

Utjecaj strukture na plodnost tla

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Tlo je rastresiti gornji sloj zemljine kore (litosfere), supstrat biljne ishrane i biljno stanište koje čine kruta, tekuća, plinovita i živa faza (izraz zemljište označava njegove druge funkcije). Formiranje tla je dugotrajan, postupan i složen proces na koji utječe niz pedogenetskih čimbenika (npr. matični supstrat, vegetacija, klima, reljef i vrijeme) i najčešće je slojevite strukture (tzv. *horizonti*) koji se razlikuju po boji, teksturi i strukturi. Proces formiranja tla započinje mehaničkim, kemijskim ili biološkim trošenjem stijene i nastavlja integracijom mineralnih čestica s raspadnutom organskom tvari.

Plodnost tla je od najveće važnosti za produktivnost poljoprivrednih, ali i prirodnih ekoloških sustava, a uključuje više različitih pokazatelja od kojih se neki ne mogu izravno mjeriti. Zbog toga se najlakše može definirati preko količine organske tvari koju biljke mogu sintetizirati na nekom prirodnom ili uređenom staništu tijekom vegetacijskog razdoblja (dio godine kada je rast biljaka moguć). Razumljivo je da količina nastale organske tvari neposredno ovisi o biološkim, klimatskim i zemljišnim činiteljima pa se plodnost tla, iako je to njegovo najvažnije svojstvo, ne može apsolutno utvrditi, kao niti zdravlje čovjeka. Stoga uobičajen sustav klasifikacije pogodnosti tala (*bonitet*) uspijeva samo generalno odrediti plodnost tla pa *kvantifikacija* (stupanj) pogodnosti podrazumijeva puno širi pristup te uporabu više ključnih pokazatelja (*indikatora* ili *atributa*) biološko-ekološkog, sociološko-ekonomskog i tehničko-tehnološkog karaktera.

Standardno i vrlo pojednostavljeno plodnost tla s procjenjuje utvrđivanjem ukupne i dostupne količine biljaka neophodnih elemenata u tlu obzirom na interakciju njegovih fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava obzirom da je to njegova sposobnost da biljkama osigura, pored hraniva, sve što im je potrebno za rast, razvoj i tvorbu prinosa (npr. voda, kisik, dovoljna dubina za ukorjenjivanje itd.). To je osnovni razlog što se u praksi primjenjuje niz prilično različitih definicija plodnosti tla, odnosno njegovog zdravlja. Naime, regionalne razlike u fizikalnim, kemijskim i biološkim svojstvima tla, klimi i poljoprivrednoj praksi toliko su velike da se niti jedan skup značajki tla ne može usvojiti kao opća mjera plodnosti tla.

Tlo je višefazni sustav građen iz čvrste, tekuće, plinovite i žive faze čiji omjer se neprestano, čak i znatno mijenja (npr. zbog promjene vlažnosti, kisika, zbijenosti i dr.) ovisno o strukturi tla, obradi, stabilnosti strukturalnih agregata, mikrobiološke aktivnosti itd. Omjer pojedinih frakcija tla kreće se u određenim granicama unutar kojih tlo predstavlja povoljan supstrat biljne ishrane. Sastav oraničnog sloja, u kojem se nalazi najveći dio korijenovog sustava biljaka, u povoljnom stanju vlažnosti čini:

- Kruta faza:* ~50 % zapremine ili ~95 % mase, od čega ~80 % čine primarni minerali te ~20 % sekundarni minerali, dok organska tvar čini do 5 % (sekundarni minerali ili glina i organska tvar su *aktivna*, odnosno *koloidna faza* tla čije su čestice u našem agroekološkom području uglavnom negativno nabijene). Čvrstu fazu čine mineralni i organski dio tla koji su podjednake važnosti s gledišta ishrane bilja.
- Tekuća faza:* ~25 % zapremine (vodena otopina soli u konc. 100 - 1.000 ppm i otopljeni plinovi),
- Plinovita faza:* ~25 % zapremine (20,0 % O₂, ~78,6 % N₂, ~0,9 % Ar, ~05 % CO₂ i
- Živa faza:* ~5 t ha⁻¹ (~40 % bakterije i cijanofite, ~40 % gljive, ~5 % makrofauna, ~3 % mikro- i mezofauna i ~12 % različiti crvi).

Krutu fazu tla čine međusobno povezane čestice primarnih i sekundarnih minerala svrstanih u tri teksturne klase prema promjeru: *pijesak* (0,02 - 2,00 mm), *prah* (0,002 - 0,02 mm) i *glina* (<0,002 mm). Povezivanjem (*agregiranjem*) pojedinih mehaničkih čestica s organskom tvari tla prvo nastaju *strukturni mikroagregati* ($\emptyset \leq 0,25$ mm) koji se zatim udružuju u *makroagregate* ($\emptyset > 0,25$ mm) koji povezani tvore strukturu tla. Prostori između agregata tla čine pore i kapilare ispunjene zrakom i vodom. Kapilare ili mikropore promjera su 5 - 30 μ m i u njima se voda može popeti (zbog sila *adhezije* i *kohezije*), ovisno o strukturi tla i do 5 m visine, a kada su potpuno ispunjene vodom vlaga tla odgovara *poljskom vodnom kapacitetu* (PVK; *Field Capacity*; θ_{FC}), dok se voda iz makropora brzo procjeđuje pod utjecajem gravitacije. Česta se procesi *agregacije* i *flokulacije* pogrešno smatraju sinonimima. Naime, flokulacija je čisto kemijski proces dok tvorba stabilnih agregata (granulacija) zahtijeva neku vrstu cementacije (čvršćeg povezivanja) flokuliranih čestica kako se ne bi raspršile u vodi.

Sadržaj vode i zraka u tlu obrnuto je proporcionalan, odnosno kod suviška vode u tlu (tzv. *saturirano tlo*) premalo je zraka potrebnog za disanje korijenja te su zbog toga fizička svojstva tla jednako važna za rast i razvoj bilja kao i njegova kemijska svojstva koja obuhvaćaju količinu i oblik hranjivih tvari (tzv. *raspoloživost hraniva*), *pH tla*, *puferni i adsorpcijski kapacitet* za različite ione i dr. [Neke vodno-zračne konstante tla ovisne o teksturi i strukturi tla prikazane su u Tablici 1.](#)

[Kapacitet tla za vodu koju biljke mogu usvojiti \(tzv. raspoloživa voda; Available Water Holding Capacity; \$\vartheta_{AWHC}\$ \) je voda koju tlo zadržava nasuprot djelovanju gravitacije](#) (tj. ne procjeđuje se kroz tlo), ali nije prečvrsto vezana te je biljke mogu lako usvojiti. Zbog toga je sadržaj organske tvari u tlu kritičan za formiranje agregata, odnosno zadržavanje vode u tlu pa povećanjem organske tvari znatno raste kapaciteta tla za biljkama dostupnu vodu, osobito u tlima grube teksture u odnosu na ilovasta i glinovita tla. Naime, tla grube strukture sadrže veće pore između čestica te im organska tvar (*OM*) pomaže u nastanku manjih pora i kapilara, odnosno više organske tvari u tlu potiče formiranje kapilarnih pora u tlu i njegovu manju volumnu gustoću (ρ). Važno je naglasiti kako se izrazi *laka*, *srednje teška* i *teška tla* odnosi samo na njihov mehanički otpor prema obradi, jer laka pjeskovita tla čine pretežito krupne čestice pijeska koje su puno veće i teže od sitnijih čestica praha i još sitnijih koloidnih čestica gline koje prevladavaju u teškim tlima (Tablica 1.).

Tablica 1. [Fizikalne konstante tala različite teksture](#)

| Tekstura | Infiltracija (cm h ⁻¹) | Ukupne pore (%) | Vol. gustoća tla (ρ ; g/cm ³) | Poljski vodni kapacitet (% tež.) | Točka traj. uvenuća (% tež.) | Raspoloživa voda (% tež.) | Raspoloživa voda (% vol.) | Raspoloživa voda (u mm do 1 m dubine) |
|--------------------|------------------------------------|-----------------|---|----------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| Ilovasti pijesak | 5 (2,5 - 25) | 38 (32 - 42) | 1,65 (1,55 - 1,80) | 9 (6 - 12) | 4 (2 - 6) | 5 (4 - 6) | 8 (6 - 10) | 80 |
| Pjeskovita ilovača | 2,5 (1,3 - 7,6) | 43 (40 - 47) | 1,50 (1,4 - 1,6) | 14 (10 - 18) | 6 (4 - 8) | 8 (6 - 10) | 12 (9 - 15) | 120 |
| Ilovača | 1,3 (0,8 - 2,0) | 47 (43 - 49) | 1,40 (1,35 - 1,50) | 22 (18 - 26) | 10 (8 - 12) | 12 (10 - 14) | 17 (14 - 20) | 170 |
| Glinasta ilovača | 0,8 (0,25 - 1,50) | 49 (47 - 51) | 1,35 (1,3 - 1,4) | 27 (23 - 31) | 13 (11 - 15) | 14 (12 - 16) | 19 (16 - 22) | 190 |
| Praškasta ilovača | 0,25 (0,03 - 0,50) | 51 (49 - 53) | 1,30 (1,30 - 1,40) | 31 (27 - 35) | 15 (13 - 17) | 16 (14 - 18) | 21 (18 - 23) | 210 |
| Glina | 0,5 (0,01 - 0,10) | 53 (51 - 55) | 1,25 (1,20 - 1,30) | 35 (31 - 39) | 17 (15 - 19) | 18 (16 - 20) | 23 (20 - 25) | 230 |

Stabilnost agregata neobično je važna jer njihovo brzo i lako raspadanje, izazvano vlaženjem ili mehaničkom obradom, rezultira *nestrukturnim* ili *slabo strukturalnim tlima*, a u tu grupu ulazi većina pjeskovitih, kao i neka teška glinovita tla. *Struktura tla* podrazumijeva prostornu organizaciju agregiranih krutih čestica i rezultirajući složeni sistem pora i s pravom se smatra [veoma kompleksnom kvalitetom tla jer određuje smjer i intenzitet većine fizičkih, kemijskih i bioloških procesa, kako u prirodnim, tako i antropogenim tlima](#). Od strukture ovisi transport vode i hraniva, zadržavanje vodene faze u tlu, plinova i topline, usmjeravanje prodora i proliferacije korijenja, regulacija mikrobiološke aktivnosti, odnosno razgradnja organske tvari te sinteza i akumulacija humusa. To je *inherentno* (svojstveno ili intrinzično i nerazdvojivo svojstvo), vrlo složeno i dinamično svojstvo tla jer je promjenjivo pod utjecajem vlage, temperature, biološke aktivnosti i obrade, ali i zbog heterogenosti čestica po veličini, obliku i kemijskoj prirodi koje povezuju različiti mehanizmi u agregate tla. Otuda su *tekstura* (veličina čestica) i *struktura tla* međusobno čvrsto povezana svojstva tla i predstavljaju ključan pokazatelj njegove plodnosti. Ukratko, struktura tla je u suštini organizacija i raspored čestica tla zajedno s rezultirajućim složenim sistemom pora. Njena organizacija je hijerarhijska jer se različite primarne čestice povezuju zajedno u sekundarne čestice, a male sekundarne čestice se spajaju u veće čestice ili agregate. Priroda strukture tla je izrazito dinamična i neprestano se mijenja kao odgovor na različite unutarnje i vanjske uvjete u tlu.

Nestrukturalna tla podložna su *zbiyanju*, *stvaranju pokorice* i *slaboj infiltraciji* s posljedicom površinskog zadržavanje vode, *saturacijom* (tlo zasićeno vodom) i sporom sušenju i zagrijavanju te kratkom periodu kad je tlo povoljno za obradu. Takva tla, osim što se teško obrađuju, ne sadrže dovoljno kisika (tzv. *anaerobioza*) potrebnog za disanje korijenja te biljke pate zbog nedovoljnog usvajanja vode i hraniva, usporeno je ili zaus-

tavljeno razlaganje organske tvari tla, odnosno mikrobiološku aktivnost. Hipoksija (anaerobioza je nedostatak, anoksija je potpuni nedostatak, a hipoksija je podoptimalan nedostatak kisika) se događa kada je zraka manje od 10 % zapremine tla, a usvajanje vode i hraniva korijenom te rast biljaka prestaje kada je u tlu manje od 4 % zraka (anoksija). Zbog toga je *poroznost tla*, koju zajednički određuju tekstura i struktura, neobično važna za sve biljke jer je to kontinuirana mreža pora i međuprostora po kojima se kreću i zadržavaju zrak i voda s otopljenim hranjivim tvarima.

Veoma je važno poznavati fizikalna, kemijska i biološka ograničenja tla za biljnu proizvodnju koja se najsigurnije determiniraju laboratorijskim analizama reprezentativnih uzoraka tla kako bi se što pouzdanije utvrdila potreba za gnojidbom, popravkama tla (*kalcizacija, humizacija, fosfatizacija* i dr.) i potrebom navodnjavanja. Budući da se fizikalna svojstva tla zapažaju vizualno, osobito struktura, ili jednostavnom provjerom, npr. feel testom, mnogi poljoprivredni proizvođači često pogrešno determiniraju njihova svojstva temeljem iskustva u obradi, ukorjenjivanju bilja, brzini sušenja tla ili sposobnosti da zadržavaju vlagu i dr. što rezultira pogreškama u obradi i gnojidbi. Premda su klasične laboratorijske analize fizikalnih svojstava tla relativno skupe, pouzdani pokazatelji fizikalnih (mehaničkih) svojstava tla zasigurno doprinose optimizaciji i izboru načina obrade, gnojidbe i utvrđivanju potrebe za vodom u navodnjavanju.

Razmatrati popravak teksture tla većih površina općenito nije realno jer takav zahvat niti je jeftin pa stoga niti isplativo. Naime, promijeniti udjel teksturnih frakcija zahtijeva unos velike količine jedne ili više frakcija pijeska, praha i gline. Primjerice, promijeniti teksturu pjeskovite ilovače u ilovaču, dvije susjedne klase (Tablica 1.) na 1 ha površine i do dubine 30 cm zahtjeva povećanje gline s 5 % na 20 %. Budući da je masa tla pjeskovite ilovače na 1 ha do dubine 30 cm 4.500 t trebalo bi unijeti i izmiješati (višestrukom i višegodišnjom obradom) ogromnu količinu gline, što je izvodivo (i moguće na malim površinama, npr. žardinjerama, posudama za uzgoj lončanica, manjim vrtovima i sl.), ali neisplativo i nepotrebno na parcelama za usjeve ili trajne nasade (Slika 1.).

Za popravak loše strukture tla ipak se može primijeniti više različitih metoda kad se očekuje profitabilna proizvodnja, npr. *rigolanje* prije zasnivanja trajnih nasada, ali ovisno o vrsti tla i uzroku problema i naravno visini ulaganja. Kao najučinkovitija strategija je povećanje sadržaja humusa uz podsjećanje kako je humus stabilna organska tvar ključna za tvorbu i održavanje povoljne strukture pomoću nastanka organo-mineralnih kompleksa, odnosno strukturnih agregata tla. Stoga je humus zapravo dormantna snaga tla ili uspavana moć i temelj prirodne plodnosti tla, odnosno izvor energije i plodnosti "Majke Zemlje", a njegovo smanjivanje u tlu je prilično spor, često više desetljetni proces pa se i njegovo povećanje mora dugoročno planirati uz promjene u načinu gospodarenja tlom.

| Kalkulator teksture i volumne gustoće tla (USDA) | | | | | |
|--|---------|--------|-----------|-----------------------------|----------------|
| Uzorak | Glina % | Prah % | Pijesak % | Teksturna klasa | P _v |
| 1. | 5,00 | 25,00 | 70,00 | Pjeskovita ilovača (PI) | 1,67 |
| 2. | 20,00 | 25,00 | 55,00 | Pjeskovito-glinasta ilovača | 1,44 |

Često primjenjivana i efikasna metoda je unos organske tvari u tlo (pravilna primjena mineralnih i organskih gnojiva, češća *organska* i *zelenena gnojidba*, primjenu komposta, uvođenje šireg plodoreda koji uključuje i sjetvu jednogodišnjih krmnih kultura i mahunarki, uzgoj

Slika 1. Razlika u teksturnom sastavu i volumnoj gustoći pjeskovite i pjeskovito glinaste ilovače

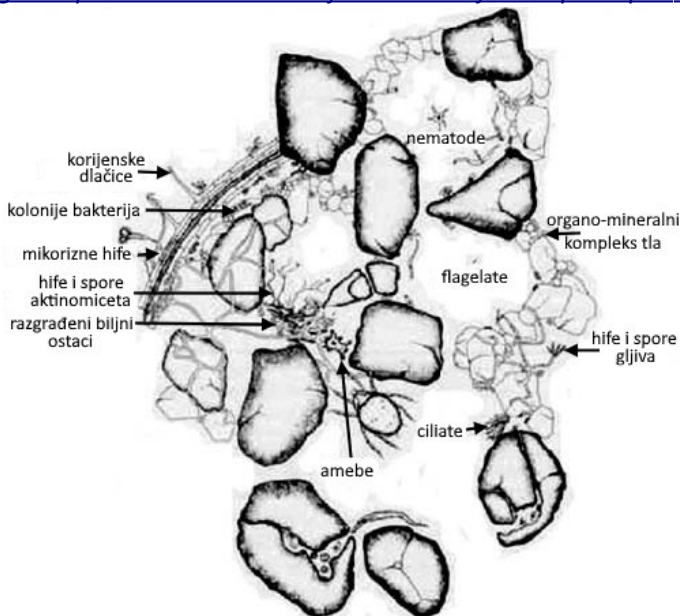
postrnih i međurednih usjeva, obavezno zaoravanje žetvenih ostataka, reducirana ili no-till obrada, popravke tla (npr. kalcizacija, sulfatizacija, fosfatizacija i dr.), primjena mikroelemenata, redovita agrokemijska analiza tla i dr.). Zatim, vrlo dubokim oranjem (*rigolanjem*) moguće je izmiješati dublje slojeve tla s površinskim te tako izmijeniti njegov teksturni sastav kao preduvjet formiranja bolje strukture, osobito uz unos meliorativne doze organskog gnoja. U cilju uravnoteženog, ali većeg sadržaja humusa u tlu potrebno je planirati i prakticirati smjenu usjeva tako da one koji osiromašuju tlo humusom smjenjuju oni koji ga obogaćuju.

U tlima pod prirodnim biocenoza intenzitet nastanka i razgradnje organske tvari je uravnotežen, što rezultira stabilnim sadržajem humusa, ali nakon uključivanja tzv. *djevičanskog tla* u poljoprivrednu proizvodnju neizbježno se intenziviraju procesi razgradnje te pad sadržaja organske tvari. Brzina kojom pada sadržaj organske tvari ovisan je o sustavu gospodarenja i korištenja nekog tla. Izuzetno je važno da se sadržaj ugljika u tlu ne smanjuje jer je on neophodan za zdravlje i plodnost tla, kao i bioraznolikost jer tlo je dom za mili-

june vrsta i milijarde pojedinačnih organizama od mikroskopskih bakterija, *arheja* i gljiva, do većih organizama, poput glista, mrava, krtica itd. Osim toga, *sekvestracija ugljika* u mineralnim tlima (vezivanje atmosferskog CO₂ u organski ugljik ili *OC tla*), premda ovisi o vrsti tla i klimatskim uvjetima, predstavlja učinkovitu mjeru smanjenja njegove emisije, odnosno zadržavanje koncentracije u atmosferi na trenutnih 0,039 % vol. ili 0,0591 % tež. što je značajno povećanje za 35 % od početka industrijske revolucije. Stoga se kod provođenja svake agrotehničke mjere mora razmatrati kako će se to odraziti na bilancu organske tvari tla.

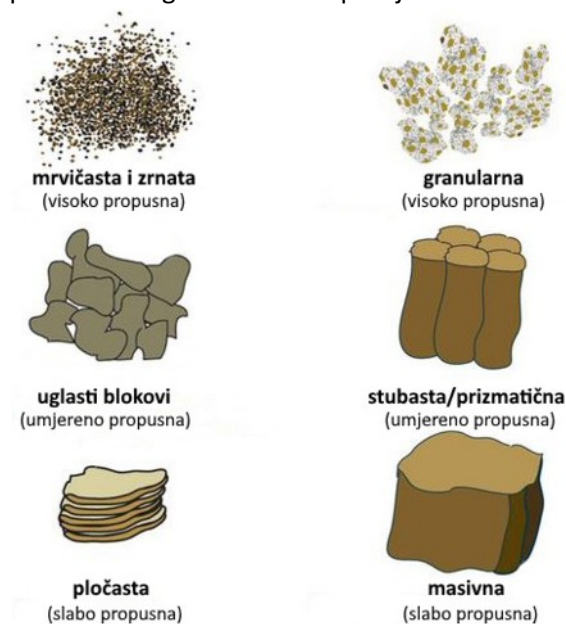
Udio ugljika u mineralnim tlima manji je od 20 %, a najčešće znatno manji od 5 %, ali humus može zadržati do 90 % raspoložive vode u tlu i tako povećati njegovu sposobnost zadržavanja vode u biljkama pristupačnom obliku. Otuda *tlo koje sadrži 2 % humusa, odnosno ~90.000 kg po jednom hektaru do dubine od 30 cm veže u prosjeku 360.000 kg vode po ha ili 36 mm oborina.* Međutim, količina vode koju humus može vezati jako ovisi o vrsti tla i količini humusa u njemu.

Kapacitet zadržavanja raspoložive vode (θ_{AWHC} ili *retencija vode*) u tlu ključan je faktor biljne proizvodnje jer u hijerarhiji biljnih potreba nakon suševog zračenja slijedi potreba za vodom, a tek onda potreba za elementima ishrane. Međutim, opće prihvaćeni stav kako na zadržavanje vode (retencija vode u tlu) snažno utječe sadržaj organske tvari tla, nekoliko studija je dovelo u sumnju, dok neke druge studije pokazuju sposobnost znatnog povećanja kapaciteta zadržavanja vode u tlu. Zbog toga je Instituta za zdravlje tla u Sjevernoj



Slika 2. Shematski prikaz mikroagregata tla

Americi (*The Soil Health Institute's North America*) izmjerio sadržaj pristupačne vode u terenskim uvjetima koristeći jezgre tla u prirodnom stanju na 124 dugoročna istraživačka mjesta koja su sadržavala povećanje sadržaja organskog ugljika kao rezultat promjene gospodarenja tлом kao što su smanjena obrada tla i sjetva pokrovnih usjeva. Rezultati su objavljeni prošle godine, a pokazuju znatno povećanje zadržavanja vode u tlu porastom organske tvari i primjenom kalcijacije (povećanja pH tla). Za povećanje organske tvari tla od 10 g kg⁻¹ (1 % što čini povećanje od približno 450 t ha⁻¹ organske tvari u tlu do dubine od 30 cm) u nekarbonatnim tlima, odnosno prosječno povećanje kapaciteta za vodu iznosilo je 0,03 m³m⁻³ (135 mm vode po m²) dok su karbonatna tla imala 60 % manji porast kapaciteta za vodu. Povećanje kapaciteta za raspoloživu vodu vezanog uz povećanje organske tvari tla utvrđeno je u svim teksturnim klasama i iznosi dvostruko više od prethodnih procjena.



Slika 3. Osnovni tipovi strukture tla

Podjela organske tvari tla prema veličini čestica izvršena je slično kao kod mineralne frakcije. Krupnije čestice organske tvari, koje su sačuvale svoju organiziranu strukturu žive tvari, predstavljaju inertnu organsku rezervu tla, dok frakciju čije su čestice sitne te imaju svojstva koloida čine humus i humusne kiseline. Još 1936. god. *Waksman* je ustvrdio: "Humus je proizvod žive tvari i njen prirodni izvor, humus je rezerva i stabilizator organskog života na Zemlji". *Humus tla,* kao negativno nabijena koloidna, *aktivna frakcija tla* je smjesa

više organskih spojeva podložnih *organo-mineralnim interakcijama.* Takve interakcije između organske i mineralne tvari tla rezultiraju *organo-mineralnim kompleksima* izražene otpornosti na mikrobiološku raz-

gradnju, što se smatra dominantnim procesom stabilizaciju humusa. Zbog toga se *organo-mineralni kompleks tla (OMC)* često naziva *biogeokemijskom crnom kutijom* jer doprinosi dugoročnom očuvanju organske tvari u tlu.

Popravak strukture tla povećanjem organske tvari ujedno i smanjuje ugljični otisak. Naime, *ugljični otisak* je mjera ukupne količine *stakleničkih plinova* (uglavnom CO_2 , NO_x , CH_4) ispuštenih u atmosferu kao rezultat djelovanja pojedinca, organizacije ili države i pojačavaju tzv. *efekt staklene bašte* te ubrzano globalno zagrijavanje Zemlje zbog sprečavanja gubitka topline rezultira klimatskim promjenama. *Stakleničkim plinovima se smatraju CO_2 , CH_4 (metan), N_2O (dušikov oksid), HFC i PFC (fluorougljici) SF_6 (sumporheksafluorid) jer ne dopuštaju gubitak topline isijavanjem u svemir* i najčešće se izražavaju u tonama CO_{2e} (ekvivalent ugljičnog dioksida). Budući da je *poljoprivreda sektor koji je osobito ranjiv na klimatske promjene, EU je prihvatila niskougljičnu strategiju smanjivanja emisije stakleničkih plinova koja će se provoditi i u RH.* Pored ugljičnog otiska, a radi boljeg definiranja korištenja zemljišnih resursa, sve češće se izračunava i analizira *ekološki otisak* kao *pokazatelj održivog korištenja raspoloživih, ali i obnovljivih kapaciteta primarne organske produkcije*, odnosno mjera ljudskog utjecaja na *prirodne resurse*. Dakle, ekološkim otiskom mjeri se čovjekov (*antropogeni*) utjecaj na Zemljine *ekološke kapacitete, odnosno održivu poljoprivrednu proizvodnju* dok se *ugljičnim otiskom* mjeri njegov utjecaj na planetu Zemlju samo kroz emisije stakleničkih plinova. *Ekološki otisak* uključuje ekološke utjecaje, među kojima su i emisije stakleničkih plinova (*ugljični otisak* čini 60 % globalnog *ekološkog otiska*), te upotreba *ekoloških resursa*.

Budući da je struktura tla u suštini raspored (geometrija) organo-mineralnih čestica tla u skupine (*granule*) ili *mikroagregate tla* ($\varnothing < 0,25$ mm, Slika 2.) te se određuje prema načinu kako se *mikroagregati* međusobno vežu i grade *makroagregate tla* ($\varnothing \geq 0,25$ mm)(Slika 3.). Dakle, strukturu tla čini raspored čestica tla i šupljina između njih, a ovisi o podrijetlu tla i uvelike utječe na građevinske, poljoprivredne i biološke aktivnosti jer je količina i veličina pora (*poroznost*) različita za svaki tip strukture što utječe na sposobnost zadržavanja vode, brzinu infiltracije i druga hidraulična svojstva tla, zatim mogućnost zbijanja tla, (npr. neadekvatnom obradom, kao i upotrebom teške mehanizacije na vlažnom, plastičnom tlu), mogućnost prodora korijenja i njegovu opskrbu kisikom potrebnog za metabolizam, odnosno disanje.

Fizikalno-kemijski procesi koji izgrađuju strukturu tla uključuju:

- Povezivanje čestica gline polivalentnim kationima poput Ca^{2+} , magnezija Mg^{2+} i aluminijskih Al^{3+} i
- Čestice tla se mijenjaju gustoću pakiranja pakiraju smrzavanjem i odmrzavanjem, vlaženjem i sušenjem te prorastanjem korijenja kroz pore tla (i kretanjem mezofaune kroz tlo).

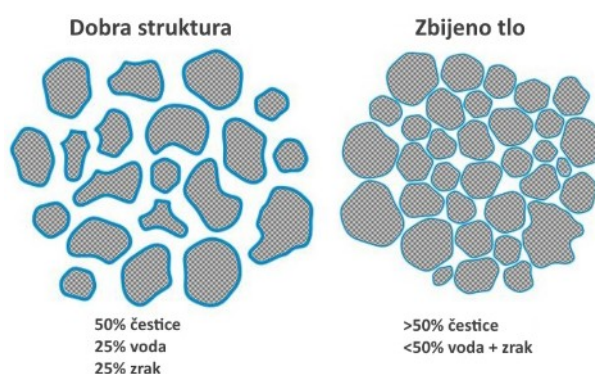
Biološki procesi koji grade strukturu tla uključuju:

- Čestice tla povezane su humusom i drugim organskim tvarima koja djeluju kao „ljepilo”, a proizvode ih gljivice i bakterije koje razgrađuju organsku tvar te polimeri i šećeri izlučeni korijenom biljaka i
- Hife gljivica i fino korijenje stabiliziraju, odnosno učvršćuju makroagregate tla.

Čimbenici koji mogu pogoršati ili uništiti strukturu tla su najčešće *zbijanje mehanizacijom* vlažnog, plastičnog tla kad su agregati podložni raspadanju (inače se vlaženje agregata standardno koristi za utvrđivanje njihove stabilnosti, a rjeđe otpornost pri mehaničkoj obradi tla), uklanjanje vegetacije, pretjerana i neadekvatna obrada, osobito površinskog sloja tla loše strukture, uzak plodored, prekomjerna količina natrija u tlu (*koji izaziva disperziju, peptizaciju, deflokulaciju (raspad) agregata tla*) i dr.

Tlo dobre strukture imaju širok raspon pora, npr. u dobrom ilovastom tlu 40 - 60 % volumena tla je ispunjeno zrakom i vodom (Slika 4.).

Važno je spomenuti da se tlo Slika 4. Odnosi u dobroj i zbijena strukturi tla zbog različite, složene i slojevite strukture, s različitim stupnjevima povezanosti među agregiranim česticama, smatra jednim od najsloženijih poznatih materijala. Otuda je razumijevanje i modeliranje fizikalnih, kemijskih, bioloških ili ekoloških procesa veoma izazovan pothvat u različitim tlima, a poznavanje strukture tla



je ključno za ocjenu funkcioniranja tla. Zbog toga se struktura, kao važan pokazatelj plodnosti, najčešće uključuje u različite klasifikacije kvalitete tla.

Tla dobre strukture *soluma* (dio tla koji uključuje sve slojeve iznad relativno nepromijenjenog matičnog substrata) imaju dovoljno prostora/pora između agregata za neometan rast korijena i biološke aktivnosti (gljivica bakterija i mezofaune, npr. glista) i u podoraničnom sloju. Zbijena tla ograničavaju rast i funkcije korijena, imaju znatno snižen kapacitet za zadržavanje vode i hraniva u raspoloživom obliku, a usjevi na njima su skloniji napadu štetnika i bolesti, što najčešće utječe na njihovo znatno smanjenje prinosa. Također, zbijena tla su sklonija eroziji i *površinskom otjecanju* vode i hraniva (tzv. *runoff* ili sapiranje), koje često uključuje i podzemni tok vode s hranivima iznad zbijene, slabo propusne zone.

Pretjerana površinska obrada loše strukturiranih, najčešće praškastih tala, često rezultira nastankom pokorice nakon intenzivne kiše i propadanja usjeva nakon sjetve, osobito kad je sjeme sitno. Obrada tla koja uključuje kopanje, miješanje i prevrtanje tla (oranje) utječe na smanjivanje broja većine organizama u tlu, a zbijanje snažno reducira veličinu pora i smanjuje mikrobnu masu, ali utječe i na kretanje svih vrsta crva i većih životinja. Takva obrada, osobito učestalo na istu dubinu, utječe i na formiranje tzv. *tabana pluga* (ili tanjurače), nepropusnog sloja za vodu koji sprečava vodnu i zračnu drenažu kroz solum, ali i ograničava dubinu ukorjenjivanja biljaka.

Osijek, 6. svibnja 2023. god