

# Suvremeni pristup u procjeni zdravlja tla

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Zdravlje tla vrlo česta je tema u posljednjih 20-30 godina pa mnogi smatraju da je to moderna ideja premda je koncept zdravlja tla mnogo stariji, a predložio ga je Henry A. Wallace 1910., tada student na Državnom sveučilištu Iowa koji će kasnije biti imenovan ministrom poljoprivrede SAD. Koncept zdravlja tla bio je fokusiran samo na kemijska i fizikalna svojstva tla i tada se rijetko spominjao za razliku od današnjih čestih rasprava kada je suvremena biljna produkcija suočena s mnogobrojnim izazovima, naročito potrebi za smanjenjem ekološkog opterećenja okoliša, prilagođavanju klimatskim promjenama, povećanju prinosa i zahtjevima za povećanje kvalitete uroda. Sadašnji koncept zdravlja tla razvijen je 1990-ih iz kvalitete tla s idejom da tlo funkcionira unutar granica ekosustava i korištenja zemljišta za održavanje biološke produktivnosti, održavanje kvalitete okoliša i promicanje zdravlja biljaka i životinja te se često sažima u jednu rečenicu (prema AI Google Bard): Zdravlje biljaka i usjeva je stanje u kojem biljke mogu normalno rasti i razvijati se te odolijevati faktorima koji mogu negativno utjecati na njihov rast i razvoj. Definicija naglašava važnost rasta i razvoja biljaka, kao i njihovu otpornost na stres, a zdrave biljke, odnosno usjevi, sposobne su proizvesti dovoljno hrane za ljude i životinje te su otporne na bolesti, štetočine i klimatske promjene. Postoji nekoliko pristupa onome što tlo može funkcionalno učiniti za čovječanstvo i/ili ekosustav. Ponekad se to naziva sposobnost tla, a kada je fokus na upravljanju kvaliteta tla, ili na stanju tla zdravlje tla.

Razvitak i opstanak (ili nestanak) čovječanstva ovisi o proizvodnji hrane, škroba, etanola, celuloze i prirodnih vlakana, kao i drugih dobara. Stoga je kapacitet za proizvodnju organske biomase ključna funkcija produktivnosti tla koja je usko povezana s glavnim globalnim pitanjima 21. stoljeća poput dovoljne proizvodnje i sigurnosti hrane, s osiguranjem pitke vode, sprečavanjem degradacije zemljišta, osiguravanjem ciklusa hranjivih tvari, osiguravanju staništa i zdravlja svih živih bića, skladištenjem ugljika u tlu, promjena klima itd. Zdravlje tla se stoga često definira i kao njegova kontinuirana sposobnost da djeluje kao vitalni (živi) ekosustav koji održava biljke, životinje i ljude. Novi i suvremeni pristup biljnoj produkciji pak zahtjeva bolje metode gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i naglašava kako povećanje plodnosti, odnosno zdravlja tla ne garantira veće prinose, niti bolju kvalitetu uroda. Naime, tlo je živ i dinamičan supstrat ishrane bilja, a čini ga vrlo složen kompleks mineralnih, organskih i živih komponenti specifičnih fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava.

U prirodnim ekosustavima plodnost tla je njegovo izvorno (*inherentno*) svojstvo, odnosno sposobnost održavanja biljne i životinjske produktivnosti (*omjer poljoprivrednog ostvarenja i inputa*). Kultiviranjem tzv. *djevičanska tala* sa svrhom proizvodnje hrane, kroz višegodišnju primjenu agrotehničkih i hidrotehničkih mjera drastično mijenja svojstva tla (tzv. *antropogenizacija*), prije svega njegovu plodnost ili zdravlje tla. Pojam zdravlje tla danas se široko koristi, osobito u proizvođačkom miljeu (farmerskom) kao sinonim za plodnost tla. Povijesno gledano,  vrednovanje poljoprivrednog zemljišta uglavnom je bilo fokusirano na biljnu proizvodnju, ali budući da zdravlje tla uključuje njegovu ulogu u kvaliteti vode, klimatskim promjenama i zdravlju ljudi, otvorena pitanja zahtijevaju suradnju različitih znanstvenih disciplina. Stoga bi svi, uključujući proizvođače, potrošače i znanstvenike, trebali prihvaćati zdravlje tla kao opći princip koji doprinosi ciljevima održivosti, jer je ono čvrsto povezano s ciljevima održivog razvoja, ne može se izravno mjeriti te se još uvijek procjenjuje (Slika 1.).

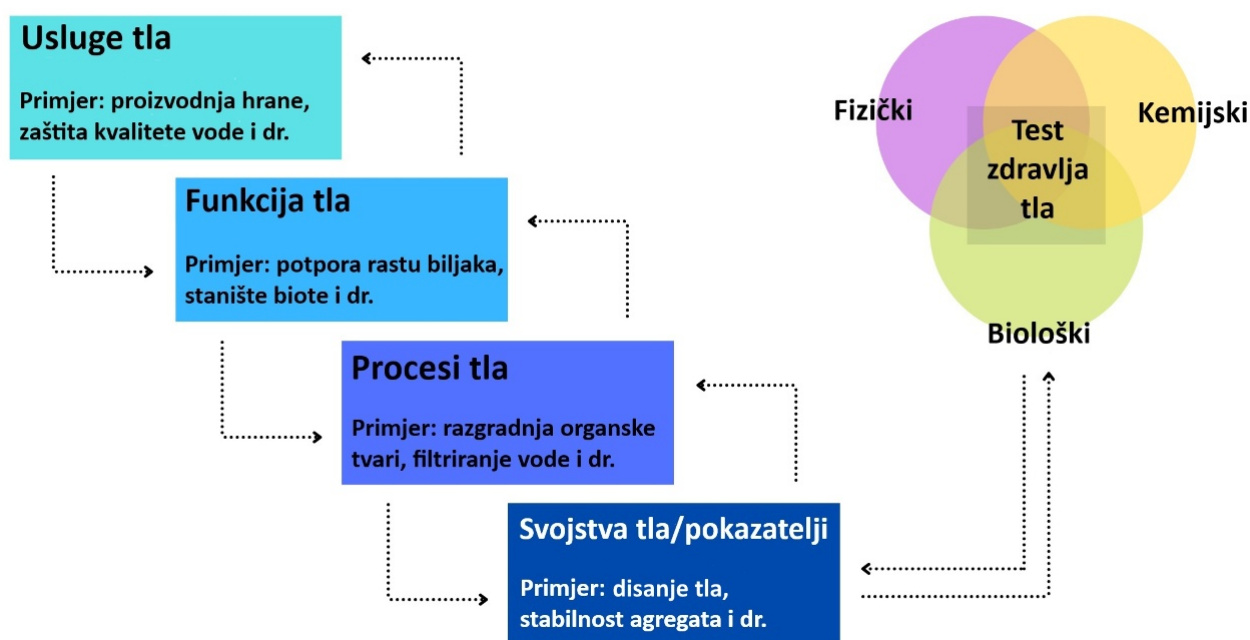
Međutim, premda se kao pojam zdravlje tla široko koristi, još uvijek ne postoji standardni način mjerenja njegovog cjelokupnog zdravlja. Naime, trenutno egzistira niz metoda za procjenu zdravlja tla, a njihov izbor najčešće ovisi o specifičnim ciljevima procjene, npr. poljoprivrednici mogu koristiti procjenu zdravlja tla za utvrđivanje potrebe u gnojidbi, ekolozi kako bi utvrdili stanje ekosustava itd. Ne samo da postoji mnogo pokazatelja zdravlja tla, već se oni uvelike razlikuju u svojoj interpretaciji zbog razlika u gospodarenju tlom, povezanosti s procesima u tlu i uslugama ekosustava te razini utjecaja prirodnih (inherentnih) faktora okoliša. Neki pokazatelji izravno ukazuju na promjenu usluge ekosustava tla, npr. izravni pokazatelji zdravlja tla je organski ugljik (OC), dok je stabilnost agregata tla mnogo teže protumačiti u odnosu na vrstu i intenzitet obrade, kao i potencijalnu *eroziju* jer nedostaje kvantitativno tumačenje koristi usluga ekosustava

koje proizlaze iz povećane *stabilnosti strukturnih agregata* jer od strukture tla izravno ovisi kvaliteta obrade, zadržavanje zraka i vode, dreniranost, zbijanje tla i dr.

Nepremostiv problem je u činjenici da se zdravlje tla ne može utvrditi mjerenjem prinosa usjeva, količinom raspoloživih hraniva u tlu ili bilo kojeg drugog pojedinačnog atributa tla te se stoga najčešće procjenjuje s više različitih pokazatelja ili indikatora (Slika 1.) Budući da je *zdravlje* svojstvo samo živih organizama koji se mogu prilagoditi promjenama okoliša (tzv. *alostaza*), upitno je da li je tlo doista sustav sposoban pokazati zdravlje, ili bilo koje drugo svojstvo složenog, povezanog i samoregulirajućeg sustava te bi se za bolju determinaciju zdravlja tla moralo fokusirati na odnose između komponenti, složenosti i funkcije.

## Konceptualni pogled na zdravlje tla

### Kako mjerimo zdravlje tla? Koje pokazatelje koristimo?



Slika 1. Okvir za procjenu zdravlja tla temeljem neizravnog normativnog bodovanja skupa pojedinih pokazatelja u odnosu na njihov optimalni raspon.

Općenito, zdravlje je nivo funkcionalne i metaboličke efikasnosti živog organizma. Kod ljudi to je sposobnost individua ili zajednica da se adaptiraju i vladaju sobom prilikom suočavanja sa fizičkim, mentalnim, psihološkim i društvenim promjenama u svom okruženju, dok *Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji zdravlja smatra zdravlje ljudi kao stanje potpunog fizičkog, mentalnog i socijalnog blagostanja, a ne samo odsustvo bolesti ili slabosti.* Ova definicija zdravlja, premda je kontroverzna zbog nedostatka operativnih vrijednosti, ostaje ključna u njegovom razumijevanju i značaja za pojedinca i društvo.

*Zdravlje tla* proizlazi iz povoljnih interakcija svih komponenti tla (živih i neživih) koje pripadaju zajedno, kao što su *mikrobiota* (mikroorganizmi tla; mikroflora i protozoe tla), biljke i životinje te je zbog toga *zdravlje biljaka i usjeva* vrlo kompleksan pojam jer mora uključiti specifičnosti vrste zbog posebnih zahtjeva za održavanje, različitim potrebama za svjetlom, toplinom, vodom, hranivima, vodom, pH tla, njegovom teksturom, zatim biljne vrste različito brzo rastu i prolaze kroz etape razvoja te imaju različitu duljinu vegetacijskog perioda, razlikuju se u mogućnosti ukorjenjivanja zbog razlika u anatomiji i morfologiji korijenskog sustava, načina i specifičnostima reprodukcije, različitom potrebom za njegom i zaštitom itd. Otuda *zdravlje tla* nije samo stvar zbir individualnih svojstava unutar funkcionalne skupine (npr. kvaliteta tla za proizvodnju kukuruza ili njegova pogodnost za obradu), već je *holistička* (cjelovita i međusobno povezana) sustavna percepcija koja razmatra cijeli okoliš i njegove interakcije sa živim organizmima pa stoga *zdravlje tla proizlazi iz povoljnih interakcija svih komponenti tla (živih i neživih) koje pripadaju zajedno, kao što su mikrobioti, biljke i životinje.*

Zakon o poljoprivrednom zemljištu, upravo zbog kompleksnosti, ne daje konkretno definiciju zdravlja poljoprivrednog zemljišta, već samo navodi da je zaštita poljoprivrednog zemljišta od interesa za ljude, životinje i biljni svijet, odnosno za Republiku Hrvatsku. Zakon također propisuje neke principe i ciljeve koje treba postići u održavanju i zaštiti poljoprivrednog zemljišta.

Poteškoće u definiranju i determinaciji zdravlja tla koje su uzrokovane velikim brojem, često promjenjivih atributa tla, suvremena znanost pokušavala je izbjeći holističkim pristupom (načelo prema kojemu živo biće predstavlja cjelinu nesvodljivu na dijelove). Jedan od obećavajućih holističkih pristupa uzima kao mjeru biološke aktivnosti (biogenosti) tla utvrđivanje enzima uključenih u aktivnost ugljika, dušika, fosfora i sumpora u tlu (tzv. CNPS test), ali i prisustvo, omjer te aktivnost različitih gljivica i bakterija. Utvrđeno je kako u klima pod intenzivnom proizvodnjom (češća obrada tla i intenzivna gnojidba) obično dominiraju bakterije, dok je pod održivom praksom gospodarenja tlom veće prisustvo gljivica uz smanjenu degradaciju tla erozijom.

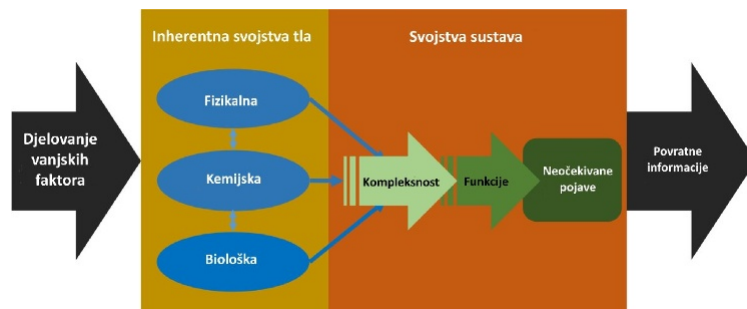
Važno je pitanje kako praksa poticanja zdravog tla utječe na stabilnost prinosa, odnosno varijabilnost i pouzdanost proizvodnje kroz više godina te otpornost na evidentnu promjenu klime i sve češće ekstremne vremenske uvjete. Nedavna meta-analiza stabilnosti prinosa nije pokazala značajne razlike zbog načina obrade tla za različite geografske regije i usjeve te bi utjecaj zdravlja tla na stabilnost prinosa trebalo istražiti za različite sustave uzgoja usjeva na lokalnoj i regionalnoj razini i kako poboljšanje zdravlja tla može značajno smanjiti inpute u biljnoj proizvodnji (npr. zbog smanjenog ekološkog opterećenja okoliša, obogaćivanja tla hranivima i/ili sprečavanja njihovog gubitka).

Tehnike upravljanja/gospodarenja zdravljem tla mogu imati višestruku ekološku i gospodarsku korist, ali analize višegodišnjih pokusa pokazuju da su učinci na prinos i njegovu kvalitetu uglavnom ovisni od regije, vrsti usjeva i trajanju nekih načina gospodarenja uz jasnu prednost u regijama s ograničenom količinom vode. Slično tome, učinak pokrovnih usjeva na visinu prinosa također ovisi od više faktora, uključujući upravljanje, vrstu pokrovnog usjeva i regiju, s prednostima koje se dosljedno ostvaruju u agroekosustavima bogatim vodom. Premda su ekološki i ekonomski aspekt održivosti poznati već desetljećima, pa i stoljećima, neadekvatno gospodarenje tlom često čini štetu zdravlju tla i dovodi do njegove degradacije i pada proizvodne sposobnosti koja se može promatrati s aspekta njegove fizikalne (kvarenje strukture, zbijanje, sklonost formiranju pokorice i sl.), kemijske (pad sadržaja humusa, zakiseljavanje, zaslanjivanje, smanjivanje raspoloživih hraniva itd.) i biološke degradacije (pad mineralizacijske i humifikacijske moći, infekcija patogenima i dr.). Popravak nastale štete često zahtijeva velike inpute za popravak (kondicioniranje) tla, a često se niti ne isplati. Međutim, već nekoliko desetljeća egzistira pokret tzv. regenerativne poljoprivrede koji se zalaže za praksu održive poljoprivrede i tlo treba obnoviti, odnosno ukloniti degradirana svojstva.

Novo istraživanje sa sveučilišta Cranfield i Nottingham zaključuje kako se razmišljanje, mjerenje i proučavanje tla mora promijeniti radi boljeg i efikasnijeg gospodarenja te predlaže potpuno novi pristup procjeni zdravlja tla. Naime, kako ne postoji niti jedno mjerilo za ocjenu ljudskog zdravlja, jer to ne može odražavati složenost cijelog tijela, tako se ne može osloniti niti na procjenu jednog ili više pokazatelja zdravlja tla koji su od presudnog značaja za sigurnu proizvodnju dovoljne količine kvalitetne hrane, za sposobnost akumulacije ugljika, podržavanje biološke raznolikosti, osiguranje odgovarajućeg doma mnogim organizmima, za zaštitu od poplava itd. Međutim, rašireno usvajanje metafore zdravlja tla zasigurno je pomoglo u racionalizaciji proizvodnje hrane, lakše komunikacije s proizvođačima, bolje praćenje troškova proizvodnje, donošenju odluka o popravcima tla, primjeni agrotehnike i dr. Stoga, navedeno istraživanje predlaže cjelovit okvir i hijerarhijski sustavni pristup koje mjeri četiri ključna područja za procjenu zdravlja za koja smatraju da se mogu primijeniti na sva tla jer nas približava interdisciplinarnom razumijevanju cjelovitog sustava tla (Slika 2.):

- Znakovi života: potrebno je karakteriziranje jednostavnih i složenih zajednica u tlu metodom sekvenciranja DNK, odnosno utvrditi metagenomsku raznolikost zajednica, profilirati organski ugljik i sl.,
- Znakovi funkcije: utvrditi u kojoj mjeri tla posjeduju sposobnost transformacija tvari u njemu u različitim prostornim i vremenskim okvirima te procjena njihove efikasnost. Ključno je razumjeti kako tla reagiraju na različite vrste ulaza u sustav, uključujući nove abiotičke, biotičke i strukturne informacije,

- **Znakovi složenosti:** u kojoj su mjeri komponente tla povezane i međusobno ovisne, npr. efikasnost i brzina razgradnje organske tvari što su temeljna pitanja o povratnim informacijama i povezanosti koje se mogu manifestirati između znakova života i funkcija tla. Npr., kako najbolje opisati složene odnose i povratne informacije kroz biotička i abiotičku povezanost u sustavu tla, uključujući vezu tla i biljaka, faune, matične podloge, vode i zraka, i



- **Znakovi nastanka:** u kojoj mjeri tla i raznoliki biološki sustavi koji reagiraju i oporavljaju se od utjecaja više različitih stresova što zahtijeva razvoj tehnika i alata za karakterizaciju tih tzv. znakova nastanka koji su neophodni za holističku

Slika 2. Utjecaj okruženja i svojstva na reakciju tla procjenu vitalnosti sustava tla u budućnosti, odnosno na koji način tlo čini cjelinu nesvodljivu na pojedine funkcije i komponente te kako povezati otpornost sustava tla u uvjetima kratkoročnih i dugoročnih perturbacija.

Cjeloviti novi pristup u procjeni zdravlja tla treba:

- 1) sadržavati dovoljan broj podataka za razliku od uobičajenog pristupa koji najčešće sadrži užu broj indikatora kao što su struktura tla, ugljik u tlu, pH vrijednost tla i dr., a
- 2) metodologija mora biti u stanju otkriti odnose između komponenti, povratne informacije između funkcija i rezultirajuću složenost kao i emergentna (pojavna svojstva) kao što je povratak u prethodno funkcionalno ili strukturalno stanje nakon poremećaja. *Naime, emergentna (neočekivana) svojstva su najtočniji pokazatelji zdravlja cijelog sustava tla pa neke metode procjene zdravlja tla, naročito one koje se odnose na podatke u jednoj vremenskoj točki, ne pokazuju pravo stanje zdravlja tla Slika 2.)*

*I na kraju, prema ITPS-u (Intergovernmental Technical Panel on Soils), problem definiranja zdravlja tla, ma kako to bilo kompleksno, svakako je i nedostatak dogovora o pokazateljima i njihovim graničnim vrijednostima zbog singularnosti i visoke globalne prostorne varijabilnosti.* Rane definicije zdravlja tla prilično su antropocentrične (čovjek kao središte stvarnosti) i usredotočene su na tla u poljoprivrednim ekosustavima, najčešće na kemijska svojstva tla zbog nedostatka elemenata ishrane, ili na njihovu sposobnost da podrže odgovarajuću proizvodnju biomase za ljudske potrebe, a podcijenjene su i zanemarene ostale temeljne usluge ekosustava ovisne o klimi, kao što su regulacija klime i očuvanje biološke raznolikosti. Nepostojanje jasne definicije zdravog tla zakompliciralo je rad istraživača te je za postizanje standardne definicije zdravlja tla potrebno prvo dogovoriti istraživačke i eksperimentalne protokole.

Osijek 2. prosinca 2024. godine