u tlu.

Organski kemijski spojevi koji nastaju tijekom razgradnje svježih ostataka također pomažu u vezivanju čestica tla i daju tlu dobru strukturu.

Neke organske molekule koje se izravno oslobađaju iz stanica svježih ostataka, kao što su proteini, aminokiseline, šećeri i škrob, također se smatraju dijelom ove svježe organske tvari, drugim riječima ih nazivamo nehumne organske tvari (organske molekule). Ove molekule općenito ne traju dugo u tlu.

Ugljikohidrati se u tlu javljaju u tri glavna oblika: slobodni šećeri u otopini tla, celuloza i hemiceluloza; složeni polisaharidi; te polimerne molekule različitih veličina i oblika koje su snažno vezane za koloide gline i humusne tvari (Stevenson, 1994.). Jednostavni šećeri, celuloza i hemiceluloza, mogu činiti 5-25 % organske tvari u većini tala, ali ih mikroorganizmi lako razgrađuju.

Polisaharidi pospješuju bolju strukturu tla svojom sposobnošću da vežu anorganske čestice tla u stabilne agregate. Ostala svojstva tla na koja utječu polisaharidi uključuju CEC, zadržavanje aniona i biološku aktivnost.

Lipidi tla čine vrlo raznoliku skupinu materijala, od kojih masti, voskovi i smole čine 2-6 % organske tvari tla. Značaj lipida proizlazi iz sposobnosti nekih spojeva da djeluju kao hormoni rasta. Drugi mogu imati depresivan učinak na rast biljaka.

Dušik se uglavnom nalazi (> 90 %) u organskim oblicima kao aminokiseline, nukleinske kiseline i aminošećeri. Male količine postoje u obliku amina, vitamina, pesticida i produkata njihove razgradnje, itd. Ostatak je prisutan u obliku amonijaka ( $\text{NH}_4^-$ ) i zadržavaju ga minerali gline.

Na ovu aktivnu frakciju snažno utječu vremenski uvjeti, stanje vlage u tlu, faza rasta vegetacije, dodavanje organskih ostataka i kulturni postupci, kao što je obrada tla. To je glavna zaliha hrane za razne organizme u tlu.

### 3.2.3. *Humus*

Humus ili humificirana organska tvar preostali je dio organske tvari koju su koristili i transformirali mnogi različiti organizmi u tlu. To je relativno stabilna komponenta koju čine huminske tvari, uključujući huminske kiseline, fulvokiseline, himatomelanske kiseline i humini (Tan, 1994.). Pojednostavljeno rečeno humus je biološki aktivna ili živa frakcija ugljika u tlu.

Humus je rezultat uzastopnih koraka u razgradnji organske tvari. Oko 35-55 % neživog dijela organske tvari čini humus. Dodavanje i povećanje organske tvari u našim tlima posebno je važno za izgradnju humusa.

Humus se ne pojavljuje u određenom čvrstom ili tekućem stanju, ali se često opisuje kao da ima konzistenciju poput plazme ili gela. Humus, čija je boja od smeđe do crne, najrasprostranjeniji je organski materijal koji pohranjuje ogromne količine ugljika, također sadrži velike količine dušika, uglavnom u obliku pravih proteina i aminokiselina, te manje količine fosfora i sumpora. Proteinske tvari su vezane za središnju jezgru molekule humusa (Stevenson, 1989).

Humus ima mnoge prednosti, a jedna od najvažnijih je da humus drži svoju težinu u vodi. Osim toga, humus pohranjuje nitratni dušik zaustavljajući ga iz ispiranja i povećava kapacitet kationske izmjene tla (CEC) .

Kako se humus raspada, njegove komponente se mijenjaju u oblike koje mogu koristiti biljke.

Humus se ne može lako razgraditi zbog svoje intimne interakcije s mineralnim fazama tla i kemijski je previše složen da bi ga koristila većina organizama. Prepoznatljivi fragmenti neraspadnutog ili djelomično razgrađenih ostataka, uključujući ostatke mikroorganizama, mogu se držati unutar agregata u prostorima koji su premali za pristup organizmima. Na neki način se ponašaju kao da su “vrlo mrtvi” jer su nedostupni organizmima.

Kada se ovi agregati razbiju smrzavanjem i odmrzavanjem, sušenjem i ponovnim vlaženjem ili obradom tla, zarobljeni organski fragmenti i jednostavne organske tvari adsorbirane na glini mogu postati dostupne mikroorganizmima i lako razgradive (Magdoff, F., Harold, E. 2021.).

Budući da je velik dio organske tvari u tlu tako dobro zaštićen od razgradnje, fizički i kemijski, njezina starost u tlu može doseći i stotine godina. No, iako je humus zaštićen od raspadanja, njegova kemijska i fizikalna svojstva čine ga važnim dijelom tla.

### 3.2.3.1. Spojevi i funkcija humusa

Jedna od najupečatljivijih karakteristika humusnih tvari je njihova sposobnost interakcije s metalnim ionima, oksidima, hidroksidima, mineralnim i organskim spojevima, uključujući otrovne onečišćujuće tvari, da tvore komplekse topive i netopive u vodi (Schnitzer, 1986.).

Formiranjem ovih kompleksa, humusne tvari mogu otapati, mobilizirati i transportirati metale i organske tvari u tlima i vodama ili se akumulirati u određenim horizontima tla. To utječe na dostupnost hranjivih tvari, posebno onih hranjivih tvari prisutnih samo u mikrokoncentraciji (Schnitzer, 1986.).

Akumulacija takvih kompleksa može doprinijeti smanjenju toksičnosti, npr. aluminija (Al) u kiselim tlima (Tan i Binger, 1986.), ili hvatanju zagađivača - herbicida poput atrazina ili pesticida kao što je teflutrin - u šupljinama huminske tvari (Vermeer, 1996.).

Huminske i fulvične tvari pospješuju rast biljaka izravno kroz fiziološke i nutritivne učinke. Neke od tih tvari djeluju kao prirodni biljni hormoni (auksini i giberilini) i sposobne su poboljšati klijanje sjemena, pokretanje korijena, unos hranjivih tvari u biljke i mogu poslužiti kao izvori N, P i S (Tan, 1994., Schnitzer, 1986.).

Neizravno, oni mogu utjecati na rast biljaka kroz modifikacije fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava tla, na primjer, povećani kapacitet zadržavanja vode u tlu i CEC, te poboljšana obrada i prozračivanje kroz dobru strukturu tla (Stevenson, 1994.).

Humus se sastoji od različitih humusnih tvari:

- ✚ fulvokiseline - frakcija humusa koja je topiva u vodi pod svim pH uvjetima, boja im je obično svijetložuta do žuto-smeđa,
- ✚ huminske kiseline - frakcija humusa koja je topiva u vodi, osim u uvjetima kiselijim od pH 2, uobičajene boje su tamno smeđe do crne,
- ✚ humin - frakcija humusa koja nije topiva u vodi pri bilo kakvom pH i koja se ne može ekstrahirati jakom bazom, kao što je natrijev hidroksid (NaOH), obično crne boje.

Pojam kiselina se koristi za opisivanje humusnih materijala jer se humus ponaša kao slabe kiseline. Fulvokiseline i huminske kiseline složene su mješavine velikih molekula. Huminske kiseline su veće od fulvo kiselina. Istraživanja sugeriraju da se različite tvari razlikuju jedna od druge na temelju njihove topljivosti u vodi.



Fulvo kiseline nastaju u ranijim fazama stvaranja humusa. Relativne količine huminskih i fulvo kiselina u tlima variraju ovisno o tipu tla i načinu gospodarenja. Humus šumskih tala karakterizira visok sadržaj fulvo kiselina, dok humus poljoprivrednih i travnjačkih površina sadrži više huminskih kiselina.

### 3.2.3.2. Formiranje humusa

Stvaranje humusa je biološki proces. Odvija se u dva koraka. Prvo se organske tvari i minerali u tlu raspadaju. Zatim se razvijaju potpuno nove kombinacije ovih proizvoda. To dovodi do početnih faza humusa. U gornjoj Zemljinoj kori dostupno je samo 4-12 inča (10-30 cm) tla koje sadrži humus (Hennig, E. 2015.).

Obradena tla s 2 % humusa danas se smatraju visokokvalitetnim poljoprivrednim zemljištem. Ovisno o vrsti tla, organizmi doprinose oko 8 %, ostaci biljaka i životinja oko 5 %, a zrak i voda oko 15 %. Ostalih 70 % mase tla je dakle čisto mineralnog podrijetla (Hennig, E. 2015.).

Mineralni dio tla nastaje razgradnjom i erozijom stijena. Otapanje ovih komponenti provode organizmi zvani litobioti, koji su posrednici između kamena i života. Raoul H. Francé skovao je izraz "litobiont", što znači "oni koji žive na kamenu". Litobioti su skupina mikroba koji započinju stvaranje humusa. Oni proizvode životvornu tvar od neživog minerala. Na temelju tog procesa, živa tvar, zemlja, biljke, životinje i ljudska bića mogu se početi, korak po korak, graditi (Hennig, E. 2015.).

Samo tla s optimalnom strukturnom obradom imaju sadržaj humusa od 8-10 %. Netaknuta tla u prašumama mogu u najboljem slučaju doseći 20 %. Sve šume akumuliraju humus, ali prave zalihe humusa nastaju tek tijekom tisućljeća. Nekada su se u Ukrajini mogle naći nakupine humusa poznate kao černozem (crna zemlja) (Hennig, E. 2015.).

Gotovo sve biljne zajednice (osim mahunarki i netaknutih šuma) troše više humusa nego što mogu proizvesti. Strogo govoreći, svaku žetvu i svaki rast kultiviranih biljaka prati gubitak humusa.

Izgubljeni humus ne može se nadomjestiti nikakvim mineralnim gnojivom. Listopadne šume i mješovite šume mogu osigurati vlastiti humus jer mogu koristiti vlastito odbačeno lišće. Čak i u prirodi, bez utjecaja čovjeka, humus se proizvodi samo u listopadnim šumama i na netaknutoj zemlji (Hennig, E. 2015.)

### 3.2.4. Biougljen

Druga vrsta organske tvari, ona koja je u posljednje vrijeme privukla veliku pozornost, obično se naziva crni ugljik ili ugljen (Magdoff, F., Harold, E. 2021.). Biougljen je tvar slična drvenom ugljenu koja se proizvodi spaljivanjem organskog materijala iz poljoprivrednog i šumskog otpada u kontroliranom procesu zvanom piroliza. Iako podsjeća na obični drveni ugljen, biougljen se proizvodi posebnim postupkom za smanjenje onečišćenja i sigurno skladištenje ugljika.

Kako materijali izgaraju, ispuštaju malo ili nimalo zagađujućih para. Tijekom procesa pirolize, organski materijal se pretvara u biougljen, stabilan oblik ugljika koji ne može lako pobjeći u atmosferu (Spears, S. 2018.).

Otpriblike 70 % njegovog sastava je ugljik. Preostali postotak čine dušik, vodik i kisik među ostalim elementima. Kemijski sastav biouglja varira ovisno o sirovinama koje se koriste za njegovu proizvodnju i metodama koje se koriste za zagrijavanje (Spears, S. 2018.).

Iako se tehnologija biouglja smatra novijom strategijom za sekvestraciju ugljika, praksa dodavanja ugljenisane biomase za poboljšanje kvalitete tla nije nova. Ovaj proces je modeliran prema 2000 godina staroj praksi u amazonskom slijevu, gdje su autohtoni ljudi stvorili područja bogatih, plodnih tla nazvana *terra preta* ("tamna zemlja") (Spears, S. 2018.).

Još uvijek nije jasno jesu li ta tla napravljena namjerno ili su jednostavno nusproizvod uzgoja. Plodnost *terra preta* znatno je veća od inače poznatog plodnog tla Amazone. To objašnjava zašto biljke uzgojene u tlu *terra preta* rastu brže i bogatije su hranjivim tvarima od biljaka koje se uzgajaju u susjednim tlima. Međutim, biougljen ne daje organizmima u tlu lako dostupne izvore hrane kao što to čine svježi ostaci i kompost. Tehnologija biouglja obećava ublažavanju klimatskih promjena i poboljšanju kvalitete tla, kao i smanjenju otpada i proizvodnji energije kao nusproizvoda (Spears, S. 2018.).

### 3.3. Organizmi u tlu

Iako nije vidljivo golim okom, zdravo tlo čini dinamičan životni sustav koji vrvi životom. Raznolikost organizama doprinosi hranidbenoj mreži tla. Organizmi u tlu neophodni su za održavanje dobre opskrbe biljaka hranjivim tvarima.

Veličine su u rasponu od najmanjih jednostaničnih bakterija, gljivica, algi i protozoa, preko složenijih nematoda i mikro- člankonožaca, do prepoznatljivih glista, kukaca, malih kralježnjaka i biljaka. Dok se ti organizmi hrane, rastu, kreću, odmiru i propadaju tlo, stvaraju humus koji je organski materijal u tlu, te doprinose čistoj vodi, umjerenom protoku vode, čistom zraku i najvažnije zdravim biljkama. Dok razgrađuju organsku tvar, hranjive tvari oslobađaju se u tlo u oblicima koje biljke mogu koristiti (Ingham, E.R. USDA).

U rizosferi postoji zapanjujući broj mikroskopskih organizama. "Ako imamo *"dobro tlo"*, jedan gram tla može sadržavati 75 000 vrsta bakterija, 25 000 vrsta gljiva, 1 000 vrsta protozoa i nekoliko stotina vrsta nematoda." - biologinja Elaine Ingham.

Korijen biljaka luči šećere i organske tvari koje jedu bakterije i gljive. Nematode i protozoe jedu bakterije i gljive čije dijelove izlučuju, tada korijenje biljaka upija te hranjive izlučevine. Bakterije i gljive posebno su važne za rast biljaka, a svaka na svoj način pridonosi njenom zdravlju i sposobnosti da se bori protiv štetnika i bolesti. Neke bakterije fiksiraju plinoviti dušik iz atmosfere, čineći ga dostupnim biljkama.

Drugi organizmi otapaju minerale i čine fosfor dostupnijim. Bez dovoljnih izvora hrane, organizmi u tlu nisu u izobilju i aktivni, te će stoga biti potrebno više gnojiva za opskrbu biljnim hranjivim tvarima.

Raznovrsna zajednica organizama najbolja je zaštita od velikih štetočina i problema s plodnošću tla.

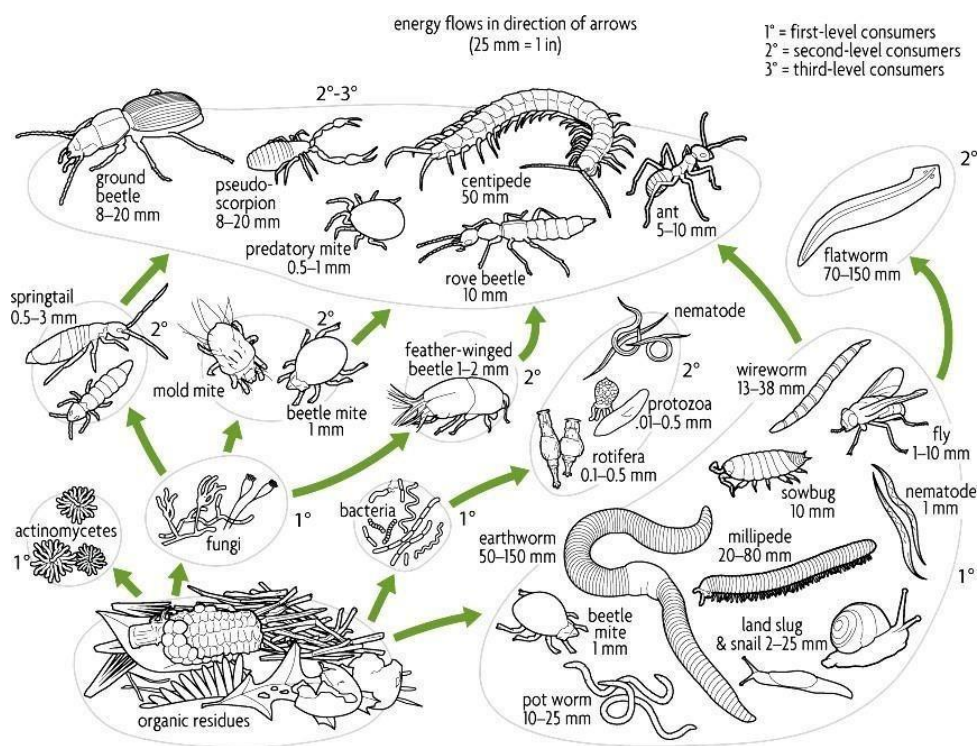
Tlo bogato organskom tvari i kontinuirano opskrbljeno različitim vrstama svježih ostataka, korištenjem pokrovnih usjeva, složenih rotacija i primijenjenih organskih materijala kao što su kompost ili životinjski gnoj, dom je mnogih raznoliki skupina organizama od tla osiromašenog organska tvar.

Ostaci su dovoljni izvori hrane za održavanje visoke populacije organizama u tlu. Dobro je imati različite vrste organizama, ali bogatiji je okoliš kada postoje i slične veličine populacije.

Na primjer, ako postoji umjerenja populacija štetnih organizama, ne želimo samo malu populaciju korisnih organizama, te tlo je biološki bogatije ako postoji i umjerenja populacija korisnih.

Dobre populacije različitih organizama pomažu osigurati da se razvije manji broj potencijalno štetnih organizama za smanjenje prinosa usjeva.

Razmjene između ovih organizama tvore mrežu života, kao i interakcije između flore i faune. Nadzemne interakcije ne bi preživjele bez podzemnih sustava i njihovog funkcioniranja.



Slika 7. Organizmi u tlu (Izvor: <https://www.sare.org>)

Kad je tlo podvrgnuto teškim tretmanima (herbicidima, kemijskim gnojivima, fungicidima ili fumigantima) koji ubijaju te organizme, dolazi do njihovog odumiranja te je ravnoteža između patogena i korisnih organizama narušena. Skupni pojam za sve ove organizme je "prehrambena mreža tla". Interakcije među tim organizmima mogu osigurati biljkama mnoge zahtjeve koji su im potrebni za rast i razvoj, što uključuje dostupnost i zadržavanje hranjivih tvari, suzbijanje bolesti i izgradnju strukture tla.

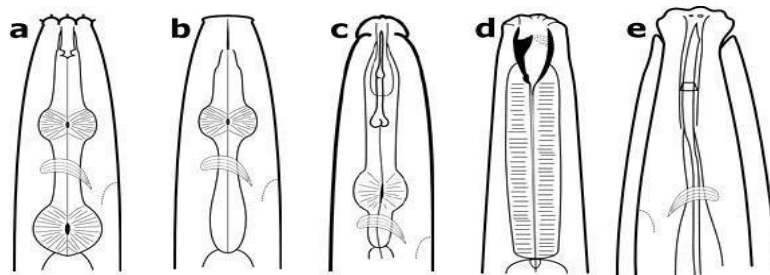
### 3.3.1. Nematode

Bakterije i gljive dominantna su komponenta mikrobne biomase, često se smatra da daju najbolji pokazatelj biološkog statusa. Međutim, bakterije i gljive teško je izmjeriti jer postoje tisuće različitih vrsta i njihova pojava u tlu odvija se u velikom broju. Također, njihovi životni ciklusi su relativno kratki (sati ili dani), pa se populacije brzo mijenjaju kao odgovor na promjene okolišnih uvjeta (vlaga i temperatura).

Nematode općenito se smatraju boljim biološkim pokazateljem zdravlja tla. Predstavljaju najbrojniju skupinu organizama u tlu i jedini su organizmi za koje se može reći da su primarni, sekundarni i tercijalni razgrađivači organske tvari u tlu.

Nematode su mikroskopski, crvolik organizmi koji žive u vodenim filmovima i vodom ispunjenim porama u tlu. Najzastupljenije su u gornjim slojevima tla gdje se nalazi organska tvari, korijenje biljaka i drugi resursi (Peterson i Luxton, 1982., Lavelle i Španjolska, 2001.).

Nematode se mogu svrstati u funkcionalne skupine na temelju njihovih prehrambenih navika, što se često može zaključiti iz strukture usta. U poljoprivrednim tlima najčešće skupine nematoda su bakterivore, fungivore, biljni paraziti, predatori i omnivore.



Slika 8. (a) bakterivore, (b) fungivore, (c) biljni paraziti, (d) predatori, (e) omnivore (Izvor: Ed Zaborski, Sveučilište Illinois)

Nematode doprinose različitim funkcijama unutar sustava tla. U poljoprivrednim tlima nematode mogu poboljšati mineralizaciju hranjivih tvari i djelovati kao biološki kontrolni agensi. Hrane se bakterijama i gljivama te doprinose održavanju adekvatne razine dušika dostupnog biljkama u poljoprivrednim tlima koji se oslanjaju na organske izvore plodnosti (Ferris i sur., 1998.).

Nematode pridonose mineralizaciji hranjivih tvari kroz svoje interakcije hranjenja. Nematode koje se hrane bakterijama troše dušik u obliku proteina i drugih spojeva koji sadrže dušik u bakterijskim tkivima i oslobađaju višak dušika u obliku amonijaka, koji je lako dostupan za upotrebu u biljkama.

Opskrba tla dušikom ovisi o kvaliteti i količini organske tvari u tlu. Mineralizacija dušika iz raspadajućih organskih ostataka odvija se kada je omjer C:N u organskom ostatku ispod 20, odnosno 20:1. Kada je omjer C:N veći od 30, brzina mineralizacije se smanjuje jer se mikrobi natječu za N kako bi zadovoljili svoje prehrambene potrebe.

Postoji niz razloga zašto se nematode obično koriste kao biološki indikatori (Stirling, G., Linsell, K.):

- ✚ nematode se javljaju u svim tlima, čak i na relativno siromašnim tlima, milijuni su na svakom kvadratnom metru,
- ✚ nematode se lako izvlače iz tla, a izvori njihove hrane mogu se utvrditi gledanjem dijelova njihovih usta pod mikroskopom,
- ✚ nematode se hrane korijenjem biljaka i svim organizmima koji žive u tlu,
- ✚ broj nematoda fluktuiraju kao odgovor na dinamiku populacije organizama koje konzumiraju, a također je pod utjecajem fizičkog i kemijskog okoliša tla.

Dodavanjem gnoja, komposta i pokrovnih usjeva s srednjim omjerom C:N (10-18) može potaknuti rast bakterija i obilje nematoda koje se hrane bakterijama, te povećati dostupnost dušika u tlu za biljke.

Nematode koje se hrane bakterijama (bakterivore), najzastupljenija su skupina nematoda u poljoprivrednim tlima. Njihova brojnost usko prati brojnost bakterijskih populacija.

Bakterivore su nematode bioindikator onečišćenja tla, te reflektiraju i povećanu količinu organske tvari u tlu (Yeates i sur., 1993.). Mineralizacija dušika u tlu događa se višom stopom kada su prisutne nematode koje se hrane bakterijama nego kada ih nema.

Nematode koje se hrane gljivama (fungivore), relativno su rasprostranjene u tlima koja se ne obrađuju i višegodišnjim sustavima. Pojavljuju se često pri povećanju kiselosti tala. Poput nematoda koje se hrane bakterijama, nematode koje se hrane gljivama doprinose procesu mineralizacije hranjivih tvari oslobađanjem dušika i drugih biljnih hranjivih tvari iz

konzumiranog gljivičnog tkiva. Međutim, u poljoprivrednim sustavima nematode koje se hrane bakterijama obično oslobađaju više anorganskog dušika nego nematode koje se hrane gljivama. Pripadaju sekundarnim razgrađivačima organske tvari u prirodi (Yeates i sur., 1993.).

Većina biljnih parazitskih nematoda hrani se korijenjem biljaka. Neke se vrste pričvršćuju na vanjsku površinu korijena biljaka, probijajući korijensko tkivo kako bi usisali stanični sadržaj, dok druge vrste probijaju i prodiru u korijenje biljaka, žive i razmnožavaju se u potpunosti unutar samog korijena. Pripadaju primarnim razgrađivačima organske tvari u prirodi (Yeates i sur., 1993.).



Slika 9. *Globodera pallida* - bijela krumpirova cistolika nematoda

(Izvor: Bonsak Hammeraas, Bioforsk - Norveški institut za poljoprivredna i ekološka istraživanja, Bugwood.org)

Predatorske nematode zanimljive su zbog svoje uloge u reguliranju populacija drugih organizama. Oni se općenito hrane manjim organizmima poput protozoa i drugih nematoda. Stoga mogu pomoći u umjerenom rastu populacije nematoda i protozoa koje se hrane bakterijama i gljivama, te pomoći u regulaciji populacija biljnih parazitskih nematoda. Predstavljaju tercijalne razgrađivače organske tvari (Yeates i sur., 1993.).

Omnivore su generalisti, jer se mogu hraniti mnogim različitim organizmima u tlu. Mogu biti grabežljivci, ali u nedostatku njihovog primarnog izvora hrane, mogu se hraniti gljivama ili bakterijama. Kako su relativno velike, osjetljive su na smetnje kao što je obrada tla. Također, osjetljive su na zagađivače i prekomjerne unose dušičnih gnojiva. Prisutnost nematoda omnivora ukazuje da je prehrambena mreža tla raznolika i relativno stabilna, dok je njihov nedostatak znak upozorenja da je biologija tla poremećena ili iscrpljena.

Udjeli različitih skupina zajednica nematoda u tlu variraju između sustava i godišnjih doba, a na njih utječu različiti čimbenici, uključujući prakse upravljanja usjevima i tlom (Freckman i Ettema, 1993.) te prisutnost i obilje prirodnih neprijatelja.

Prakse upravljanja poput obrade tla, plodoreda i korištenja organskih dodataka utječu na fizičke i biološke karakteristike tla koje utječu na obilje nematoda. Fungivore, predatori i omnivore su vrlo osjetljivi na poremećaje tla (Ferris i sur., 2001.).

Pravilno poljoprivredno upravljanje povećava brojnost nematoda u tlu, prvenstveno kroz povećanje brojnosti nematoda koje se hrane bakterijama koje su povezane s obradom tla i organskom tvari (Neher, 1999.). Uvjeti tla u sustavima poljoprivredne proizvodnje mogu se poboljšati povećanjem dostupnosti hranjivih tvari i osiguravanjem staništa za korisne organizme u tlu.

Većina istraživanja nematoda u tlima usmjerena je na nematode koje proizvode štete na korijenju biljaka, odnosno na biljne parazitne nematode, dok je manje pozornosti posvećeno nematodama koje su korisne u tlu. Iako je prisutnost korisnih nematoda vrlo često pokazatelj ekološke procjene kvalitete tala.

### **3.4. Ciklus ugljika**

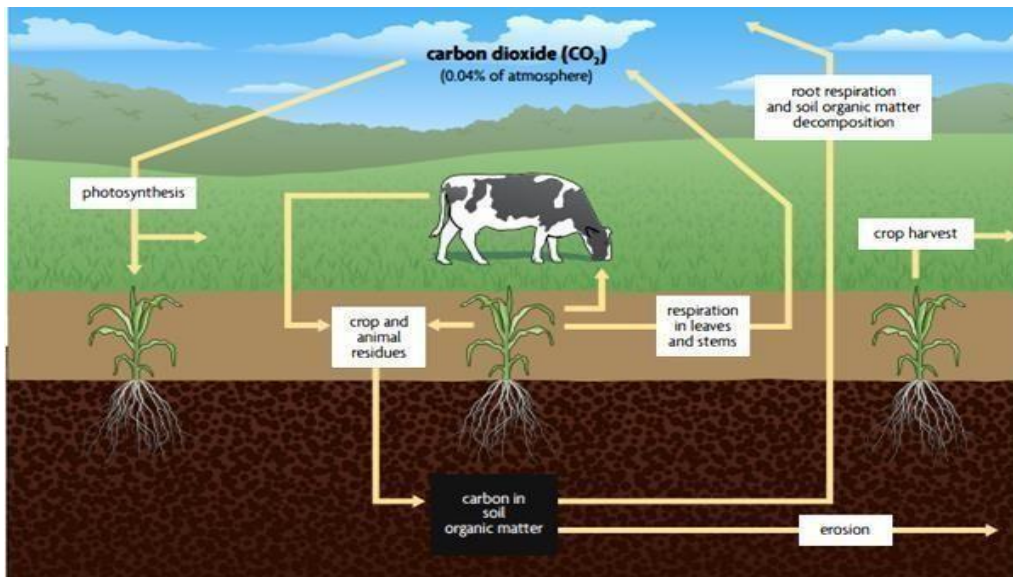
Kruženje ugljika je kontinuirana transformacija organskih i anorganskih spojeva ugljika od strane biljaka i organizama tla, biljaka i atmosfere. Ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>), energija, voda, hranjive tvari i ponovno sintetizirani spojevi organskog ugljika oslobađaju se u procesu razgradnje.

Organska tvar tla igra značajnu ulogu u brojnim globalnim ciklusima. Ljudi su postali zainteresiraniji za ciklus ugljika jer je nakupljanje ugljičnog dioksida u atmosferi primarni uzrok destabilizacije klime. Jednostavna verzija prirodnog ciklusa ugljika koja izostavlja industrijske izvore, pokazujući ulogu organske tvari tla.

Biljke uklanjaju ugljični dioksid iz atmosfere i koriste ga za stvaranje svih organskih molekula potrebnih za život. Sunčeva svjetlost daje biljkama energiju koja im je potrebna za izvođenje ovog procesa.



Biljke, kao i životinje koje se hrane biljkama, otpuštaju ugljični dioksid natrag u atmosferu dok koriste organske molekule za energiju. Ugljični dioksid se također oslobađa u atmosferu kada se izgaraju goriva, kao što su plin, nafta, ugljen i drvo.



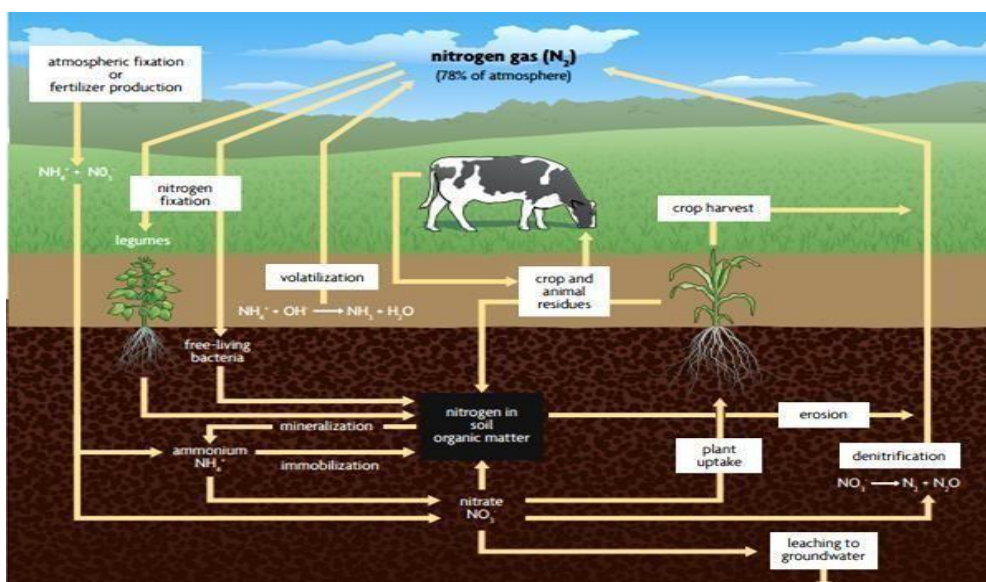
Slika 10. Uloga organske tvari tla u ciklusu ugljika (Izvor: <https://www.sare.org>)

U tlu je pohranjeno više ugljika nego u svim biljkama, svim životinjama i atmosferi zajedno. Procjenjuje se da organska tvar tla sadrži četiri puta više ugljika od živih biljaka, a zapravo je ugljik pohranjen u svim svjetskim tlima dva do tri puta veći od količine ugljika u atmosferi.

Kako se organska tvar tla iscrpljuje, ona postaje izvor ugljičnog dioksida za atmosferu. Također, kada se šume krče i spaljuju, oslobađa se velika količina ugljičnog dioksida. Često veća količina ugljičnog dioksida emitira se iz tla kroz brzo iscrpljivanje organske tvari u tlu nakon pretvaranja šuma u poljoprivrednu praksu. Ako se organska tvar smanji s 3% na 2%, količina ugljičnog dioksida u atmosferi mogla bi se udvostručiti.

### 3.5. Ciklus dušika

Drugi važan globalni proces u kojem organska tvar igra glavnu ulogu je ciklus dušika. U poljoprivredi je od izravnog značaja jer često nema dovoljno raspoloživog dušika u tlu da bi biljke mogle najbolje rasti. Biljke mogu koristiti i nitrat i amonij, ali većina dušika koji biljke koriste preuzima se u obliku nitrata, s malom količinom amonijaka. Male količine nekih izvora aminokiselina i malih proteina mogu se apsorbirati.



Slika 11. Uloga organske tvari u ciklusu dušika (Izvor: <https://www.sare.org>)

Gotovo sav dušik u tlu postoji kao dio organske tvari, u oblicima koje biljke ne mogu koristiti kao glavni izvor dušika. Bakterije i gljive pretvaraju dio organskih oblika dušika u amonij, a različite bakterije pretvaraju amonij u nitrat.

Ovisno o razinama organske tvari u tlu, tipični usjev može dobiti 20 - 50% dušika iz mineralizirane organske tvari. Životinjski gnoj također može dati veliki doprinos biljci dostupnim dušikom u tlu.

Osim razgradnje organske tvari i stajskog gnoja, dušik se također dobiva iz nekih bakterija koje žive u tlu koje mogu "popravlјati" dušik, pretvarajući dušik u oblike koje drugi organizmi, uključujući usjevne biljke, mogu koristiti.

Također, anorganski oblici dušika, poput amonijaka i nitrata, prirodno postoje u atmosferi i ponekad su pojačani onečišćenjem zraka. Kiša i snijeg talože te anorganske oblike dušika na tlo, ali općenito u skromnim količinama u odnosu na potrebe tipičnog usjeva.

Anorganski dušik se također može dodati u obliku komercijalnih dušičnih gnojiva, što je za većinu žitnih usjeva općenito najveći dodatak dušika.

Dušik se može izgubiti iz tla na više načina. Uvjeti tla i poljoprivredne prakse određuju opseg gubitka i način na koji se gubi dušik. Kada se usjevi uklone s polja, uklanjaju se i dušik i druge hranjive tvari.

Prilikom stavljanja nekompostiranog stajskog gnoja ili određenih oblika dušičnog gnojiva na površinu tla mogu nastati plinoviti gubici (isparavanje), što može uzrokovati gubitke i do 30%.

Nitratni oblik dušika lako se ispire iz tla i može završiti u podzemnoj vodi na razinama koje nisu sigurne za piće ili može ući u površinske vode.

Organski oblici nitrata, kao i nitrati i amonij, mogu se izgubiti otjecanjem vode i erozijom. Nakon što se oslobodi organska tvar tla, dušik se može pretvoriti u oblike koji završavaju natrag u atmosferi. Bakterije pretvaraju nitrata u dušik (N<sub>2</sub>) i u plinove dušikovog oksida (N<sub>2</sub>O) u procesu koji se naziva denitrifikacija, što može biti značajan put gubitka iz tla koje je zasićeno.

Dušikov oksid, snažan staklenički plin snažno pridonosi klimatskim promjenama, a zapravo se procjenjuje da je najveći poljoprivredni doprinos emisijama stakleničkih plinova (više od ugljičnog dioksida i metana).

### **3.6. Ciklus vode**

Organska tvar igra važnu ulogu u lokalnim, regionalnim i globalnim ciklusima vode zbog svoje uloge u promicanju infiltracije vode u tlo i skladištenja u tlu. Vodeni ciklus se također naziva hidrološki ciklus. Voda isparava s površine tla te sa listova biljaka, kao i iz oceana i jezera. Voda se zatim vraća u zemlju, obično daleko od mjesta gdje je isparila, kao kiša i snijeg. Tla s visokim sadržajem organske tvari, s izvrsnom obradom, pospješuju brzu infiltraciju kišnice u tlo i povećavaju skladištenje vode u tlu (Magdoff, F., Harold, E. 2021.).

Kada pogledamo sve češće pojavu velikih poplava u dijelovima svijeta, ukazujemo na klimatske promjene. Zsigurno klimatske promjene pogoršane su postupnom degradacijom regionalnih tala koje se uglavnom koriste za intenzivnu biljnu proizvodnju. Voda koja je ušla u tlo može biti dostupna biljkama za korištenje ili može prodrijeti duboko u podzemlje i pomoći u obnavljanju zaliha podzemne vode (Magdoff, F., Harold, E. 2021.).

Budući da se podzemna voda obično koristi kao izvor pitke vode za domove i za navodnjavanje, punjenje podzemne vode je važno. Kada je razina organske tvari u tlu iscrpljena, ono je manje sposobno prihvatiti i pohraniti vodu, a rezultiraju visoke razine otjecanja i erozije. To znači manje vode za biljke i smanjeno punjenje podzemne vode (Magdoff, F., Harold, E. 2021.).

#### 4. DEGRADACIJA TLA

Degradacija zemljišta definirana je kao gubitak ili smanjenje produktivnost zemlje, koja nastaje kao rezultat različitih prirodnih procesa, često ubrzanih antropogenim utjecajem (Lal, 1993.).

Uzroci degradacije tla uključuju poljoprivredno, industrijsko i komercijalno onečišćenje, gubitak obradivog zemljišta zbog urbane ekspanzije, prekomjerne ispaše i neodrživih poljoprivrednih praksi, te dugotrajnih klimatskih promjena (Maximillian i sur., 2019.).

Degradacija zemljišta dovodi do smanjenja kvaliteta tla i smanjenja budućeg potencijala za opstanak živih organizama (Fitzpatrick, 2002.).

Predstavlja globalnu prijetnju s tri različite kategorije: prirodna degradacija, degradacija uzrokovana ljudskim djelovanjem i dezertifikacije. Inducirana degradacija je posljedica neprimjerenog korištenja zemljišta i upravljanje, te se događa brže od prirodne degradacije (Fitzpatrick 2002).

Dezertifikacija je najteži oblik degradacije, koji se javlja u sušnim područjima i pokriva oko 40% svjetske kopnene površine (UNEP 1992.).

Brzina procesa degradacije tla ovisi o prirodnim čimbenicima (obilježja tla, klime i vegetacije) i antropogenim čimbenicima (korištenje zemljišta, upravljanje tlom i poljoprivreda proizvodnja (Lal, 2001.).

Prema izvješću Ujedinjenih naroda, gotovo jedna trećina svjetske obradive zemlje nestala je u posljednja četiri desetljeća, te je objavljeno da bi sav gornji sloj tla u svijetu mogao postati neproduktivan u roku od 60 godina ako se nastavi s trenutnim stopama gubitka.

Degradacija tla doprinosi iscrpljivanju 36 - 75 milijardi tona zemlje svake godine, te nedostatku slatke vode i ugrožava globalnu opskrbu hranom (Gobinath, i sur., 2022.).

Više od 95% hrane dobiva se iz područja uzgoja koja su klasificirana kao "rizična" od propadanja.



Slika 12. Degradacija tla (Izvor: <https://view.genial.ly/5ead3e6632376f0d7de40f6f>)

Glavni uzroci degradacije tla su erozija, opadanje organske tvari, gubitak bioraznolikosti, zbijanje, brtvljenje, točkasta i difuzna kontaminacija, onečišćenje i zaslanjivanje (Montanarella, 2007. ).

Degradacija tla obično dovodi do migracije gornjeg sloja tla koji je bogat organskim tvarima, hranjivim tvarima i životom u tlu, koji se nagomilava tijekom godina ili se transportira.

Pokazatelji degradacije tla mogu biti vizualni, fizikalni, kemijski, biološki i integrativni (Ribeiro i sur., 2009.). Vizualni indikatori mogu se dobiti promatranjem na terenu ili analizom satelitskih slika, radara ili fotografija iz zraka - boja tla, šumovito područje, prisutnosti korova, razvoj biljaka, taloženje sedimenata ( Ribeiro i sur., 2009.).

Fizički pokazatelji mogu se mjeriti analizom rasporeda čvrstih frakcija tla - rast biljke, debljina horizonta, tekstura, propusnost, poroznost, gustoća, otpornost na prodiranje, stabilnost agregata, infiltracija, površinsko otjecanje, zbijanje, zarobljavanje, temperatura i dr. (Ribeiro i sur., 2009.).

Kemijski pokazatelji mogu se mjeriti praćenjem pH vrijednosti tla, saliniteta, sadržaja organske tvari, kapaciteta kationske i anionske izmjene, kruženja hranjivih tvari i prisutnosti toksičnih ili radioaktivnih elemenata, dok biološki pokazatelji mogu uključivati mjere prisutnosti makro - i mikroorganizme, kao i njihove aktivnosti i nusproizvode ( Ribeiro i sur., 2009.).

Integrativni pokazatelji, odnosno ključni pokazatelji koriste se za procjenu kvalitete i degradacije tla. Prikupljaju osnovne informacije o sastavu, strukturi i funkcijama sustava tla. Cilj je odraziti interakcije između različitih biotički i abiotički procesa koji izražavaju prostorno - vremenske transformacije u sustavu tla, kao što su enzimske aktivnosti i agregacija (Ribeiro i sur., 2009. ).

Mjerenje svakog pokazatelja treba izražavati smjer (pozitivan, negativan, povećanje ili smanjenje, itd.) i veličinu (kao postotak u odnosu na referentnu vrijednost) varijacije, intenzitet, trajanje, i proširenje varijacije (Ribeiro i sur., 2009.). Postoje različite faze degradacije tla, i to nedegradirano, slabo degradirano, umjereno degradirano, jako degradirano i izrazito degradirano.

Tablica 1. Stupanj degradacije (Sustav procjene degradacije tla - tehnologija tla, 1996.)

Povećanje stupnja degradacije					
Indikator	ND	WD	DM	HD	ED
Frakcija uklonjena iz horizonta A (%)	<10	10-20	30-50	60-100	>100
Debljina sloja taloženja (cm)	<1	1-3	4-10	1-20	>20
Smanjenje sadržaja hranjivih tvari NPK	<1.2	1.2-1.5	1.6-2.0	2.1-5.0	>5
Povećanje sadržaja topive soli (%)	<10	10-20	21-40	41-80	>80
Povećanje izmjenjivog sadržaja Na (%)	<5	5-10	11-25	26-50	>50
Smanjenje aktivne mikrobne biomase (%)	<5	5-10	11-50	51-100	>100
Povećanje gustoće tla (x)	<1.10	1.10-1.30	1.21-1.30	1.31-1.40	>100

Stupanj razgradnje: ND – nije degradiran; WD – slabo degradiran; DM – umjereno degradiran; HD – vrlo degradiran; ED – izrazito degradiran; X= broj puta.



Tablica 2. Globalni opseg uzrokovanih ljudskim djelovanjem degradacije tla (Oldeman,1991.)

Regija	Površina zemljišta		Površina zemljišta zahvaćena različitim vrstama degradacije tla			
	Ukupno	Degradirano	Erozija vodom	Erozija vjetrom	Kemijska degradacija	Fizička degradacija
Afrika	2,966	494	227	186	62	19
Azija	4,256	748	441	222	74	12
Južna Amerika	1,768	243	123	42	70	8
Središnja Amerika	306	63	46	5	7	5
Sjeverna Amerika	1,885	96	60	35	-	1
Europa	950	218	114	42	26	36
Oceanija	882	102	83	16	1	2
Svijet	13 013	1965	1,094	548	240	83

Prema svjetskoj karti ljudskih induciranih degradacije tla, ozbiljno degradirane zemlje su uglavnom se nalazi u Africi i (Bai, 2008.). U Africi degradacija zemljišta pogađa 2/3 zemlje, od vlažnih zona do sušnih i semiaridnih zonama (ECA, 2007.). Procijenjeno je da 494 milijuna hektara zemlje u Africi zahvaćen je degradacijom tla uzrokovanom čovjekom. Azijske zemlje suočavaju se s mnogim problemima kao što su erozija tla, zaslanjivanje tla, povećanje populacije i pašnjaka te vegetativnom degradacijom (Oldeman i sur., 1991.).

Od ukupno 13,5 milijardi hektara zemljišta kojim raspolaže svjetska populacija, samo je 3,03 milijardi hektara obrađeno odnosno 22%, dok je ko 2 milijarde hektara degradiranog zemljišta (Singh, 2004.).

Glavni pokretači degradacije tla u zapadnoj i sjevernoj Europi su brtvljenje kroz urbanizaciju i razvoj infrastrukture, dok u južnoj i srednjoj Europi, glavni pokretač je vodena erozija (EEA 1999).U jugoistočnoj Europi najčešći degradacijski proces tla je erozija tla uzrokovana vodom (GIZ 2017.).

Najveće stope erozije tla u zemljama EU su u mediteranskim i alpskim zemljama, kao što su Italija, Grčka i Austrija, zbog visoke erozivnosti padalina i strme padine (Panagos i sur., 2015.).

Mnogo je čimbenika koji doprinose degradaciji tla, među kojima su najpoznatiji krčenje šuma, promjenjivi uzgoj, prekomjerna ispaša, monokultura i korištenje agrokemikalija.

Tehnika "sjeci i pali" je stara poljoprivredna praksa, za koju su mnoge studije pokazale da spaljivanje usjeva ima štetne učinke na tlo. Posljedice toga su povećana osjetljivost na eroziju tla i smanjenje hranjivih tvari.

Intenzivna je ispaša dovodi do značajnog poremećaja rasta, kvalitete i sastava vegetacije. Travnjaci od velikih pritisaka stoke gube vegetaciju pokrov, te plodnost tla postaje podložna eroziji. Brojne studije su pokazali da tijekom prekomjerne ispaše dolazi do promjena vlažnosti tla, organske tvari, sadržaja dušika i aktivnost mikroba. Ukupni ugljik u tlu je trajno smanjeno za 12% zbog prekomjerne ispaše u razdoblju od 40 godina (Li i sur. 1997). To je također uzrok erozije tla i dezertifikacija.

Mnogi poljoprivredni usjevi rasprostranjeni po cijelom svijetu uzgajani su kao monokultura dugi niz godina na istom tlu, u odsutnosti plodoređa.

Tijekom dugog razdoblja pod istom kulturom, tlo gubi hranjive tvari a njegova otpornost na insekte i štetočine je smanjena, pa su poljoprivrednici prisiljeni koristiti pesticide kako bi osigurati potreban prinos.

Korištenje umjetnih gnojiva, pesticida i drugih kemikalija, unose se u tlo teški metali i vrlo često otrovne kemikalije. Njihova neselektivna i prekomjerna uporaba ima trajni negativan učinak na kvalitetu tla i predstavlja jedan od najznačajni oblici degradacije (Osman, 2014.).

Drugi oblici degradacije tla uključuju loše upravljanje navodnjavanjem, korištenje teške poljoprivredne mehanizacije, rudarstva, rata ili neselektivno odlaganje otpada (Dragović, N., Vulević, T. 2021.).

Opseg propadanja tla u cijelom svijetu je zapanjujuć. Većina poljoprivrednih tala je u lošem ili vrlo lošem stanju. Erozija ostaje veliki globalni problem, povećanjem proizvodnje hrane smanjuje se produktivnost zemljišta.



## 5. PROCESI DEGRADACIJE TLA

Najrašireniji procesi koji dovode do degradacije zemljišta i resursa (Johnson i Lewis, 2007.):

- ✚ fizikalni – pad strukture tla, zbijanje, erozija, dezertifikacija i onečišćenje okoliša,
- ✚ kemijski – uključuju gubitak hranjivih i/ili organskih tvari, zakiseljavanje, salinizacija i onečišćenje,
- ✚ biološki – smanjenje biološke raznolikosti tla i smanjenje ukupne biomase ugljika.

### 5.1. Fizikalni procesi degradacije

Fizikalnom degradacijom tla dolazi do uništavanja strukture tla, smanjivanja poroznosti, raspršivanja čestica tla, kompresije i povećanje gustoće, konsolidacije, zbijanja i smanjivanja penetracije korijena, slabe infiltracije, otjecanje te ubrzane erozije.

#### 5.1.1. Erozija tla

Erozija tla poznata je diljem svijeta kao značajno pitanje koje zahtijeva poduzimanje koraka za upravljanje tlom. Erozija izaziva mnoge atribute koji su djelomično nepovratni i uzrokuju višestruka društvena ili ekonomska pitanja, opasnosti od poplava ili ekološke probleme, kao što je dezertifikacija sušnog zemljišta (Gobinath i sur., 2022.).

Erozija tla smatra se glavnim i najrašireniji oblik degradacije zemljišta. Eroziju tla uzrokuje aktivnost vode, a erozija vjetrom predstavlja kretanje čestica tla s jednog mjesta na drugo. Ovaj proces može biti prirodan ili ubrzan ljudskom djelatnošću. Ovisi o mnogim čimbenicima, među kojima su najvažniji konfiguracija terena (nagibi) i klimatsko meteorološki uvjeti.

Erozijski procesi se odnose na površinske migracije zemljišnog materijala i/ili matičnog supstrata pod utjecajem površinskih voda ili vjetra (Špoljar, A. 2016.).

Proces erozije odvija se u tri faze:

- ✚ odvajanje pojedinih čestica od mase tla,
- ✚ prenošenje erozijskog materijala (vodom i vjetrom),
- ✚ taloženje (depozicija).

Globalni gubitak tla zbog vodene erozije iznosi 20–30 milijardi tona godišnje (FAO i UN 2015.). Gubici tla uzrokovani erozijom vjetrom procjenjuje se na 2 milijarde tona godišnje, dok gubici tla uzrokovani obradom tla procjenjuju se na 5 milijardi tona godišnje.

Dugoročni cilj je taj da stupanj degradacije poljoprivrednih zemljišta se dovede do nulte razine (UN, Ciljevi održivog razvoja).

Veliki broj problema uz riječne obale često je uzrokovan degradacijom površine. Ovdje degradacija tla omogućuje smanjenje otjecanja vode i smanjenje sposobnosti skladištenja vode zbog brzog otjecanja vode, kao i smanjenje raznolikosti biljaka, životinja i mikroba.

Mnoge biljke, grmlje i autohtone travnate vrste igraju ključnu ulogu u upravljanju degradacijom zemljišta i imaju dodatnu prednost jednostavnog filtriranja kroz krajolik za kontrolu erozije tla (Gobinath i sur., 2022.).

Erozija, osim što smanjuje produktivnost tala, te nepovoljno utječe i na kvalitetu voda, što dovodi do odnošenja oraničnog sloja tla u vodotijekove i može prouzročiti njihovu eutrofikaciju (Racz, 1993.).

Procesi koji utječu na otjecanje vode imaju veliku važnost u analizi intenziteta erozije, a mjere kojim smanjujemo intenzitet otjecanja i stvaranja pokorice su od velike važnosti za očuvanje tla (Martić, G. 2020.).

Mjesta taloženja sedimenata unutar ili ispod polja predstavljaju dokaz erozije tla vodom. Najviše je erozija tla izražena na strmom terenu, gdje materijal tla lako se prenosi vodom.

#### *5.1.1.1. Erozija tla vodom*

Erozija vodom je uklanjanje tla vodom i transport erodiranih materijala dalje od mjesta uklanjanja. Djelovanje vode uslijed kiše erodira tlo i uzrokuje aktivnosti kao što su erozija jaruga, rovova i potoka što dovodi do nizvodnih učinaka poplava i sedimentacije.

Erozija vodom je jedan od mnogih čimbenika koji su štetni za produktivnost poljoprivrednog zemljišta, što na kraju čini zemljište potpuno neprikladnim za poljoprivredu (Sergieieva, K. 2021.).

Ovisno o uzrocima i stadijima, postoje različite vrste erozije uzrokovane vodom. Erozijsku vodom dijelimo na eroziju kišom, riječnu eroziju i morsku (jezersku) eroziju (Špoljar, A. 2016.).

Eroziju kišom dijelimo na plošnu (ravnomjeran kontinuiranu gubitak površinskog sloja tla do 5 cm dubine), brazdastu (odnošenje tla brazdama od 20 – 30 cm dubine), jaružnu (odnošenje tla i dijela matičnog supstrata na dubini od 1 – 5 m), bujičnu, dubinsku na kršu te klizišta. Riječna erozija se dijeli na dna i obala, te morska erozija se dijeli na abraziju (valovi) (Kisić, 2016.).



Slika 13. Erozijska vodena erodirana brda u Atriju, Italija (Izvor: <https://www.britannica.com>)



Slika 14. Obala u Puget Soundu, Washington (Izvor: <https://www.britannica.com>)

Brazdasta, međubrazdasta te jaružna, predstavljaju najzastupljenije oblike erozije vodom u Europi (Kisić i sur., 2005.).Brazdasta i međubrazdasta erozija pojavljuju se na poljoprivrednim tlima, a jaružna na poljoprivrednim i šumskim površinama. Lakša pjeskovita tla izloženija su eroziji vjetrom (Špoljar, A. 2016.).

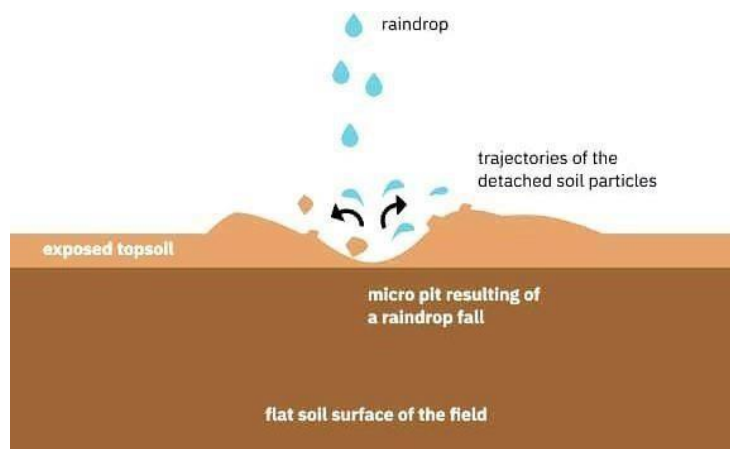
Kod sprečavanja bilo koje vrste vodne erozije i njezinih štetnih učinaka, moramo znati što svaka od tih vrsta znači i kako tretirati tlo kako bi se osiguralo da se problemi poveznai s vodom nikad ne pojave.

Moderna tehnologija uključuje praćenje parametra vlage i oborina, te nam to omogućuje da se uoči opasnost od degradacije zemljišta vodom i poduzmu na vrijeme potrebne mjere.

U Europi dominantan degradacijski proces je erozija vodom, a jako ili teško degradiranim tlima smatra se 10% površina (Van Der Knijif i sur., 2000. i Kisić, 2005.). Izgradnja kontrole brane je način kako bi izbjegli ili ublažili eroziju.

Degradacija tla uzrokovano vodom događa se u nekoliko faza i očituje se na različite načine ovisno o čimbenicima koji su ga uzrokovali.

Erozija kišom je prva faza u procesu erozije vodom. Kapi kiše u osnovi "bombardiraju" izloženu i голу zemlju, pomičući njezine čestice i uništavajući strukturu gornjeg sloja. Uzrokuje stvaranje površinske kore, negativno utječe na sposobnost infiltracije tla i na kraju rezultira stvaranjem otjecanja (Sergieieva, K. 2021.).



Slika 15. Utjecanje erozije kišom na ravna polja (Izvor: <https://eos.com>)

Erozija listova događa se kada je intenzitet oborina veći od sposobnosti infiltracije tla i rezultira gubitkom najfinijih čestica tla koje sadrže hranjive i organske tvari. Ako se ne spriječi pravodobno, jedan od najnegativnijih učinaka erozije.

Rill erozija (erozija kanala) slijedi nakon, kada se voda koncentrira dublje u tlu i počne stvarati brže protočne kanale. Ovi kanali mogu biti duboki do 30 cm i uzrokovati odvajanje i transport čestica tla. Može na kraju evoluirati u eroziju jaruga. Erozija jaruga je napredna faza oštećenja zemljišta od vode kada su površinski kanali erodirani do te mjere da ni zahvati obrade ne bi bili od pomoći (Sergieieva, K. 2021.).

Osim što uzrokuje velike gubitke tla i uništava poljoprivredna zemljišta, to također rezultira smanjenjem kvalitete vode povećanjem opterećenja sedimenta u potocima.

Erozija tunela je takozvani “skriveni” tip degradacije zemljišta vodom koja može uzrokovati ozbiljne poremećaje čak i prije nego što se okom uoče bilo kakvi znakovi. Počinje kada se velika vodena masa počne kretati kroz strukturno nestabilno tlo. Zato je obično najveća prijetnja sodičnom tlu (Sergieieva, K. 2021.).

Teška degradacija zemljišta vodom može negativno utjecati na ekosustave uzrokujući poplave. Isprani gornji sloj tla gubi sposobnost upijanja vode, što uvelike povećava mogućnost poplave na područjima koja su tome predisponirana. Poplave se mogu biti izuzetno ometajuće u mjeri u kojoj će uništiti ceste i zgrade. Zato je ključno uočiti negativne promjene u zdravlju poljoprivrednog zemljišta kako bi se spriječilo da situacija dođe do te točke.

#### *5.1.1.2. Erozija tla vjetrom (eolska erozija)*

Erozija vjetrom nastaje djelovanjem vjetra na površinu tla i proces je odnošenja sitnih čestica tla. Ozbiljan je problem u mnogim dijelovima svijeta, posebno u sušnim i semiaridnim regijama. Eolska erozija (erozija vjetrom) vrlo se rijeko zbiva na tlima zaštićenim prirodnom vegetacijom, a osobito su ugrožene poljoprivredne površine. Ona ovisi o pedološkim značajkama, klimatskim prilikama i o ljudskoj aktivnosti.

Kao i vodena erozija, erozija vjetrom ima dvije faze: odvajanje i kretanje. Kako vjetar puše, čestice tla se pomiču i počinju se kotrljati ili odbijati duž površine tla u procesu koji se naziva salatacija.



Veće čestice tla mogu se kretati na relativno kratke udaljenosti na ovaj način, ali kako se velike čestice odbijaju i udaraju u manje čestice i agregate, one daju energiju potrebnu za razbijanje agregata i suspendiranje manjih čestica u zraku. Manje čestice ostaju suspendirane u zraku dulje vrijeme i stoga je vjerojatnije da će prijeći mnogo veće udaljenosti. Kao i u slučaju vodene erozije, modeli koji ispituju čimbenike važne u eroziji vodom korisni su u predviđanju erozije vjetrom (Saxton i sur., 2000.).



Slika 16. Erozijski proces vjetrom (Izvor: <https://pediaa.com>)

Vrlo je teško identificirati erozijske procese vjetrom s obzirom da zahvaćaju šire područje a čestice tla se raznose zračnim strujama u okoliš (Kisiću, 2016.).

Kako bi se smanjila erozija vjetrom, koriste se mjere temeljene na smanjenju snage vjetra ili se koriste povećanje otpornosti površine tla.

Erozivnost klime i erodibilnost tla predstavljaju glavne pokazatelje koji određuju erozijske procese vjetrom. Tla koja sadržavaju veće količine organske tvari podložnija su, zbog manje volumne gustoće eolskoj eroziji, u odnosu na mineralna tla (Špoljar, A. 2016.). Erozivnost klime ovisi o brzini vjetra, negativnim temperaturama, sadržaju vlage u tlu, količini i rasporedu oborina, evaporaciji i vegetacijskom pokrovu (Špoljar, A. 2016.).

Različita zastupljenost ovih klimatskih elemenata određuje intenzitet, učestalost i trajanje eolske erozije (Kisić, 2017.).

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 (Špoljar, A. 2016.).

Posljedice erozije vjetrom su emisije prašine koje su najveći izvor aerosola, a direktno ili indirektno utječu na ravnotežu atmosferske radijacije čime utječu na klimatske promjene, okoliš, ljudsko zdravlje i gospodarske aktivnosti.

Erozija vjetrom uvelike utječe na pad plodnosti tla. Uzrok je odnošenje finih čestica tla i organske tvari što predstavlja najplodniji dio tla koji sadrži hranjive tvari (Martić, G. 2020.).

Pri zaštiti tla od erozije vjetrom najprihvatljivija agrotehnička mjera je tlo obraslo vegetacijom i zadržavanje biljnih ostataka na površini tla (Špoljar, A. 2016.).

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.).

Najučinkovitiji način zaštite tla i biljaka od erozije vjetrom na obradivim površinama su vjetrozaštitni pojasevi, a koriste se i za zaštitu građevinskih objekata. U zaštiti poljoprivrednih površina vjetrozaštitni pojasevi su dopunska mjera i nužno ih je kombinirati sa zahvatima obrade tla. Pri izboru biljaka koje se koriste kao vjetrozaštitni pojasevi preporučaju se autohtone vrste (Špoljar, A. 2016.).

### *5.1.2. Zbijenost tla*

U svijetu postoji oko 68,3 mil ha zbijenog tla što čini 4% degradacije tla izazvane ljudskom aktivnošću (Osman, 2013.)

Zbijenost tla uzrokovana je dugotrajnim pritiskom na površinu tla uzrokovanom aktivnošću teške mehanizacije u preradi poljoprivrednih zemljišta ili zbog učestale ispaše i rezultirajućeg pritiska stoke tijekom ispaše. Zbijanje tla nastaje kada se čestice tla tlače uz smanjivanje prostora pora između njih (Vukadinović, V. 2017.).

Rezultat zbijanja je porast mase tla po jedinici volumena (tzv. volumna gustoća tla) uz pogoršavanje strukture tla. U prirodnim uvjetima javlja se u tlima s niskim sadržajem organske tvari tla (Martić, G. 2020.).

Učinci zbijanja tla su sa gubitak plodnosti tla zbog strukturnih promjena, a smanjenje kapaciteta infiltracije zemljišta, povećana osjetljivost na eroziju i gubitak bioraznolikost zemlje.

Neke mjere koje mogu spriječiti ili smanjiti zbijanje tla, su primjena sustava konzervacijske obrade tla, kontrolu i smanjenje prometa vozila, i izbjegavanje korištenja prevelike opreme (Raper i Kirby, 2006.).



Slika 17. Razlika između „normalnog“ i zbijenog tla (Izvor: <https://ucanr.edu>)

Brtvljenje tla uključuje pokrivanje površine tla s nepropusnim materijalom. Glavni razlozi za brtvljenje tla su urbanizacija, povećanje u prometnu infrastrukturu i migracija stanovništva (Montanarella, 2007.). Zabilježena je najveća stopa brtvljenja od 16 – 20% u europskim zemljama (Belgija, Danska i Nizozemska) zbog rasta stanovništva i industrijskog razvoja (Kertész, 2009.).

Posljedice brtvljenja tla su povećanje u rizik od poplava, poremećaja vode i tokovi plina, smanjenje podzemnih voda, zagađenje voda, te gubitak zemlje i bioraznolikost.

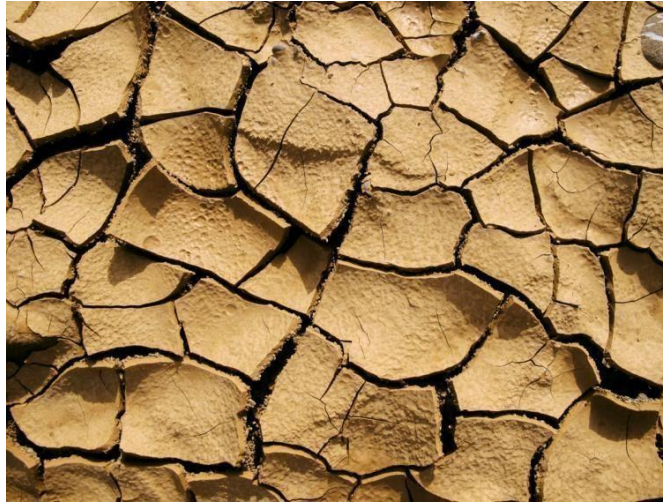
### 5.1.3. Pokorica

Posljedica propadanja strukturnih tala je nastanak pokorice. Uzroci nastanka pokorice su zbijanje površine tla, velika evaporacija i mala infiltracija. Pokorica kao tanki gusti površinski sloj tla je tvrd, kompaktan i lomljiv kada je suh te ima nisku poroznost, veliku gustoću, nisku propusnost vode i zraka.



Pore su zatvorene zbog narušavanja strukture tla, bubrenjem gline ili mehaničkog zbijanja tla. Stvaranju pokorice posebno su sklona tla siromašna humusom i kalcijom te tla bogata frakcijom praha.

Ujedno tla koja imaju povećanu koncentraciju  $\text{Na}^+$  sklonija su stvaranju pokorice jer Na djeluje kao peptizator (raspršuje čestice tla). Aktivnost korijena usjeva i korisnih mikroorganizama je manja na tlima s pokoricom (Matić, G. 2020.).



Slika 18. Pokorica tla (Izvor: <https://www.thedailygarden.us>)

#### 5.1.4. Dezertifikacija

Prema Konvenciji Ujedinjenih naroda za borbu protiv dezertifikacije, dezertifikacija je degradacija zemljišta koja je posljedica različitih čimbenika u rasponu od prirodnih uzroka, kao što su klimatske varijacije, do ljudskih aktivnosti, kao što su prekomjerna ispaša, krčenje šuma i neodrživost poljoprivredne djelatnosti (EU, 2018.).

Usljed dezertifikacije dolazi do neželjene promjene vodnog režima tla pri čemu se plodna tla isušuju i pretvaraju u „pustinje“, te uzrokuje propadanje ili potpuno uništenje vegetacije jer tla koja su degradirana procesima dezertifikacije imaju izrazito nisku plodnost ili su potpuno „jalova“. Dolazi do gubitka osnovnih funkcija neophodnih za život na Zemlji, gubitka proizvodnih funkcija i biološke raznolikosti.

Područja s aridnom i semiaridnom klimom su najpogodnija područja za razvoj dezertifikacije. Tla bez vegetacije su sklonnija povećanoj evaporaciji koja rezultira pretjeranim isušivanjem tla.

Do oštećenja biljnog pokrova dolazi kod pretjerane ispaše stoke, odnosno kada je količina stoke po jedinici površine u postojećim suhim klimatskim uvjetima prevelika (Martić, G. 2020.).



Slika 19. Dezertifikacija u Africi (Izvor: <https://www.dgb.earth>)

Krčenje šuma i požari su uzroci uništavanja prirodne vegetacije te su takva tla podložnija eroziji jer tlo koje je degradirano procesima dezertifikacije podložnije je eroziji zbog nedostatka pokrova prirodnom vegetacijom i zbog nesposobnosti za proizvodnu funkciju.

Dezertifikacija ima utjecaj na ciklus ugljika zbog posljedica uništavanja prirodne vegetacije i deforestacije te dolazi do povećanja koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi i pojave efekta staklenika koji uzrokuje povećanje količine ugljika u atmosferi, izgaranje fosilnih goriva kao i masovan uzgoj stoke koji ima za posljedicu oslobađanje sva tri plina zajedno (Martić, G. 2020.).

Narušavanje ravnoteže produkcije organske tvari (vezanja ugljika) i razgradnje organske tvari (oslobađanje ugljika), dovodi do daljih procesa dezertifikacije (Martić, G. 2020.).

Jedan od vrlo važnih posljedica dezertifikacije je negativan utjecaj na smanjenje rezervi svježje pitke vode, odnosno direktan utjecaj na količinu i tokove riječne vode te na razinu podzemnih voda.

Oko 33% globalnog područja procjenjuje se osjetljivim do dezertifikacije. Zbog dezertifikacije se svake godine izgubi oko 12 milijuna hektara zemljišta za preradu. Glavni globalni problem uzrokovan dezertifikacijom je gubitak biološka i ekonomska produktivnost zemljišta (EU 2011.).

Neke od mjera koje treba primijeniti u cilju suzbijanja dezertifikacije su: uvođenje politika za mijenjanje obrazaca korištenja zemljišta i metoda za uzgoj poljoprivrednih kultura, obrazovanje stanovništva i uvođenje novih tehnologija tla, uključujući poboljšano upravljanje vodama i primjena dobrih praksi.

## **5.2. Kemijski procesi degradacije tla**

Kemijski procesi degradacije tla predstavljaju degradaciju tla koja uključuje gubitak hranjivih tvari ili organske tvari, zaslanjivanje, zakiseljavanje, onečišćenje tla i pad plodnost tla. Uklanjanje hranjivih tvari smanjuje sposobnost tla da podrži rast biljaka i proizvodnju usjeva te uzrokuje zakiseljavanje.

Kao i kod gubitka tla, važno je utvrditi koliko je kemijska degradacija podnošljiva. Razlika je u tome što se za razliku od gubitka tla, koji je u kratkom roku u osnovi nepovratan, kemijska degradacija se može u nekim slučajevima anulirati (višak kiselosti može se lako neutralizirati kalcizacijom), međutim nakupljanje onečišćivača do toksičnih razina može biti ireverzibilno (Logan, 1990.).

Degradacija kemijskih svojstava tla može biti uzrokovana prirodnim procesima (erupcija vulkana, požari, itd.), te primjenom agrokemikalija kao i posljedica kemijske kontaminacije tla zbog prekomjernog ili nepravilnog odlaganja otpada (Jug, 2013.).

### *5.2.1. Acidifikacija (zakiseljavanje) tla*

Zakiseljavanje, kao i salinizacija, težak je oblik degradacije koja rezultira smanjenjem potencijal proizvodnje poljoprivrednog zemljišta. Proces zakiseljavanja sprječava biljke da koriste vodu, što rezultira isušivanjem i erozijom, te uzrokuje povećano ispiranje hranjivih tvari i nepovratno razgradnja silikatnih minerala u tlu (Fitzpatrick, 2002.).

Kiselost tla je prirodan proces koji se može ubrzati ljudskom aktivnošću i posebno je izražena u područjima s manje oborina. Upravljanje kiselim tлом uključuje praćenje pH vrijednosti tla, razumijevanje tolerancije usjeve i pašnjake na kiselost i tretiranje površina s neutralizatorima kako bi se spriječila kiselost.

Na proces zakiseljavanja tla utječu: genetsko evolucijski stadij razvoja tla (tip tla), klimatski uvjeti, organizmi i čovjek (Špoljar, A. 2016).

Prirodno zakiseljavanje tla može biti geogenog ili pedogenog porijekla (Mesić i sur., 2009.). Geogeno porijeklo kiselosti tla rezultat je razvoja tla na kiselom matičnom supstratu, dok je kiselost pedogenog podrijetla u svezi s neutralnim i bazičnim stijenama. Tla koja se razvijaju na kiselim stijenama nazočno stalno daljnje zakiseljavaju tla.

Kod povećane količine oborina (iznad 630 mm godišnje) dolazi do ispiranja baza s adsorpcijskog kompleksa tla što uzrokuje pad pH vrijednosti tla (Vukadinović, V. i Vukadinović, V. 2011.).

Do zakiseljavanja tla dolazi zbog industrijske i rudarske aktivnosti uslijed oksidacije pirita i od kiselih taloga koji su uzrokovani emisijom sumpora i dušika.

Tijekom zakiseljavanja tla tri su ključna procesa:

- ✚ dekarbonizacija,
- ✚ debazifikacija,
- ✚ zakiseljavanje ili acidifikacija.

Zakiseljavanje tla čiji je uzrok antropogeno djelovanje je gnojidba fiziološkim kiselim mineralnim i organskim gnojivima. Gnojivka, od organskih gnojiva najviše utječe na zakiseljavanje tla, pogotovo ako se često primjenjuje na istim površinama. Na zakiseljavanje tla utječe korijenov sustav biljaka (oslobađa  $H^+$  ione pri primanju kationa), razgradnja organske tvari, nitrifikacija amonijskih gnojiva i kisele kiše.

Posljedice acidifikacije su (Jug, I. 2013.):

- pad pH vrijednosti tla,
- gubitak Ca i drugih baza (Slika 3.),
- uništavanje mikroorganizama tla,
- pogoršanje fizikalnih i bioloških svojstava tla,
- smanjenjem plodnosti tla.

### 5.2.2. *Salinizacija (zaslanjivanje) i alkalizacija tla*

Salinizacija je jedna od najraširenijih oblika degradacije tla, te predstavlja drugi glavni uzrok degradacije tla nakon erozije. Javlja se u aridnim i semiaridnim područjima, gdje je količina oborina je mala i navodnjavanje se primjenjuje bez odgovarajuće sustav odvodnje.



Međutim, može doći do salinizacije u svim klimatskim područjima ako je navodnjavanje neredovito primijenjeno i rezultat je prirodnog i ljudski induciranih procesa (FAO i UN, 2015.).

Salinizacija je definirana kao pedogenetski proces koji je potpomognut akumulacijom lakotopivih soli u tla, dok alkalizaciju definiramo kao proces nastanka alkaliziranih tala (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).



Slika 20. Salinizacija tla (Izvor: <https://agfuse.com>)

Degradacija uzrokovana salinizacijom vjeruje se da je zahvatila ukupnu površinu od oko 62 milijuna hektara, s procijenjenim globalnim gubicima od oko 27,3 milijarde USD godišnje, tijekom posljednjeg dva desetljeća (Qadir et al., 2014).

U svijetu se svakodnevno gubi oko 2000 ha obradive površine uslijed salinizacije (Shahid i sur., 2018.). Salinizacija može uzrokovati smanjenje prinosa za 10 - 25% za mnoge usjeve i može dovesti do dezertifikacije (Shahid i sur., 2018.).

Prema EEA (1995), salinizacija se događa i negativno zahvaća 3,8 milijuna hektara u Europi, s najugroženijim dijelovima u Italiji, Španjolskoj i Mađarska, između ostalih.

Najveće značajne posljedice salinizacije su gubitak plodnosti tla, smanjenje infiltracije vode, gubitak biološke raznolikosti, oštećenje infrastrukture i slabljenje tla i dr. (Montanarelli, 2007.).

Negativni učinci salinizacije mogu biti značajno ublažena poboljšanim upravljanjem vodama (navodnjavanje i odvodnja), boljim korištenjem gnojiva i primjena adaptivnih kultura.

U nekim područjima potrebno je razmotriti mogućnost promjene namjene zemljišta i prenamjene tla u kultivirano zemljište (Young i sur. 2015.).

Do zaslanjivanja može doći u poplavnim i slivenim vodama te vjetrom (Špoljar, A. 2016.).

Postoji primarni i sekundarni salinitete. Pod primarni salinitet se podrazumijeva izlučivanje soli na prirodan način (stijene zemljine kore i primarni minerali), a sekundarni salinitet je rezultat ljudske aktivnosti (voda za navodnjavanje ili alkalizirane podzemne vode).

Do zaslanjivanja dolazi na nižim reljefnim formama i u mikrodepresijama kada je razina podzemne vode unutar 1,5 m dubine tla. Kapljice mora nošene vjetrom su isto uzročnici zaslanjenja tla.

Tla su slana ako imaju više od 0,52 % soli, zaslanjena su sa 0,13 – 0,52 % soli i nezaslenja su ako imaju manje od 0,13 % soli. (Husnjak, 2014.).

Podzemne vode su uzrok salinizacije tla zbog toga što su obogaćene lakotopivim solima, čija razina se povećava u određenom dijelu godine i nakon ponovnog pada razine podzemne vode dolazi do iscjetavanja soli (eflorescencije), dok je uzrok alkalizacije tala prisutnost iona natrija iz podzemnih voda koje su obogaćene sodom.

Usljed disocijacije sode dolazi do oslobađanja velikog dijela iona natrija i pojavljuju se jako alkalna reakcija s pH vrijednosti tala od 8,5 – 11. Zbog visoke koncentracije iona natrija ne dolazi do disocijacije drugih soli, posebice 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 su tala alkalne pH reakcije (Matić, G. 2020.).

Alkalizirana tla imaju između 7 i 15 % iona natrija, a nealkalizirana manje od 7 % .Alkalna tla su izrazito nepovoljne strukture te imaju izuzetno malu infiltracijsku sposobnost (Špoljaru, A. 2016.).

Usljed visoke pH vrijednosti vodene otopine tla, biljkama je onemogućeno usvajanje gotovo svih mikroelemenata (osim Mo), te u konačnici to rezultira smanjenjem rasta biljaka, a u biljnoj proizvodnji i smanjenje prinosa.

Soloneci (alkalizirana tla) i solončaci (akutno zaslanjeno tlo) ne osiguravaju uvjete za uzgoj poljoprivrednih kultura, i zbog ova tla zahtijevaju korekciju pH tala zakiseljavanjem.

Kod akutno slanih i akutno alkalnih tala (solončak i solonec) koji imaju prisutnu podzemnu vodu problem se rješava izgradnjom kanalske mreže i drenaže (Špoljar, A. 2016.). Alkalna reakcija tla regulira se unošenjem pirita, gipsa i aluminijevog fosfora u tlu.

Za smanjenje viška sode u tlu mogu se upotrebiti kiseline kao što su: HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i dr. UREA, kao fiziološko kiselo gnojivo, može se koristiti u svrhu smanjenja bazičnosti tla (Abrol i sur., 2012).

### 5.2.3. Onečišćenje tla

Do onečišćenja tla dolazi kada koncentracija zagađivača u tlu postane tolika da šteti biološkoj raznolikosti i ugrožava zdravlje ljudi i životinja, posebice hranom.



Slika 21. Onečišćenje tla (Izvor: <https://peskiadmin.ru>)

Aktivnosti kao što su stočarstvo i intenzivna poljoprivreda koriste kemikalije, pesticide i gnojiva koja zagađuju tlo, baš kao što se događa s teškim metalima i drugim prirodnim i umjetnim kemijskim tvarima.

Zagađenje tla globalna je prijetnja koja je posebno ozbiljna u regijama poput Europe, Euroazije, Azije i Sjeverne Afrike, kako je naznačila Organizacija za hranu i poljoprivredu Ujedinjenih naroda (FAO). FAO također potvrđuje da intenzivna, pa čak i umjerena degradacija već utječe na jednu trećinu svjetskog tla. Štoviše, oporavak je toliko spor da bi bilo potrebno 1000 godina da se stvori sloj obradivog tla od 1 centimetar.

Među najčešćim uzrocima onečišćenja tla uzrokovanim ljudskim aktivnostima, ističe se industrija, rudarstvo, vojne aktivnosti, otpad (uključuje tehnološki otpad), te gospodarenje otpadnim vodama, poljoprivredu, stočarstvo, izgradnju urbane i prometne infrastrukture.

Europska agencija za okoliš (EEA) procjenjuje da 60% europsko zemljište zagađeno je industrijskim aktivnostima.

Onečišćena tla su tla u kojima se nalaze tvari koje se ne nalaze u prirodnom kemijskom, fizikalnom i biološkom sastavu tla (Jug, I. 2016.).

U ove štetne tvari ubrajaju se (Jug, I. 2016.):

- ✚ teški metali i potencijalno toksični esencijalni elementi,
- ✚ organske onečišćujuće tvari (pesticidi, industrijske kemikalije, nusproizvodi izgaranja i industrijskih procesa),
- ✚ radionuklidi,
- ✚ patogeni organizmi.

Najznačajnije posljedice kontaminacije predstavljaju opasnost po zdravlje ljudi koji žive u okoliša onečišćenog područja, onečišćenja površinskih voda, onečišćenja podzemnih voda, gubitak biološke raznolikosti i biološke aktivnosti te gubitak plodnosti tla zbog poremećaj ciklusa hranjivih tvari (Montanarelli, 2007.).

Među najčešćim štetnim zagađivačima su teški metali (37%) i mineralna ulja (33%). Broj kontaminiranih mjesta jednak je jednoj trećini zemalja Europske unije, s najveći broj praćenih kontaminiranih nalazišta (422) u Srbiji (GIZ, 2017.). Teški metali koji najčešće se pojavljuju u onečišćenju tla i okoliša 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. Fe, Mo i Mn su bitni mikroelementi čija toksičnost nije jače izražena, dok su Zn, Ni, Cu, V, Co i Cr toksični elementi (Zn, Cu i Ni pripadaju mikroelementima), a As, Cd, Hg i Pb nemaju biološku funkciju i toksični su za organizam.

Fiziološka uloga teških metala za ljude i životinje nije dovoljno poznata (Jug, 2016). Svi imaju tendenciju neograničenog nakupljanja u organizmu ljudi i životinja, kao i u biljnom tkivu, što predstavlja veliku opasnost kod uzgoja povrća na nečišćenim tlima.

Rješavanje problema teških metala u tlu moguće je pomoću provođenja kalcifikacije ili kombinirane organske i mineralne gnojidbe s kalcifikacijom, a u posljednje vrijeme preporučava se i fitoremedijacija. Fitoremedijacija je proces „izvlačenja“ teških metala iz tla pomoću biljaka koje imaju osobiti afinitet prema pojedinim teškim metalima.



Sanacija divljih odlagališta otpada vrši se na dva osnovna načina, a to su *in situ* – nema premještanja otpada i zagađenoga tla, već se otpad i tlo hermetički zatvore, te *ex situ* – otpad i zagađeno tlo se iskapaju i premještaju na novu lokaciju, tj., na prethodno uređeno sanitarno odlagalište (Petrović, D. 2018.).

PAH (Polycyclic aromatic hydrocarbons) su policiklički aromatski ugljikovodici. Oni su spojevi koji se sastoje od četiri i više prstenova benzena (fenantren, piren, krizen, fluorantren, perilen, benzo-a-piren, benzo-e-piren). Po svojoj kemijskoj građi pripadaju u trajne organske onečišćujuće tvari. Predstavljaju spojeve koji su kancerogeni i mutageni, a u tlo i okoliš dolaze različitim antropogenim emisijama. Razlikuju se prema svojoj toksičnosti za čovjeka i okoliš, te veću toksičnost pokazuju oni s više benzenskih prstenova. Njihov najpoznatiji opasni predstavnik je benzo(a)piren.

Navedeni spojevi nalaze se u ispušnim plinovima automobilskih motora, nastaju tijekom šumskih požara, vulkanskih erupcija, nedovoljnim sagorijevanjem drveta, te industrijskim procesima. Dospijevajući u okoliš, PAH-ovi mogu onečistiti vode, zrak i tlo. Hrana uzgojena u zagađenom okolišu može također sadržavati PAH-ove, pa tako ih nalazimo u voću i povrću, žitaricama, uljima, ali i mesnim i mliječnim proizvodima (Mežnarić, V.Š. 2016.).

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 pesticidi (insekticidi). Imaju kancerogeno djelovanje, djeluju na reproduksijske funkcije i imunološki sustav kod životinja.

Republika Hrvatska potpisnica je Konvencije iz Štokholma 2001. godine kojom se obvezala do 2025. godine ukloniti iz upotrebe sve proizvode koji sadrže poliklorirane bifenile (PCB). Insekticidi (aldrin, klordan, dieldrin i dr.) koji su sadržavali veliki dio ovih spojeva već su zabranjeni.

#### 5.2.4. *Fitotoksični efekt i depresija rasta*

Kao posljedica kemijske degradacije tla nastaje fitotoksični efekt i depresija rasta koji spadaju u ekološke poremećaje. Fitotoksičnost u biljkama obično se javlja kod onih koje su pretjerano osjetljive na kemikalije, te kao biljke koje su pod stresom sklonije su osjetljivosti od onih koje su dobro zalijevane i zdrave.

To se posebice odnosi na utjecaj mobilnog aluminija na kiselim tlima, kao što su pseudogleji zapadne Hrvatske, te kiselu smeđa tla Posavine i Međimurja. Ovoj kategoriji oštećenja pripada i utjecaj rezidua pesticida koji u slučaju predoziranja, naročito na tlima slabe puferne moći, dovode do kontaminacije (Jug, I. 2013.).

#### *5.2.5. Ugrožavanje akvatičnih ekosustava*

Poljoprivredna proizvodnja je izvor zagađenja akvatičnih sustava zbog ispiranja hranjivih tvari iz mineralnih i organskih gnojiva, kao i pesticida koje sadržavaju agrokemikalije (Jug, I. 2018.). Ispiranje hranjivih tvari u podzemne vode nije isto za sve elemente pa se tako najviše ispiru toplivi oblici dušika (NO<sub>3</sub> i NO<sub>2</sub>) zbog negativne sorpcije u tlu, a mogu se isprati fosfor i kalij, kalcij, magnezij i natrij, te se najmanje ispiru teški metali. Posljedice tih ispiranja su smanjenje upotrebe tih voda, kao i njihova postupna eutrofikacija.

Ispiranje tvari iz tla ne znači da su sve tvari štetne, nego one mogu uzrokovati poremećaj odnosa pojedinih bioloških vrsta u vodi, favorizirajući jedne na račun drugih, a neke i uništavaju (Jug, I. 2018.).

### **5.3. Biološki procesi degradacije tla**

Smanjenje biološke raznolikosti i smanjenje organskog ugljika u tlu predstavlja biološke procese degradacije tla.

Neki ekološki rizični zahvati u intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji značajni su uzročnici poremećaja bioloških svojstava tla. Zapaženo je smanjenje broja i aktivnosti ili čak potpunog nestanka kišnih gujavica, koje su dobar indikator plodnosti tla (Jug, I. 2018.).

Ispitivanja mikrobiološke aktivnosti tla u Hrvatskoj unazad 40 godina pokazuju pad ukupne biogenosti i poremećeni odnos važnijih fizioloških skupina mikroorganizama. Svaki od tih poremećaja uzrokuje usporenu transformaciju organske tvari (humifikaciju).

#### *5.3.1. Smanjenje ili gubitak organskog ugljika tla*

Do pada organske tvari dolazi zbog neadekvatne uporabe i obrade tla. Organska tvar važana je ne samo za plodnost tla već i za strukturu, aeraciju, infiltraciju, zadržavanje vode kapacitet i bioraznolikost tla (Montanarella, 2007.). Služi kao sredstvo protiv kiselosti tla, te je izvor energije za mikroorganizme u tlu kao dobro.

Organski ugljik je najvažnija komponenta (oko 58%) organske tvari i pokazatelj je kvalitete tla (Young i sur., 2015.). Tla u Europi su ogroman rezervoari ugljika, te sadrže oko 75 milijardi tona organskog ugljika (Vukadinović, V. 2018.).

Tla koja sadrže organsku tvar smanjuje osjetljivost tla na zbijanje, eroziju, dezertifikaciju i klizišta. Raspadanjem organske tvari tla oslobađa se ugljikov (IV) oksid (CO<sub>2</sub>) u atmosferu, a formiranjem tla CO<sub>2</sub> uklanja iz atmosfere. Organski ugljik tla je glavna komponenta organske tvari u tlu (Matić, G. 2020.). Do degradacije tla dolazi uslijed gubitka organskog ugljika u tlu.

Intenzivna obrada (oranjem, gdje uslijed obrade tla dolazi do unošenja kisika u tlo – aeracija, što rezultira oksidacijom organske tvari, te oslobađanjem CO<sub>2</sub>) i primjena mineralnih gnojiva glavni su uzroci gubitka organskog ugljika u tlu.

Značajan gubici ugljika proizlaze iz aktivnosti koje dovode do prijelaza s prirodnih na poljoprivredne ekosustave (uništenje šuma, spaljivanje biomase, itd.) (Lal, 1993.).

Prema istraživanju provedenom u Joint Istraživački centar (Italija), 45% zemlje u Europi ima nizak ili vrlo nizak sadržaj organskog ugljika. Poljoprivredna proizvodnja dodatno se pogoršala degradacije zemljišta, što je pridonijelo na procijenjen gubitak između 42 i 78 milijardi tona ugljika, uglavnom emitiranog u atmosferu kao ugljični dioksid i drugi plinovi, s negativnim utjecaj na klimatske promjene i proizvodnju hrane tijekom prošlog stoljeća (Lal, 1993.).

Male promjene u organskom ugljiku u tlu imaju velike posljedice za koncentraciju ugljičnog dioksida u atmosferi, jer je njegov volumen u tlu tri puta veći nego u atmosferi.

Praksa poboljšanja organske tvari uključuje uzgoj pokrovnih usjeva i može imati velike koristi za tlo (smanjenje erozije tla i prevencija ispiranje hranjivih tvari).

Osim toga, uravnotežena gnojidba povećava prinose usjeva, a postoje povećane količine vraćenih organskih ostataka u tlo (FAO, 2005.). Organski ugljik ključan za osiguranje zdravlja tla, plodnosti i proizvodnje hrane.

### 5.3.2. *Smanjenje biološke raznolikosti*

Bioraznolikost je definirana kao raznolikost života na Zemlji u svim njegovim oblicima, te obuhvaća različite vrste, njihove genetske varijacije i interakciju tih oblika života u složenim ekosustavima.

Bioraznolikost posljednjih godina smanjuje se zabrinjavajućom brzinom i to najviše zbog ljudske aktivnosti, popust prenamjene zemljišta, zagađenja i klimatskih promjena (EP, 2020.).

Biljke primaju energiju iz sunca i čine je dostupnom drugim oblicima života. Bakterije i drugi živi organizmi razgrađuju organske tvari, te stvaraju hranjive sastojke koji osiguravaju zdravo tlo na kojem rastu biljke. Oprašivači su ključni za razmnožavanje biljaka i proizvodnju hrane, biljke i oceani važni su ponori ugljika, a vodeni ciklus uvelike se oslanja na žive organizme (EP, 2020.).

Bioraznolikost igra ključnu ulogu u ljudskoj prehrani kroz utjecaj na proizvodnju hranu, jer osigurava održivu produktivnost tala i osigurava genetske resurse za sve usjeve, stoku i morske vrste koje služe za ishranu. Osigurava nam čisti zrak, svježu vodu, kvalitetno tlo i oprašivanje usjeva. Pomaže nam u borbi protiv klimatskih promjena i ublažava prirodne katastrofe (Folnović, T., AGRIVI).

Povećana proizvodnja hrane kroz navodnjavanje, upotrebu gnojiva, pesticida ili uvođenje biljnih vrsta i plodored utječu na biološku raznolikost, i na taj način utječu na globalnu uhranjenost i ljudsko zdravlje. Glavni uzrok gubitka biološke raznolikosti može se pripisati utjecaju čovjeka (Folnović, T., AGRIVI).

Smanjenje broja živih organizama u tlu je posljedica smanjenja bioraznolikosti tla, što dovodi do smanjenja organske tvari tla i pogoršanja kemijskih i fizikalnih svojstava tla. Za biološku raznolikost razmatraju se dva ključna pitanja, a to su: raznolikost vrsta i biološke funkcije (dekompozicija organske tvari, mineralizacija) (Matić, G. 2020.).

Neodrživo korištenje prirodnih resursa, gubitak poljoprivrednog zemljišta i kontinuirano uništavanje ekosustava bogatih biološkom raznolikošću dovode do situacije u kojoj osiguravanje sigurnosti hrane može postati ozbiljan problem.

Agrokemikalije u tlima predstavljaju ozbiljan problem jer su prijatnija mikrobnim zajednicama tla. Njihova sanacija zahtjeva dugo vremena, dok oštećena mjesta koja se mogu vratiti u relativno zdravo stanje, više ne mogu poprimiti svoje izvorno ili prirodno stanje.

### 5.3.3. *Infekcija tla*

Do infekcije tla dolazi uz prisutstvo patogenih mikroorganizama u tlu prilikom primjene svježih gnojovki sa stočnih farmi koje su prenosioci bolesti. U našoj zemlji nema podataka o ovakvim vrstama infekcija, te je uporaba ovih gnojiva zakonski posebno regulirana.

Virusi slinavke i šapa koji se pojavljuju u gnojovki mogu preživjeti 103 dana, a afričke svinjske kuge čak 160 dana. Salmonella iz gnojovke aktivna je do deset mjeseci (Vukadinović V. i Vukadinović V. 2016.).

## 6. ZAKLJUČAK

Gubitak sadržaja organskog ugljika u tlu može ograničiti sposobnost tla da osigura hranjive tvari za održivu biljna proizvodnja, te može dovesti do smanjenja prinosa i utjecati na sigurnost hrane. Manje organskog ugljika također znači manje hrane za žive organizme prisutne u tlu, što dovodi do smanjenja bioraznolikosti tla.

Organska tvar u tlu ključ je za izgradnju i održavanje zdravog tla jer ima velike pozitivne utjecaje na sva svojstva tla. Organska tvar tla također je sastavni dio lokalnih i globalnih ciklusa ugljika, dušika i vode, utječući na mnoge aspekte koji definiraju održivost i budući opstanak života na zemlji.

Gubitak organske tvari u tlu smanjuje sposobnost infiltracije vode u tlo, što je posljedica otjecanja i erozije. Dok erozija smanjuje sadržaj organske tvari ispiranjem plodnog gornjeg sloja tla. U polusušnim okolnostima to čak može dovesti do dezertifikacije.

Predviđa se da će globalno zatopljenje ubrzati raspadanje organske tvari, te će doći do većeg oslobađanja CO<sub>2</sub> i povećanja klimatskih promjena.

Tijekom posljednja dva desetljeća vezivanje ugljika u tlu često se zagovaralo kao rješenje za ublažavanje stalnog porasta koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi, jednog od najčešće spominjanih uzroka klimatskih promjena. Povećanje klimatskih promjena utječe na proizvodnju hrane, te porast razine ugljičnog dioksida u atmosferi dovodi do smanjenja prinosa usjeva i degradira kvalitetu hrane.

Kako bi zaštitili tlo, očuvali njegove prirodne funkcije i ponovno uspostavili zdravlje tla, nužno je spriječiti degradacijske procese tla, te uvesti promjene u biljnoj proizvodnji, korištenju i gospodarenju zemljištem, što će nam u konačnici dovest do ublažavanja klimatskih promjena i spriječiti klimatsku katastrofu u budućnosti.

## 7. POPIS LITERATURE

1. Baveye, P.C. and Wander, M. (2019.): The (Bio)Chemistry of Soil Humus and Humic Substances: Why Is the “New View” Still Considered Novel After More Than 80 Years?
2. Baveys, C. P., Schnee, L. S., Boivin, P., Laba, M., Radulovich, R. (2020.): Soil Organic Matter Research and Climate Change: Merely Re-storing Carbon Versus Restoring Soil Functions, 13-18.
3. Bergtold, J., Sailus, M. (2020.): Conservation tillage systems in the southeast production, profitability and stewardship, 29-30.
4. Biško, A., Milinović, B., Savić, Z., Jurkić, V., Slunjski, S., Čoga, L. (2017.): Humus content in soils intended for establishment of permanent plantations in Croatia, 150 – 167.
5. Borisovna, H. K. (2016.): The loss of chernozem: Russia's black soil tragedy and the use of folk knowledge in soil conservation, 11-18.
6. Bot, A., Benites, J. (2005.): The importance of soil organic matter – key to drought - resistant soil and sustained food production Food and agriculture organization of the United Nations, Rome, 123-128.
7. Bubalo, A. (2018.): Uloga organske tvari tla u agroekosustavu, Diplomski rad, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek.
8. Crnogorac, J. (2019.): Određivanje kemijskih karakteristika različitih vrsta tla, Diplomski rad, Sveučilište u Splitu, Kemijsko - tehnološki fakultet .
9. Dragović, N., Vulević, T. (2021.): Soil Degradation Processes, Causes, and Assessment Approaches, Life on Land, 928 -939.
10. Fenton, M., Albers, C, Ketterings, Q. (2008.): Soil organic matter - Nutrient Management Spear Program, 1 – 2.
11. Gobinath, R., Ganapathy, G.P., Gayathiri, E., Salunkhe, A.A., Pourghasemi, H.R. (2022.): Ecoengineering practices for soil degradation protection of vulnerable hill slopes, chapter 18, 255-270.
12. Kisić, I. (2012.): Sanacija onečišćenja tla, Zagreb, 25-28.
13. Kuveždić, M. (2016.): Uloga i značaj organske tvari u tlu, Završni rad, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.

14. Magdoff, F., Harold, E. (2021.): Building soils for better crops ecological management for healthy soils, by the Sustainable Agriculture Research and Education (SARE) program, Organic matter 3 – 49, Physical properties and nutrient cycles and flows 65 – 89.
15. Martić, G. (2020.): Degradacija tla, Završni rad, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek.
16. Martinović, J. (1997.): Tloznanstvo u zaštiti okoliša, Zagreb, 36-40.
17. Mlinarić, P. (2017.): Identifikacija onečišćenja u površinskim slojevima tla i utjecaj na zdravlje ljudi, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet.
18. Montgomery, D. R. (2019.): Restoring soil can help address climate change, 235-242.
19. Nieder, R., Benbi D.K. (2008.): Soil Organic Matter Characterization, Carbon and Nitrogen in the Terrestrial Environment, 81–111.
20. Nieder, R., Benbi, D.,K. (2008.): Carbon and nitrogen in the terrestrial environment, 81-82.
21. Petrović, D. (2018.): Metode sanacija nesanitarnih odlagališta otpada, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko – geološko – naftni fakultet.
22. Rimac, D. (2019.): Onečišćenje tla, Diplomski rad, Veleučilište u Karlovcu, Odjel sigurnosti i zaštite, 12-17.
23. Sofilić, T. (2014.): Onečišćenje i zaštita tla, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, 88-96.
24. Špoljar, A. (2016.): Procesi degradacije tla, odabrano poglavlje iz predmeta Konzervacijska poljoprivreda, Visoko gospodarsko učilište u Križevcima 65-75..
25. Vukadinović, V. (2014.): Zaoravati ili spaljivati žetvene ostatke?
26. Vukadinović, V., Vukadinović V. (2011.): Ishrana bilja, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, 41-44.
27. <https://organicgrower.com>.
28. <https://www.mrgscience.com/ess-topic-53-soil-degradation-and-conservation.html>.
29. <https://www.soils4kids.org/about/>
30. <https://www.agrivi.com/blog/soil-degradation/>
31. : <https://www.nhm.ac.uk/discover/soil-degradation.html>
32. <https://www.earthreminder.com/how-to-control-environmental-degradation/>
33. <https://www.mrgscience.com/ess-topic-53-soil-degradation-and-conservation.html>
34. <http://plantmateorganics.com/2018/07/26/organic-matter-om-and-the-soil/>
35. <https://eos.com/blog/water-erosion/>



36. <https://ucanr.edu/blogs/dirt/index.cfm?tagname=soil%20compaction>
37. <https://www.eko.lijepa-nasa.hr/>
38. <https://www.iberdrola.com/sustainability/soil-pollution-causes-effects-solutions>
39. [https://www.boprc.govt.nz/media/106215/3508\\_soil\\_organic\\_matter\\_forweb\\_all\\_pages.pdf](https://www.boprc.govt.nz/media/106215/3508_soil_organic_matter_forweb_all_pages.pdf)
40. [https://ekospark.com/info/05\\_energija/biougajj/biougajj.html](https://ekospark.com/info/05_energija/biougajj/biougajj.html)
41. <https://regenerationinternational.org/2018/05/16/what-is-biochar/>
42. : <https://eorganic.org/node/4495>
43. <https://equinepermaculture.com/blog/2018/11/18/all-about-soils-part-2-soil-food-web/>
44. :<https://regenerativeenergy.org/soil-carbon-sequestration-what-is-it-and-why-is-it-important/>
45. <https://www.apsnet.org/edcenter/apsnetfeatures/Pages/SoilEcosystemManagement.aspx>
46. <https://www.soilfoodweb.com.au/about-our-organisation/benefits-of-a-healthy-soil-food-web>
47. <https://www.cropnutrition.com/nutrient-management/soil-ph>
48. <https://www.ecofarmingdaily.com/build-soil/humus/humus-how-is-it-formed>
49. <https://www.eea.europa.eu/themes/soil/intro>
50. <https://www.bioinstitut.hr/>
51. <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20200109STO69929/biodiversity-loss-what-is-causing-it-and-why-is-it-a-concern>

## 8. SAŽETAK

Organska tvar je ključni dio zdravog plodnog tla, te njezino smanjenje je indikator smanjenja kvalitete većine tala. Organska tvar u tlu potiče poboljšanu strukturu tla, biološku aktivnost i povećanu sposobnost zadržavanja i oslobađanja hranjivih tvari i vode u tlu. Živi organizmi pospješuju razgradnju organske tvari tla, otpuštaju hranjive tvari u biljku, stvaraju pore koje dovode do poboljšane strukture tla i stabiliziraju tla. Razumijevanje uloge organske tvari u tlu je vrlo važno zbog osiguravanja visoke produktivnosti i minimiziranja negativnih utjecaja na okoliš od strane poljoprivredne proizvodnje. Osim što funkcionira u velikom broju ključnih uloga koje promiču procese u tlu i rast usjeva, organska tvar u tlu kritičan je dio brojnih globalnih i regionalnih ciklusa. Iako organska tvar u tlu se nalazi u znatno maloj količini većine tala, njezin pozitivan učinak je gotovo na sva svojstva tla. Kako se organska tvar u tlu smanjuje, otežano je sve više uzgajanje bilja zbog problema s plodnošću, dostupnošću vode, erozijom, zbijenošću, bolestima, kukcima i parazitima. Sve to zahtjeva sve veće potrebe za korištenjem gnojiva, vode za navodnjavanje, pesticidima i uporabom strojeva da se unatoč iscrpljenoj organskoj tvari u tlu održe stabilni prinosi. Organska tvar ima značajnu važnost u fizičkim, kemijskim i biološkim funkcijama tla te je neophodan alat za procjenu razine degradacije. Razumijevanje važnosti organske tvari u tlu i održivo korištenje zemljišta može pomoći u smanjenju utjecaja poljoprivrede proizvodnje, sprječavajući degradaciju tla i eroziju te gubitak zemljišta zbog dezertifikacije. Zdravlje tla bi trebalo biti primarna briga svakog poljoprivrednika i globalne zajednice.

## 9. SUMMARY

Organic matter is a key part of healthy fertile soil, and its decrease is an indicator of the decrease in quality of most soils. Organic matter in the soil promotes improved soil structure, biological activity and increased ability to retain and release nutrients and water in the soil. Living organisms promote the breakdown of soil organic matter, release nutrients to the plant, create pores that lead to improved soil structure, and stabilize soils. Understanding the role of organic matter in the soil is very important for ensuring high productivity and minimizing negative environmental impacts from agricultural production. In addition to functioning in a number of key roles that promote soil processes and crop growth, soil organic matter is a critical part of numerous global and regional cycles. Although organic matter in the soil is found in a significantly small amount in most soils, its positive effect is on almost all soil properties. As the organic matter in the soil decreases, it becomes increasingly difficult to grow plants due to problems with fertility, water availability, erosion, compaction, diseases, insects and parasites. All this requires increasing needs for the use of fertilizers, irrigation water, pesticides and the use of machines to maintain yields despite the depleted organic matter in the soil. Organic matter has a significant importance in the physical, chemical and biological functions of the soil and is a necessary tool for assessing the level of degradation. Understanding the importance of soil organic matter and sustainable land use can help reduce the impact of production agriculture, preventing soil degradation and erosion and land loss due to desertification. Soil health should be the primary concern of every farmer and the global community.

## 10. POPIS SLIKA

Slika 1. Humus.....	1
Slika 2. Shematski prikaz funkcija tla.....	4
Slika 3. Kationi se drže na negativno nabijenoj organskoj tvari i glini.....	8
Slika 4. Promjene površine tla i protoka vode.....	11
Slika 5. Shematski prikaz pedološkog profila tla.....	13
Slika 6. Interakcija između nematode i gljive.....	16
Slika 7. Organizmi u tlu.....	23
Slika 8. (a) bakterivore, (b) fungivore, (c) biljni paraziti, (d) predatori, (e) omnivore.....	24
Slika 9. <i>Globodera pallida</i> - bijela krumpirova cistolika nematoda.....	26
Slika 10. Uloga organske tvari tla u ciklusu ugljika.....	28
Slika 11. Uloga organske tvari u ciklusu dušika.....	29
Slika 12. Degradacija tla.....	32
Slika 13. Erozijski vodeni eroziranom brdu u Atriju, Italija.....	38
Slika 14. Obala u Puget Soundu, Washington.....	38
Slika 15. Utjecanje erozije kišom na ravna polja.....	39
Slika 16. Erozijski vjetrom.....	41
Slika 17. Razlika između „normalnog“ i zbijenog tla.....	43
Slika 18. Pokorica tla.....	44
Slika 19. Dezertifikacija u Africi.....	45
Slika 20. Salinizacija tla.....	48
Slika 21. Onečišćenje tla.....	50

## 11. POPIS TABLICA

Tablica 1. Stupanj degradacije .....	33
Tablica 2. Globalni opseg uzrokovanih ljudskim djelovanjem degradacije tla .....	34

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek  
Sveučilišni diplomski studij Zaštita bilja

Diplomski rad

## Uloga organske tvari u tlu - mjere sprječavanja degradacije

Lorena Abramović

**Sažetak:** Organska tvar je ključni dio zdravog plodnog tla, te njezino smanjenje je indikator smanjenja kvalitete većine tala. Organska tvar u tlu potiče poboljšanu strukturu tla, biološku aktivnost i povećanu sposobnost zadržavanja i oslobađanja hranjivih tvari i vode u tlu. Živi organizmi pospješuju razgradnju organske tvari tla, otpuštaju hranjive tvari u biljku, stvaraju pore koje dovode do poboljšane strukture tla i stabiliziraju tla. Organska tvar ima značajnu važnost u fizičkim, kemijskim i biološkim funkcijama tla te je neophodan alat za procjenu razine degradacije. Razumijevanje važnosti organske tvari u tlu i održivo korištenje zemljišta može pomoći u smanjenju utjecaja poljoprivrede proizvodnje, sprječavajući degradaciju tla i eroziju te gubitak zemljišta zbog dezertifikacije. Zdravlje tla bi trebalo biti primarna briga svakog poljoprivrednika i globalne zajednice.

**Rad je rađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Brigita Popović

**Broj stranica:** 65

**Broj grafikona i slika:** 21

**Broj tablica:** 2

**Broj literaturnih navoda:** 51

**Broj priloga:** /

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** organska tvar tla, degradacija, CO<sub>2</sub>

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. prof. dr. sc. Mirjana Brmež, predsjednik
2. izv. prof. dr. Brigita Popović, mentor
3. doc. dr. Vladimir Zebec, član

**Rad je pohranjen:** Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište u Osijeku, Vladimira

Preloga 1.

# BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek  
University Graduate Studies, Plant Protection

Graduate thesis

## The role of organic matter in the soil - measures to prevent degradation

Lorena Abramović

**Abstract:** Organic matter is a key part of healthy fertile soil, and its decrease is an indicator of the decrease in quality of most soils. Organic matter in the soil promotes improved soil structure, biological activity and increased ability to retain and release nutrients and water in the soil. Living organisms promote the breakdown of soil organic matter, release nutrients to the plant, create pores that lead to improved soil structure, and stabilize soils. Organic matter has a significant importance in the physical, chemical and biological functions of the soil and is a necessary tool for assessing the level of degradation. Understanding the importance of soil organic matter and sustainable land use can help reduce the impact of production agriculture, preventing soil degradation and erosion and land loss due to desertification. Soil health should be the primary concern of every farmer and the global community.

**Thesis performed at:** Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Brigita Popović

**Number of pages:** 65

**Number of figures:** 21

**Number of tables:** 2

**Number of references:** 51

**Number of appendices:** /

**Original in:** Croatian

**Key words:** organic matter in soil, degradation, CO<sub>2</sub>

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. Ph.D. Mirjana Brmež, president, full professor
2. Ph.D. Brigita Popović, menthor, full professor
3. Ph.D. Vladimir Zebec, member, assistant professor

**Thesis deposited at:** Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1.