

# Znanstveno-popularni bilten

[ACTIVEsoil Projekt]



**HRZZ Projekt**

Procjena konzervacijske obrade tla kao napredne metode uzgoja usjeva i prevencije degradacije tla

**Voditelj Projekta**

Prof. dr. sc. Danijel Jug

## Znanstveno-popularni bilten

# Procjena konzervacijske obrade tla kao napredne metode uzgoja usjeva i prevencije degradacije tla

Ovaj je Znanstveno-popularni bilten nastao kao rezultat rada na znanstveno-istraživačkom Projektu Hrvatske zaklade za znanost "Procjena konzervacijske obrade tla kao napredne metode uzgoja usjeva i prevencije degradacije tla - ACTIVEsoil" (IP-2020-02-2647).

Suradničke institucije:

- Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek – Nositelj Projekta
- Odjel za biologiju Sveučilišta u Osijeku
- Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- Veleučilište u Križevcima

Voditelj projekta: prof. dr. sc. Danijel Jug

Trajanje Projekta: 22/12/2020 – 21/12/2024

Autori poglavlja:

Prof. dr. sc. Danijel Jug, Prof. dr. sc. Irena Jug, Prof. dr. sc. Boris Đurđević, Izv. prof. dr. sc. Bojana Brozović, Prof. dr. sc. Vesna Vukadinović, Doc. dr. sc. Marija Ravlić, Izv. prof. dr. sc. Monika Marković, Prof. dr. sc. Gabriella Kanižai Šarić, Prof.dr.sc. Boris Antunović, Larisa Bertić, mag. ing. agr., Prof. dr. sc. Bojan Stipešević, Izv. Prof. dr. sc. Davorka K. Hackenberger, Doc. dr. sc. Olga Jovanović Glavaš, Prof. dr. sc. Branimir K. Hackenberger, Izv. prof. dr. sc. Goran Palijan, Doc. dr. sc. Vesna Peršić, Dr. sc. Tamara Đerđ, Dr. sc. Domagoj K. Hackenberger, Doc. dr. sc. Branka Šakić Bobić, Prof. dr. sc. Zoran Grgić, Dr. sc. Andrija Špoljar, Dr. sc. Ivka Kvaternjak, Iva Rojnica, mag. ing. agr.

Urednik Biltena:

Prof. dr. sc. Danijel Jug



[activesoil.eu](http://activesoil.eu)

*Napomena: autorski članci nisu recenzirani, a pisani su slobodnim i prethodno nedefiniranim stilom. Za znanstvenu i stručnu istinitost kao i točnost navedenih podataka i tvrdnji u svakom pojedinačnom članku, odgovornost snose isključivo autori navedeni ispod svakog pojedinačnog članka.*

Osijek, 2024.

## Sadržaj

Predgovor .....	1
Konzervacijska obrada tla kao mjera ublažavanja klimatskih promjena .....	3
Okolišno-klimatski i meteorološki preduvjeti biljne proizvodnje .....	5
Utjecaj COVID-19 na motrenja vremena i vremenske i klimatološke prognoze .....	28
Emisije stakleničkih plinova u poljoprivredi .....	30
Konzervacijska obrada tla .....	43
Gospodarenje tlom u izmijenjenim klimatskim uvjetima .....	54
Degradacija tla – utjecaj na funkcije tla .....	57
Degradacija i monitoring poljoprivrednog zemljišta/tla .....	59
Sadržaj vlage u tlu: značaj, mjerenje .....	61
Praćenje sadržaja vode u tlu .....	64
Metode mjerenja vlažnosti tla .....	67
Onečišćenje tla - kao posljedica ljudske djelatnosti .....	70
Proizvodni potencijal tala Ukrajine ugrožen ratnim zbivanjima .....	75
Klimatske promjene i degradacija tla .....	77
Značajke Stagnosola .....	79
"Gleysoli" – značajke, mjere popravka .....	81
"Gleysoli": rasprostranjenost, nastanak tla, značajke, proizvodni potencijal .....	83
Kvarenje strukture tla – antropogeno zbijanje, pokorica .....	85
Struktura tla .....	87
Značaj analize tla u sprječavanju njegove degradacije – I .....	89
Značaj analize tla u sprječavanju njegove degradacije – II .....	91
Laboratorijske procedure od zaprimanja uzoraka do gotovog rezultata .....	93
Laboratorijske analize u održivoj poljoprivrednoj proizvodnji .....	95
Uzorkovanje pri različitim sustavima obrade tla .....	96
pH reakcija poljoprivrednih tala .....	98
Zašto fosfor i kalij izražavamo kao okside? .....	100
Kontrolirana i sporo djelujuća dušična gnojiva .....	102
Kondicioniranje tla - kalcijacija .....	105
Pokrovni usjevi - rješenje za (gotovo) sve .....	107
Zelena gnojidba i pokrovni usjevi .....	109
Uzgoj postrnih usjeva .....	111
Upotreba pokrovnih usjeva - živih malčeva u konzervacijskoj poljoprivredi u funkciji kontrole zakorovljenosti .....	118
Pokrovni usjevi kao metoda kontrole zakorovljenosti u konzervacijskoj obradi tla .....	120
Tlo - stanište mikroorganizama .....	122
Bioraznolikost tla .....	124
Gujavice – nevidljivi inženjeri stabilnosti ekosustava tla .....	127
Utjecaj poljoprivrede na herpetofaunu .....	134
Mikroorganizmi koji potiču rast biljaka .....	137
Mikroorganizmi u konzervacijskoj obradi tla .....	139
Značaj i funkcija mikoriza u poljoprivrednoj proizvodnji .....	141
Predsjetvena bakterizacija leguminoza .....	144
Biološka fiksacija dušika .....	146
Aflatoksini – putem tla i usjeva do životinja i ljudi .....	148
Ekstracelularni enzimi u tlu .....	152
Fosfataza, sulfataza, glukozaminidaza i glukozidaza u tlu: koji je d'Artagnan .....	154
Korovna flora i suzbijanje korova u ozimoj pšenici .....	156
Ekologija korova u konzervacijskim sustavima obrade tla .....	158
Status korova u konzervacijskoj poljoprivredi .....	160
Alelopatija u agroekosustavima .....	162
Korovna flora i suzbijanje korova u kukuruza .....	164
Korovna flora i suzbijanje korova u soji .....	166
Konzervacijski sustavi obrade tla i kukci .....	168
Isplativost proizvodnje kukuruza s novim cijenama inputa .....	170
Što utječe na isplativost proizvodnje pšenice .....	172
Doprinos pokrića kao ekonomski učinak različitih sorti i načina proizvodnje pšenice .....	175
Daljinska istraživanja tla .....	180
Strojno i duboko učenje u poljoprivredi: Kako UI mijenja način na koji razumijemo tlo i proizvodimo hranu .....	195
Daljinska mjerenja fotosintetske aktivnosti .....	214



## Predgovor

Tlo je izrazito složen i kompleksan prirodni medij podložan procesima degradacije i prijetnjama koje u kratkom vremenskom razdoblju mogu ozbiljno ugroziti i onesposobiti njegove funkcije, a posljedično kroz smanjenje plodnosti tla, biološke raznolikosti, kakvoće zraka i vode te klimatske promjene. Posljednjih se desetljeća svijet na globalnoj, regionalnoj i lokalnoj razini sve intenzivnije suočava s različitim ekspresijama klimatskih promjena, a uzročno-posljedični odnosi globalne klime i klimatski neodgovornog ponašanja čovjeka dolaze do izražaja na svim razinama njegovog djelovanja. Poljoprivredna regionalna/lokalna emisija stakleničkih plinova (prvenstveno metana, diduškovog oksida i ugljikovog dioksida) pod izravnim je utjecajem donositelja odluka o načinu gospodarenja (u biljnoj i stočarskoj proizvodnji), a koji najvećim dijelom ovisi o fluktuacijama trendova u proizvodnji hrane. Suvremena poljoprivredna proizvodnja (opterećena vrlo zahtjevnim ciljem – proizvodnja dostatne količine hrane) svojim proizvodnim procesima još uvijek nije u mogućnosti u potpunosti spriječiti onečišćenje okoliša, uz istovremeno (ponekada i izrazito) degradirajuće djelovanje na tlo.

Znanstvena zajednica svojim neovisnim znanstvenim radom i ostvarenim rezultatima kontinuirano radi na rasvjetljavanju iznimno složenih odnosa koji vladaju u našem agro-okolišu, promičući čovjeka u značajnog dionika klimatskih promjena. Isto tako, unutar znanstvenih okvira iznalaze se i primjenjuju, a u okvirima prilagodbe i ublažavanja, razne mjere i postupci koji za cilj imaju agroekološko uravnoteženje poljoprivredne proizvodnje, poštujući kauzalnost klima-tlo-biljka. Regionalna/lokalna specifičnost odabira odgovarajuće održive strategije gospodarenja tлом te prilagodbe sustava uzgoja biljaka različitim oblicima klimatski induciranog stresa (suša, poplava, tuča, vjetar, temperaturne aberacije...) predstavlja prioritetni zadatak za sadašnju i buduću klimatski i okolišno odgovornu poljoprivrednu proizvodnju.

Kakvo je stanje naših tala (prvenstveno mislim na tla hrvatske)? Često se volimo definirati kao zemlja velikih mogućnosti, zdravih tala, čiste vode....Međutim, i ovdje se osjeti *human touch* s povećim brojem varijabli u misli i djelu, bilo pozitivnih ili negativnih. Činjenično vrijedi, a kao dobar recept prokušano je nebrojeno puta, kako nešto dobro može biti još i bolje. S tim u vezi, obično volim navesti pet glavnih postulata opterećenosti hrvatske poljoprivrede, s vrlo "mlakim" varijablama sinergizma (a opet vrlo vrijednih na kojima bi trebalo a i vrijedi raditi): tradicija, tehnika, tehnologija, znanost i znanje. Zbog ovih je "utega" visok proizvodni potencijal poljoprivrednih tala u našem hrvatskom agroekološkom okružju još uvijek u disproporciji s realno ostvarivim postignućima.

Neuređenost naših tala predstavlja ozbiljan ograničavajući faktor daljnjem gospodarskom, socijalnom i inom razvoju zemlje. Indicirani problemi (velika parceliranost – usitnjenost poljoprivrednih površina (posjeda), nasljeđivanje, veliki udio poljoprivrednog aktivnog stanovništva, starenje poljoprivrednih domaćinstava, niska razina znanja (obrazovanosti) poljoprivrednih proizvođača – tradicionalni pristup, slabija tehničko-tehnološka opremljenost, niska implementacija znanosti, neorganiziranost-nestabilnost poljoprivredne proizvodnje (nesigurnost), neorganiziranost-nestabilnost tržišta poljoprivrednih proizvoda i usluga, slaba razvojna strategija, niska i neadekvatna ulaganja, loša ekonomska politika u poljoprivredi, smanjenje proizvodnje – niska produktivnost (uzrok-posljedica = uvoz)), moraju se konačno početi rješavati kako bismo uhvatili korak s najrazvijenijim zemljama Europe koje su svoja tla uredili na suvremeni način.

Konzervacijska obrada tla predstavlja jedan od temeljnih postulata konzervacijske poljoprivrede, a koja prema FAO predstavlja pristup upravljanju poljoprivrednim ekosustavima za poboljšanu i kontinuiranu



produktivnost, povećanu dobit i sigurnost hrane uz očuvanje i poboljšanje prirodnih resursa i okoliša. Konzervacijska obrada tla privlači sve veću pažnju brojnih znanstvenika u svijetu nudeći se kao rješenje problema povezanih sa konvencionalnom obradom koja neminovno uključuje degradaciju tla, a time i smanjenje prinosa. Sve snažnija degradacija poljoprivrednih tala uzrokovana nizom prirodnih i antropogenih čimbenika u fokus istraživanja ovog projekta stavlja ulogu konzervacijske obrade tla kao mjere koja je sposobna nositi se s navedenim problemima i to po principima održivog gospodarenja tlom. Dosadašnja provedena istraživanja ove problematike i načina predložene provedbe, u RH su uglavnom bila nesustavna, nekonzistentna i u svakom slučaju nedostatna, uz proučavanje samo segmenata koje konzervacijska obrada tla implementira.

Poruku koju nam je za budućnost odaslao naš akademik Mihovil Gračanin, ne tako davne 1942. godine: *"Hrvatski narod u pravom smislu riječi "živi od zemlje", na svom dijelu pedosfere zasnovao je on svoj život u prošlosti, a izgrađivat će ga i u budućnosti. Tla Hrvatske najveće su blago hrvatskog naroda; nepresušivi su izvor njegovih snaga i temelj hrvatske domovine..."*, ostavljam za kraj kao svjetionik svevremenosti i snazi sprege hrvatskog naroda i njegovog najvećeg nacionalnog blaga, tla.

Bilten u svojoj cjelovitosti predstavlja doprinos realizaciji zacrtanih ciljeva Projekta financiranog od strane Hrvatske zaklade za znanost. Svaki pojedini članak Biltena čini njegov konstitutivni dio, a nastajao je tijekom svih godina njegove provedbe. Glavni cilj ovog Biltena je pomoći razumjeti kompleksnost interakcija na relaciji klima – biljka – tlo – voda – zrak, pružajući "opća" i "specifična" znanja tradicionalnih kao i suvremenih metoda, tehnika i tehnologija u gospodarenu tlom u uzgoju poljoprivrednih biljaka. Vjerujem kako će ovaj Bilten biti od koristi studentima poljoprivrednih studija svih razina, poljoprivrednim proizvođačima i znanstvenicima, kao i svim ostalim poljoprivrednim stručnjacima i zaljubljenicima u poljoprivredu.

Svakako bih zahvalio svim autorima koji su svojim trudom i angažmanom pridonijeli realizaciji ovog Biltena u okviru provedbe HRZZ Projekta "Procjena konzervacijske obrade tla kao napredne metode uzgoja usjeva i prevencije degradacije tla - ACTIVEsoil".

Voditelj projekt

Prof. dr. sc. Danijel Jug

## Konzervacijska obrada tla kao mjera ublažavanja klimatskih promjena

Posljednjih 20-tak godina nepovoljni vremenski i klimatski obrasci postali su sve izraženiji i sa sve intenzivnijim negativnim djelovanjem na poljoprivrednu proizvodnju. Ove se klimatske aberacije prvenstveno očituju u najuočljivijim i najmjerljivijim aspektima vremena i klime, odnosno u količini oborina i temperaturi zraka (primjerice. suša, poplava). Pored navedenih, značajnost klimatskih aberacija očituje se i drugim ne manje važnim efektima pa se tako kao primjer mogu navesti raspored i intenzitet oborina, intenzitet i učestalost vjetrova, kratkotrajne ili dugotrajne sušne epizode, količina oblaka i dr.

Prema IPCC-u (Međuvladin panel za klimatske promjene), regije južne, jugoistočne i istočne Europe (kojoj pripada i Hrvatska) pripadaju regijama svijeta koje su značajno ugrožene klimatskim promjenama. U ovim se regijama predviđa daljnji porast temperature od oko 2°C u zimskom, odnosno 2-3°C u ljetnom razdoblju iznad sadašnjeg prosjeka. Jednako tako, očekuje se i smanjenje oborina od 5-15%, naročito u toplom dijelu godine i uslijed toga, smanjivanje vlažnosti tla za 15-25%. Pored ukupne godišnje količine oborina, daleko je važnija njena ravnomjerna distribucija, s potencijalno najvećim udjelom oborina tijekom vegetacijskog razdoblja. Naime, radi se o tome da, iako ukupna suma oborina tijekom godine može biti zadovoljavajuća, njen raspored ne mora biti zadovoljavajući, zbog čega u razdoblju s najvećom potrebom biljaka za vodom nje može nedostajati.

U današnje je vrijeme, među znanstvenicima na globalnoj razini, u potpunosti postignut konsenzus u vezi pitanja postoje li ili ne klimatske promjene, dok se još uvijek ponegdje vode rasprave oko pitanja uzročnosti klimatskih promjena. (Obično je negiranje postojanja ili pravog uzročnika klimatskih promjena svedeno na određene manje interesne skupine koje, iako male, mogu značajno utjecati na poduzimanje odgovarajućih mjera prilagodbe i ublažavanja klimatskih promjena). Neovisno o prethodno spomenutoj raspravi, s poljoprivredno-proizvodnog-tehnološkog aspekta, daleko je važnije pitanje: kako ublažiti nepovoljan utjecaj klimatskih promjena u uzgoju ratarskih usjeva?

### Zašto konzervacijska obrada

Dinamika vode u tlu vrlo je kompleksna i podložna različitim internim i eksternim utjecajima. Još donedavno je bila vrlo raširena i opće prihvaćena teorija (ali koja na žalost još uvijek ponegdje egzistira) prema kojoj se smatralo kako poorano tlo u jesen može tijekom jesensko-zimskog razdoblja uskladišti dovoljnu količinu vode, koju će usjevi koristiti slijedeće godine tijekom sušnijih ljetnih mjeseci. Istina je kako količina vode koja se na ovaj način akumulira, često puta nije dostatna niti za nicanje i/ili početni porast usjeva (ovisno o količini oborina u ovom razdoblju), tako da se nikako ne može govoriti o "višemjesečnoj akumulaciji vode za ljetno razdoblje". Kao moguće rješenje nedostatne količine vode u uzgoju ratarskih usjeva, mnogi istraživači nude, a praktičari (proizvođači) primjenjuju, jesu konzervacijski sustavi obrade tla. Upravo konzervacijski sustavi obrade tla imaju kao jedan od prioritetnih zadataka zaštititi tlo od nepovoljnih abiotskih utjecaja (prvenstveno klimatskih) te akumulirati i sačuvati (konzervirati) vlagu tla.

Od agrotehničkih mjera koje se primjenjuju u uzgoju ratarskih kultura, obrada tla je najskuplji zahvat (i tehnički najzahtjevniji), a upravo se na ovom aspektu mogu ostvariti i najznačajnije uštede (pri tome ne umanjujući visinu prinosa). Primjenom odgovarajućih sustava obrade tla (prvenstveno

konzervacijskih), može se postići ekonomičnija dinamika vode u tlu u sušnim i prevlažnim klimatskim prilikama. Ako se još navede kako se često puta neadekvatnom gnojidbom nastoje korigirati propusti u obradi tla, kao i neadekvatan oborinski (vodni) režim, postaje jasno kako konvencionalna (tradicionalna) proizvodnja ne može biti konkurentna na tržištu.

Primjena konzervacijskih sustava obrade tla u uzgoju ratarskih kultura u našim je agroekološkim uvjetima još uvijek u začecima, uz tek sporadičnu primjenu i ponekad s upitnim pozitivnim učinkom. Tradicionalni sustavi obrade pored pozitivnih imaju i određene negativne implikacije na tlo, a koje se prvenstveno reflektiraju na njegov fizikalni, biološki i kemijski kompleks, uz uvažavanje činjenice kako ni drugi proizvodni aspekti (npr. ekološki, organizacijski, ekonomski, tehničko-tehnološki, prehrambeno-kvalitativni itd.), nisu od manjeg značaja. Sve navedene aspekte potrebno je uvažavati u pravoj mjeri primjenjujući bilo koji sustav obrade, a primjenom konzervacijskih sustava obrade tla oni mogu i moraju doći do svog punog izražaja.

Konzervacijska obrada tla podrazumijeva niz mjera i postupaka, a u suštini podrazumijeva ostavljanje žetvenih ostataka na površini i obradu tla u većoj ili manjoj mjeri ispod njih. Pokrivenost površine tla žetvenim ostacima, nakon žetve pretkulture i nakon sjetve slijedeće kulture, mora iznositi minimalno 30%. Kako je cilj žetvene ostatke ostaviti na površini tla ili ih plitko inkorporirati, mogu se primjenjivati sva ona oruđa kojima se postiže ovaj efekt (naravno, plug se u sustavu konzervacijske obrade tla mora u potpunosti izostaviti budući da on okreće tlo).

Žetveni ostaci ostavljeni plitko pri površini ili na površini tla imaju zaštitnu ulogu, odnosno štite tlo od degradirajućeg djelovanja oborina (kvarenje strukture tla i nastajanje pokorice), sprječavaju isparavanje vode iz tla, štite mikroorganizme od destruktivnog djelovanja direktnih sunčevih zraka, umanjuju dnevne temperaturne oscilacije (sporije zagrijavanje i sporije hlađenje tla), intenziviraju biološku aktivnost tla, ublažavaju posljedice jačeg gaženja pri nepovoljnoj vlažnosti i sl.

Koliki će intenzitet konzervacije tla obradom biti primijenjen ovisi o nizu agroekoloških čimbenika (npr. tip tla, nagnutost terena, stanje/kondicija tla, količina oborina, vrsta kulture u uzgoju i dr.). No, valja naglasiti kako akumulacija vode u tlu za kulture u uzgoju u tekućoj godini, započinje već prethodne godine, odnosno odmah nakon berbe/žetve pretkulture, a uspješnost prvenstveno ovisi o ispravno odabranom konzervacijskom sustavu obrade tla.

Pronalaženje zadovoljavajućih agrotehničkih mjera, a prvenstveno mjera obrade tla kojima se mogu ublažiti velike klimatske aberacije (prvenstveno oborinske i temperaturne) između godina, ali i unutar iste proizvodne godine, sve više postaje imperativ suvremene biljne proizvodnje. Na visinu uroda i reakciju biljaka osim količine oborina značajno utječu i prosječne godišnje temperature zraka, a još značajnije temperaturne aberacije unutar iste proizvodne godine. Visoke iznad prosječne temperature zraka, unatoč zasićenosti tla vodom, mogu uvelike utjecati na reakciju biljaka na stres, pri čemu redovno dolazi do pada visine uroda. Konzervacijski sustavi obrade tla u značajnoj mjeri omogućuju kvalitetniju dinamiku opskrbe biljaka vodom, a posebice u sušnim uvjetima.

Konzervacijske sustave obrade tla u uzgoju ratarskih usjeva moguće je primijeniti uz uvažavanje specifičnosti uzgojnog područja, u bilo kojim agroekološkim uvjetima. Jednako tako, primjenom konzervacijskih sustava obrade uspostavlja se optimalno funkcioniranje (dinamika) tla, koja u konačnici za pozitivnu posljedicu ima ostvarivanje optimalne visine uroda po jedinici proizvodne površine.



## Okolišno-klimatski i meteorološki preduvjeti biljne proizvodnje

### Elementi poljoprivrednog proizvodnog prostora

Suvremena poljoprivredna proizvodnja pa tako i biljna proizvodnja kao njen primarni proizvodni segment rezultanta je različitih biljno-uzgojnih, okolišnih, tehničko-tehnoloških, sociološko-ekonomskih, zakonodavnih, ali i niza drugih elemenata. Svi navedeni čimbenici mogu se svrstati u dvije osnovne uzročno-posljedično povezane skupine; prirodni (okolišni) i antropogeni (ljudski) čimbenici. Od ukupne kopnene površine Zemlje svega je 11% obradivo (što je otprilike 15 000 000 km<sup>2</sup>), odnosno iskoristivo za poljoprivrednu proizvodnju i na toj se površini proizvodi čak 95% od ukupne količine proizvedene hrane. Preostali veći dio od 89%, nije pogodan za poljoprivrednu proizvodnju, iz čega proizlazi kako je (uz male iznimke i potencijalne mogućnosti proširenja) poljoprivredna proizvodnja prostorno/površinski limitirana. Prostor u kojem se osjeća, a često i dominira utjecaj čovjeka, odnosno prostor koji naseljava čovjek i u kojem se osjeća njegov utjecaj, naziva se *antroposfera*. Ovaj se prostor opet dijeli na *tehnosferu* i *agrosferu*, i iako je taj prostor relativno mali (u usporedbi s cijelom zemljinom površinom) antroposfera je u konkurenciji s prirodnim okolišem, a kao krajnji rezultat uočava se ozbiljno narušavanje ekološke ravnoteže. Unutar antroposfere također postoji ozbiljna konkurencija, pri čemu tehnosfera ozbiljno konkurrira agrosferi, nadmećući se s njom i otimajući joj prirodne / okolišne / proizvodne resurse (prostor, voda, tlo i dr.).

Elementi poljoprivrednog proizvodnog prostora, odnosno agrosfere su:

- poljoprivredno stanište (agrobiotop) ili habitat
- poljoprivredna životna zajednica (agrobiocenoza)
- poljoprivredne fitocenoze (agrofitocenoze)
- poljoprivredni ekološki sustav (agroekološki sustav)

Poljoprivredni proizvodni prostor Republike Hrvatske definiran je regionalizacijom poljoprivrednog proizvodnog prostora, odnosno agroekološkom podjelom proizvodnih područja koja određuju i definiraju vegetacijske proizvodne čimbenike u uzgoju poljoprivrednih biljaka. Svrstavanjem agrobiotopa prema sličnosti u logičke prostorne cjeline, dobivene su poljoprivredne regije Hrvatske. Tako se Hrvatski poljoprivredni proizvodni prostor dijeli na tri regije, a svaka od njih se dodatno dijeli na podregije (Slika 1.).

### Vegetacijski čimbenici biljne proizvodnje

Poljoprivredna biljna proizvodnja definirana je nizom abiotskih (okolišnih) i biotskih (ekološko-bioloških) čimbenika, potpomognutih raznim drugim elementima, kao što su primjerice: agrotehnički, socijalno-ekonomski, tržišno-regulacijski, političko-pravni i dr. Okolišni čimbenici koji na biljnu proizvodnju djeluju izravnim i neizravnim utjecajem, nalaze se u neraskidivom interaktivnom odnosu, a uobičajeno se razvrstavaju u četiri osnovne skupine (Slika 2.).

**PANONSKA REGIJA**

- *Istočno panonska podregija (P-1)*
- *Središnja panonska podregija (P-2)*
- *Zapadno panonska podregija (P-3)*
- *Sjeverozapadna panonska podregija (P-4)*



**GORSKA REGIJA**

- *Predplaninska podregija (G-1)*
- *Planinska podregija (G-2)*



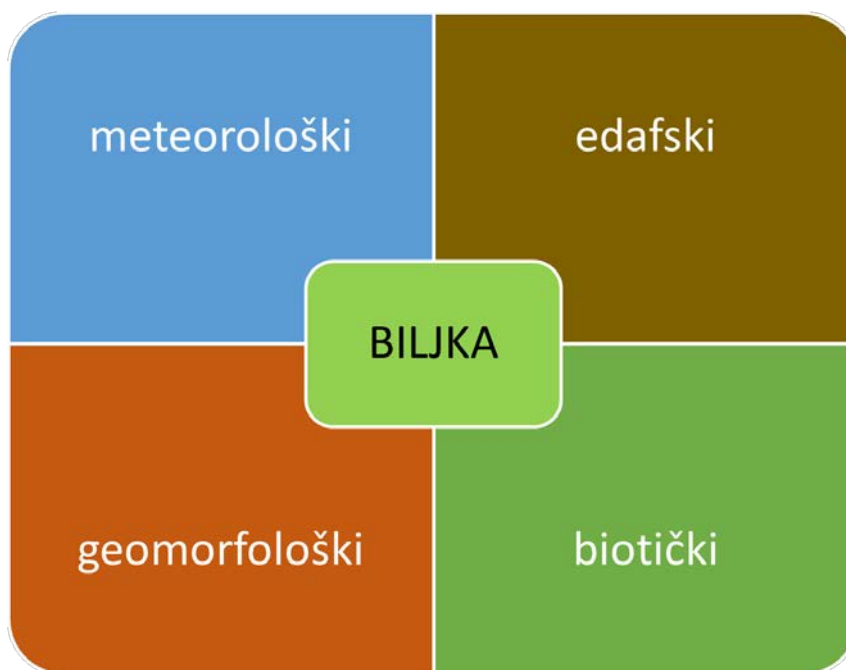
**JADRANSKA REGIJA**

- *Sjeverno jadranska podregija (J-1)*
- *Središnja jadranska podregija (J-2)*
- *Južno jadranska podregija (J-3)*



Slika 1. Regionalizacija hrvatskog poljoprivrednog prostora na poljoprivredne regije

Antropogeni utjecaj na vegetacijske (okolišne) čimbenike je vrlo ograničen i uvjetovan, a to se jasno vidi iz primjera najznačajnijih pojedinačnih čimbenika: svjetlost, toplina, voda, zrak, tlo, biljna hraniva, biotički efekti, i ostalo. Od svih navedenih čimbenika važnih u biljnoj proizvodnji, čovjekov je utjecaj najslabije izražen na meteorološke/klimatološke elemente.

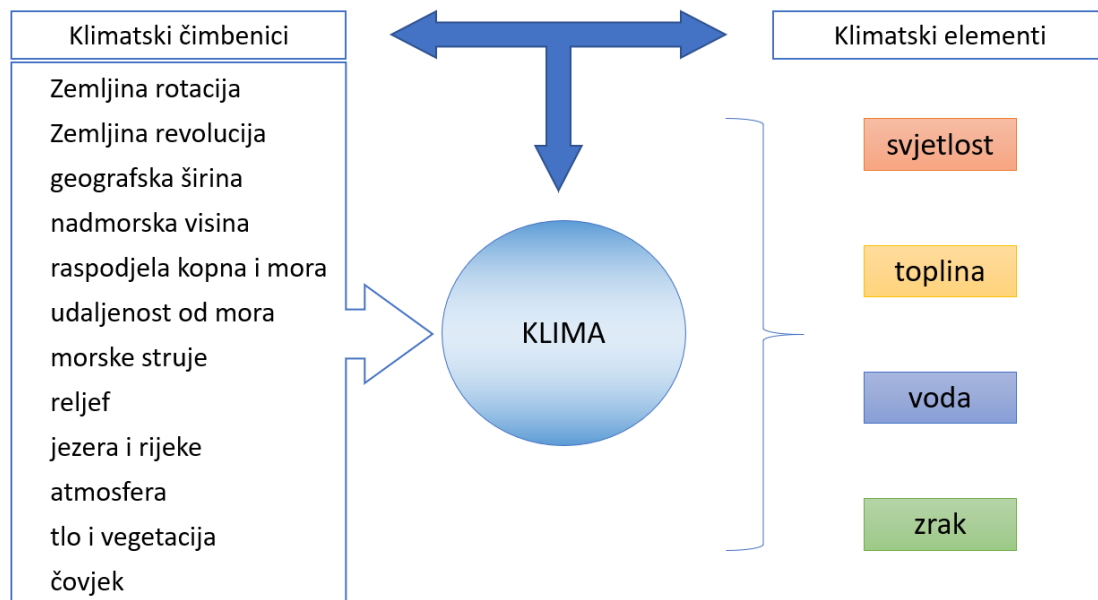


Slika 2. Čimbenici biljne proizvodnje

Agrobiocenoza se mora prilagođavati klimi agroekološkog uzgojnog područja.

### Meteorološki i klimatološki elementi poljoprivredne biljne proizvodnje

Od svih abiotskih i biotskih čimbenika, vremenske prilike imaju najveći utjecaj na poljoprivrednu biljnu proizvodnju. Za kvalitetno razumijevanje i ispravno tumačenje određenih pojava i događanja, za početak je najvažnije pravilno definirati osnovne stručne izraze. Tako se *vrijeme* definira kao ukupnost atmosferskih pojava i stanja atmosfere u određenom trenutku nad nekim određenim područjem. *Klima* se definira kao prevladavajuće stanje vremena, kao i pravilnost ili nepravilnost ponavljanja vremenskih tipova (prosječne vrijednosti meteoroloških elemenata u dužem vremenskom periodu) nad nekim određenim područjem. Standardni period vremena za definiranje klime iznosi 30 godina. Postoji više različitih načina i mogućnosti klasifikacije klime i klimatskih područja, a možda ju je najlakše definirati preko klimatskih čimbenika i klimatskih elemenata (Slika 3.).



Slika 3. Međusobni odnos klimatskih čimbenika i klimatskih elemenata

Osnovni, a ujedno i najvažniji klimatski elementi poljoprivredne biljne proizvodnje jesu:

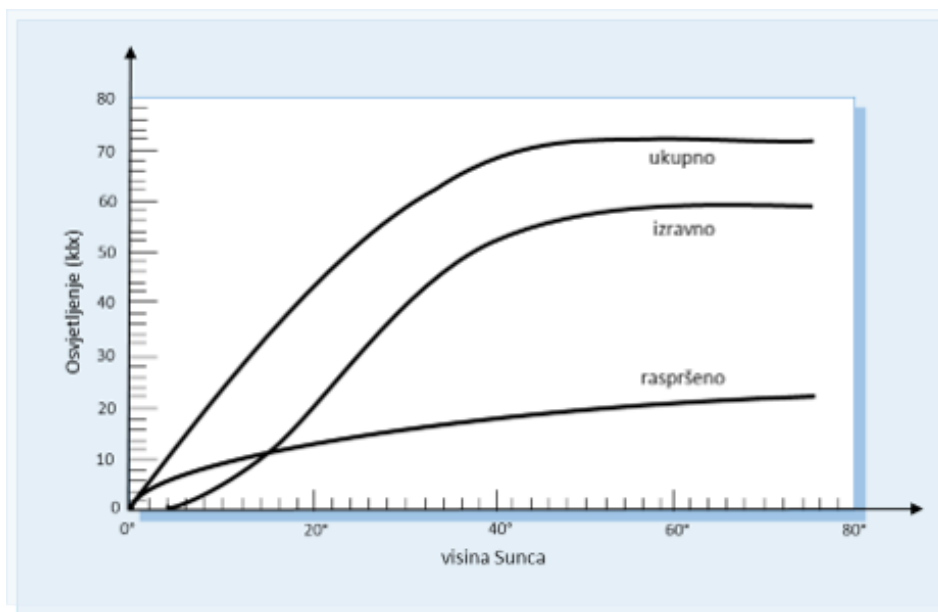
- Svjetlost
- Toplina
- Voda
- Zrak.

### Svjetlost

Svjetlost se smatra najvažnijim ekološkim čimbenikom biljne proizvodnje jer je izravno zaslužna za primarnu tvorbu organske tvari (fotosinteza). Od ukupnog Sunčevog dozračenja (različiti spektri zračenja), njegov vidljivi dio čini tek manji dio zračenja. Tako se vidljivi dio Sunčevog spektra kreće od 380 – 750 nm, a boje spektra su u granicama od ultraljubičastog do infracrvenog zračenja.



Sunčevo zračenje na Zemljinoj površini može biti izravno (direktno) ili raspršeno (difuzno), a zajedno čine ukupno ili globalno zračenje (Grafikon 1.). Kvaliteta Sunčevog osvjetljenja u smislu zračenja određene valne duljine ovisi o čistoći atmosfere, odnosno njoj zasićenosti raznim plinovima, aerosolima, naoblaci, duljini dana i dr. Prema ovome se izračunava relativno trajanje osunčavanja, a dobije se kao postotna vrijednost odnosa stvarnog i realno mogućeg trajanja sijanja Sunca. Opisane značajke svjetlosti izravno ili neizravno utječu na klimu nekog podneblja, a samim tim i na poljoprivrednu biljnu proizvodnju.



Grafikon 1. Odnos izravnog, raspršenog i ukupnog zračenja

Sunčevo zračenje bez kojega ne bi niti bilo života na Zemlji, može pored pozitivnih imati i niz negativnih učinaka na sam život našeg planeta. Primjerice, Sunčeve zrake ispod 300 nm štetne su za sve žive organizme, ali zbog ozonskog sloja u stratosferi samo manji dio dolazi na samu površinu Zemlje. Oštećivanjem i stanjivanjem ozonskog sloja (npr., CFC spojevima – freoni), manji se dio ovih zraka apsorbira, a veći dio dolazi na Zemlju uzrokujući razna oštećenja svih živih organizama. Dio spektra od 300 – 400 nm djeluje na nanizam i zadebljanje listova i ostalih tkiva. Dio Sunčevog spektra od 400 – 700 nm važan je za fotosintezu, s tim da je za aktivaciju fotosinteze najznačajniji spektar od 600 – 700 nm. Infracrveni spektar s valnim duljinama većim od 700 nm nevidljiv je i ima toplinska svojstva. Valne duljine od 700 – 800 nm djeluju na produžetak rasta, tj. produžetak vegetacije biljaka i rast u visinu (veći habitus). Stoga se u sjevernijim krajevima gdje prevladava dulji spektar više uzgajaju krmne kulture i općenito one s većim potencijalom za razvoj biomase. Općenito, zrake duljeg vala djeluju na formiranje veće biomase. Valne duljine od 700 – 1000 nm pokreću razvoj generativnih organa, djeluju na boju biljke i izazivaju fotonastiju. Valne duljine veće od 1000 nm su infracrvene toplinske zrake.

Intenzitet svjetla predstavlja količinu svjetla u jedinici vremena na jedinicu površine, a mjeri se luksima (lx). Poljoprivredni usjevi, odnosno pojedine kulture, različito reagiraju na količinu i intenzitet osvjetljenja. Tako se kulture dijele u tri grupe:

- *heliofiti* – kojima je potrebno mnogo svjetla, to su "biljke svjetla", a zasićenje postižu pri 5000 lx i više (npr., kukuruz, duhan)

- *skiofiti* – koji traže malo svjetla, to su "biljke sjene", a zasićenje postižu već na 500 lx (npr., sobno cvijeće)
- *semiskiofiti (mezofiti)* – biljke s osrednjom potrebom za svjetlošću (npr., bundeva, grah, djetelina).

Intenzitet svjetla ključan je za odvijanje procesa fotosinteze zbog čega je važna minimalna vrijednost njegovog intenziteta. Za svaku biljnu vrstu te su vrijednosti drukčije. Tako minimalne količine svjetla za optimalnu cvatnju i razvoj ploda graška iznose 850 – 1100 lx, za kukuruz 1400 – 1800 lx, a za ječam i pšenicu 1800 – 2000 lx. Općenito, u širokom prosjeku svjetlosno zasićenje za poljoprivredne kulture iznosi 1000 – 1300 lx, dok je optimum za njihov normalni rast i razvoj 8000 – 20 000 lx. Prejaki intenzitet svjetlosnog zasićenja izaziva razaranje kloroplasta ili tzv. "solarizaciju", dok preniski intenzitet ne pobuđuje aktivnost kloroplasta ili je fotosinteza vrlo slaba (zbog čega dolazi do etioliranja, odnosno "izbjeljivanja" listova).

Što je intenzitet svjetla manji to je veća zastupljenost zraka većih valnih duljina. Na intenzitet svjetla utječe više čimbenika:

- *doba dana* – tijekom dana intenzitet svjetla se mijenja; ujutro i navečer je najmanji, a tijekom dana raste, dostiže maksimum u podne i ponovo pada prema zalasku sunca
- *nagib, odnosno visina sunca u godišnjim dobima* (nisko sunce zimi, visoko ljeti). Što je veći kut osvjetljenja jači je intenzitet (mali kut zimi, okomito sunce ljeti)
- *ekspozicija i inklinacija* (položaj/izloženost i nagib terena u odnosu na sunce); južna strana jačeg nagiba prema suncu – veći intenzitet, a na sjevernoj strani suprotno
- *naoblaka* – što je nebo oblačnije, intenzitet svjetla je slabiji
- *onečišćenje atmosfere* – prašina i druge primjese (magla, plinovi, smog) smanjuju intenzitet svjetla
- *geografska širina* – najjači intenzitet osvjetljenja je na ekvatoru, a prema polovima se smanjuje
- *agrotehnika (gustoća sklopa)* – u gušćim sklopovima biljke se međusobno jače zasjenjuju i na taj način smanjuju intenzitet svjetla.

Dužina dana na Zemlji nije jednaka na svim geografskim širinama. Najkraći je dan na ekvatoru (10 – 12 sati) i sve je duži idući prema polovima. Poljoprivredne biljke su se tijekom evolucije prilagodile ovoj pojavi i uskladile procese fotosinteze, rasta i razvoja. To je tzv. "fotoperiodička reakcija" (fotoperiodizam). Za poljoprivredne kulture to je od iznimne važnosti, a posebice s aspekta njezinog vegetativnog i generativnog razvoja, koje je vezano za duljinu dana. Kulture se u pogledu zahtjeva za duljinom dana (kratki dan je 10 – 12 sati, a dugi iznad 13 – 14 sati) dijele u dvije ili tri skupine:

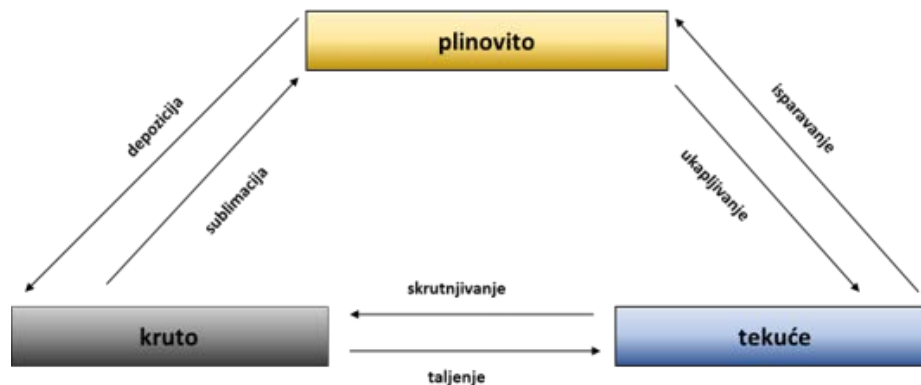
- biljke dugog dana (zob, raž, pšenica, mrkva, repa, crvena djetelina)
- biljke kratkog dana (konoplja, pamuk, soja, kukuruz, duhan)
- neutralne biljke (heljda, suncokret, ječam ozimi, mak).

Reakcije biljaka na duljinu dana mogu biti i pozitivne i negativne. Ako se primjerice biljke kratkog dana prenesu u područje dugog dana, one produžavaju vegetaciju i nisu u stanju prijeći iz vegetativne u generativnu fazu (formiraju samo vegetativnu masu i ne mogu zatvoriti svoj životni ciklus). Biljke dugog dana prenesene u područje kratkog dana skraćuju vegetaciju, intenziviraju razvoj i inhibiraju rast (smanjenje habitusa). Ako se biljke dugog dana prenesu u područje još dužeg dana, one skraćuju vegetaciju (ranije akumuliraju potrebnu količinu svjetla budući da je duži dan).

Ovako opisane reakcije biljaka samo su općenite, budući da su se suvremenim metodama genetike, oplemenjivanja, odnosno selekcije, zbog različitih kombinacija i unošenja gena u nove kultivare, kulture toliko izmijenile da se spomenute granice sve više brišu i počinju dominirati prijelazni oblici (tzv. neutralne biljke).

## Toplina

Izvor topline kao i svjetlosti na Zemlji je Sunce. Toplina predstavlja fizikalni oblik energije nekog tijela, odnosno prijelazni oblik energije koji se prenosi između dva tijela kao rezultat razlika njihovih temperatura. Temperatura je indikator toplinskog stanja, odnosno stupanj zagrijanosti nekog tijela, a najčešće se uobičajeno izražava u °C (Celzijev stupanj). Svako tijelo u određenim uvjetima (temperatura, tlak) ima određeno i njemu svojstveno agregatno stanje, koje se mijenja ako se dovoljno razmijeni toplina tijela s okolinom (Shema 1.)

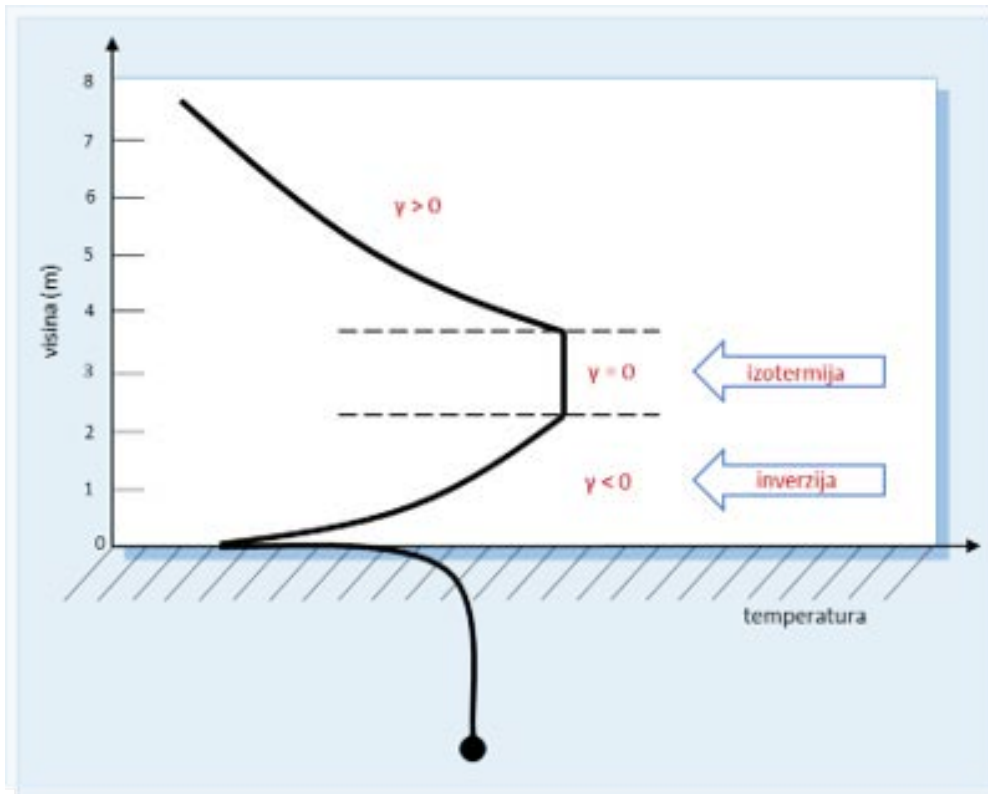


Shema 1. Promjene agregatnih stanja

Sunčevim se izravnim zračenjem atmosfera vrlo malo zagrijava, već je ono najvećim dijelom posredno, odnosno toplinska energija dolazi od neke zagrijane podloge. Iz tog je razloga najniži sloj atmosfere (troposfera) najtopliji pri dnu, a s visinom temperatura opada. S porastom visine temperatura se u slobodnoj troposferi u pravilu smanjuje dinamikom od  $0,6 - 0,7 \text{ } ^\circ\text{C } 100 \text{ m}^{-1}$  visine. Promjenu temperature s porastom visine opisuje *vertikalni temperaturni gradijent* ( $\gamma$ ). Ukoliko temperatura s porastom visine raste, pojava se naziva *temperaturna inverzija*, a ako se temperatura s porastom visine ne mijenja, onda je to *temperaturna izotermija* (Grafikon 2.). Svi ove navedene pojave imaju izravan i neizravan utjecaj na biljnu proizvodnju.

Svi dijelovi Zemlje ne zagrijavaju se jednoliko, već je prostorna i vremenska heterogenost ovisna o geografskoj širini, godišnjem dobu, vrsti podloge (kopno ili vodena površina), reljefu, nadmorskoj visini i dr. Dozračena toplinska energija Sunca širi se u svim smjerovima i to uvijek od mjesta s višom temperaturom prema mjestu s nižom temperaturom određenog medija ili tijela. Ovaj se proces naziva toplinski tok, a nastaje kao razlika temperatura između dva medija/tijela. Sama brzina prijenosa topline je veća ili manja, ovisno o mediju (tijelu) i njegovom koeficijentu toplinske vodljivosti, ali i veličini čestica, poroznosti podloge, vlažnosti medija i sl. Toplinska vodljivost tla ovisi o njegovom sastavu, sadržaju zraka, vode ili leda u šupljinama i veličini strukturnih agregata.





Grafikon 2-Opcije promjene temperatura s promjenom visine

Suho usitnjeno tlo – manja toplinska vodljivost – jače zagrijavanje tla

Mokro zbijeno tlo – veća toplinska vodljivost – slabije zagrijavanje tla

Temperature nad različitim podlogama kolebaju u prosjeku 4 – 7 °C. Tako primjerice golo tlo ima veće temperaturne oscilacije nego tlo obraslo vegetacijom, pa tako za stupanj zagrijanosti prema vrsti podloge vrijedi sljedeće: pijesak (> t) obradivo tlo (> t) travnati pokrov.

Raspon temperatura postepeno se smanjuje s povećanjem dubine tla. Tako su najniže temperature površine tla tijekom zime, dok su tijekom ljeta najniže temperature tla na dubinama 8 – 10 m. Godišnji raspon temperatura u našem području prodire u dubinu tla 8 – 15 m, a dnevni raspon do 70 cm.

Snježni pokrivač ima važan utjecaj na temperaturu tla, štiteći usjeve poput toplinskog izolatora od niskih temperatura i izmrzavanja tijekom zime

Vodene površine zagrijavaju/hlade se prijenosom toplinske energije procesima zračenja, vođenja i prenošenja (konvekcije). U usporedbi s kopnom, velike se vodene površine zbog specifičnog toplinskog kapaciteta sporije zagrijavaju, ali i sporije hlade. Budući da vodene površine mogu akumulirati veliku količinu toplinske energije, one značajno utječu na makro i mikroklimatske uvjete okoliša, čime ujedno definiraju i oblik poljoprivredne biljne proizvodnje.

Termička konvekcija je proces prenošenja topline uvjetovan gibanjem vode zbog razlika u njenoj gustoći. Gušća voda je teža zbog čega tone, a rjeđa i lakša voda se uzdiže. Ova pojava utječe i na salinitet, odnosno premještanje slojeva vode. Dinamička konvekcija je proces prenošenja topline uvjetovan gibanjem vode zbog djelovanja vjetrova koji formiraju valove, zatim plime i oseke te morskih struja. Velike vodene mase (oceani, mora, velika jezera) – polako mijenjaju svoju temperaturu (u usporedbi s kopnenim površinama). Promjene temperature morske površine su male (0,5 °C), kao i godišnji rasponi (2,5 – 5 – 8 °C).

### Reakcija biljaka na toplinu

U uzgoju poljoprivrednih biljaka, temperature zraka imaju nešto veći značaj u odnosu na temperature tla. Prema utjecaju na biljke temperature uobičajeno dijelimo na optimalne, kardinalne i kritične. Optimalne su one temperature pri kojima se vitalne funkcije biljaka odvijaju maksimalnom brzinom, dok kardinalne temperature mogu biti minimalne i maksimalne, kao i temperature ispod ili iznad kojih prestaju životne funkcije. U slučaju približavanja temperatura prema optimalnim, biljke izlaze iz zone kardinalnih temperatura. Kritične temperature su one minimalne i maksimalne temperature ispod ili iznad kojih se javljaju nepopravljive štete u funkcijama ili na biljnim organima, nakon kojih biljke umiru. Iste temperature nemaju isti značaj za sve biljne organe iste biljke, već su neki dijelovi biljaka jače ili slabije otporni na takve stresove. Kao primjer se mogu navesti cvjetni pupovi voćaka koji su osjetljiviji od vegetativnih pupova, list i stabljika otporniji su od cvijeta itd.

Uz temperaturne rangove, potrebno je navesti i tzv. "biološki temperaturni minimum" koji predstavlja donju granicu života biljaka, ali samo za slučaj prestanka aktivnog rasta i uz uvjet da je biljka još uvijek živa. Ovaj je pojam poznat i kao "temperaturni prag", a različit je za pojedine kulture ili skupine kultura. Temperaturni prag definiran je minimalnom temperaturom pri kojoj započinje neki fiziološki proces (npr., klijanje ili nicanje), a može iznositi 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C, 20 °C i 25 °C. Biološki temperaturni minimum u umjerenom klimatu iznosi 5 °C.

Najvažniji procesi u biljkama ovisni o toplini jesu:

- apsorpcija (usvajanje vode)
- usvajanje hraniva i plinova (CO<sub>2</sub>)
- biokemijski procesi (disanje, fotosinteza)
- rast, razvoj i dioba stanica.

Prema zahtjevima za toplinom biljke se mogu podijeliti na tri skupine:

- Termofilne ili megatermne kulture – biljke koje za svoj rast i razvoj traže visoke temperature, odnosno čija se vegetacija odvija u zoni viših temperatura, a temperaturni prag im je u pravilu iznad 5, 10, 15 i 20 °C. To su, npr., kukuruz, soja, suncokret i dr. s temperaturnim pragom od 10 °C i neke tropske kulture s pragom od 15 °C itd.
- Kriofilne ili frigofilne kulture – biljke koje se dobro prilagođavaju niskim temperaturama ili čak za svoj rast i razvoj traže određeno razdoblje niskih temperatura. To su npr., ozime kulture (pšenica, ječam, raž), uljana repica i dr. Naprimjer, ozima pšenica traži poseban režim tzv. "kaljenja" da bi prezimila.
- Mezofilne kulture – biljke osrednjih zahtjeva prema toplini.

S obzirom na veliku heterogenost, ali i prilagodljivost biljaka, optimalne, minimalne i maksimalne temperature kreću se u širokom prosjeku u rasponu 0 – 45 °C. Između 25 i 30 °C prosječan je optimum za većinu fizioloških procesa, osobito za fotosintezu. Maksimalne temperature za usvajanje vode od strane biljaka kreću se između 35 – 40 °C. Optimalne temperature za respiraciju kreću se između 35 – 40 °C. Pri 45 °C inaktivira se klorofil i prestaje fotosinteza. Na 50 °C prestaje disanje. Optimum za cvatnju i oplodnju je oko 25 °C, a za zriobu su potrebne temperature više od 25°C.

Dnevno-noćna izmjena temperatura odražava se na dinamiku fizioloških procesa i ima značajan utjecaj na produktivnost fotosinteze. Kao dobar primjer može se navesti primjer šećerne repe. Tijekom kolovoza i rujna uobičajene su visoke dnevne, ali i noćne temperature zraka u našim agroekološkim uvjetima. Tijekom noći visoke temperature pospješuju disimilaciju, pa se šećer asimilirani danju u značajnoj mjeri potroši tijekom noći. Iz ovog je razloga digestija (postotak šećera – saharoze) šećerne repe često niska. Istovremeno, u hladnijim agroekološkim uvjetima uzgoja šećerne repe (npr., Austrija) ostvaruju se veće vrijednosti digestije, neovisno o primijenjenoj agrotehnici.

Utjecaj visokih temperatura može imati pozitivan i negativan učinak. Negativan učinak se obično manifestira gubitkom vode, smanjenjem turgora, desikacijom protoplazme, promjenama u strukturi protoplazme i funkciji enzima. Zatim u koagulaciji proteina, sterilnosti polena i njegovom isušivanju, preranom opadanju cvijeta, u disbalansu fotosinteze i respiracije, povećanju transpiracije, prisilnoj zriobi i dr.

Učinak tzv. "toplinskog udara", odnosno prisilne zriobe naročito je opasan u mliječnoj i voštanoj zriobi žitarica. Prisilna zrioba se događa kada se ispune sljedeći uvjeti: visoke temperature zraka, niska relativna vlažnost zraka i zemljišna suša (manjak vode u tlu). Pri ovim uvjetima, a naročito ako potraju nekoliko dana, biljka nije u stanju nadoknaditi gubitak vode transpiracijom pa nastupa prisilna zrioba. Temperatura biljaka nije jednaka u svim njenim dijelovima, a razlika prvenstveno ovisi o:

- temperaturi okolnog medija (zrak)
- gibanju zraka (brzina, temperatura, vlažnost)
- apsorpciji i emisiji zračenja (odnos dugovalnog i kratkovalnog zračenja)
- njihovoj latentnoj toplini
- uskladištenoj toplini
- otporu prijenosa topline (specifični toplinski koeficijent).

Postoji više načina borbe protiv negativnog utjecaja visokih temperatura na poljoprivredne biljke, a najznačajnije koje se mogu primijeniti u našim agroekološkim uvjetima jesu: pomicanje kritičnog razdoblja vegetacije (raniji kultivari ili promjena roka sjetve), uzgoj otpornih kultivara i zasjenjivanje biljaka.

Pozitivan učinak visokih temperatura prvenstveno je u slučaju potrebe isušivanja mokrog tla, zagrijavanja tla, zriobe i sušenja plodina.

Štetni učinci niskih temperatura prvenstveno se odražavaju na morfologiju biljaka (vanjski izgled), desikaciji protoplazme, koagulaciji koloida, povećava se koncentracija staničnog soka, dolazi do mehaničkih oštećenja tkiva (kristalići leda kidaju membrane i uzrokuju fiziološku smrt stanice). Disanje prestaje pri -10 °C, iako neke kulture podnose i -14 °C, -20 °C (pšenica), -30 °C (raž), -10 °C (crvena djetelina), leća -5 do -6 °C, krumpir -3 do -6 °C, bundeva -1,5 °C, šljiva -32 do -38 °C, a kruška i jabuka -38 do -40 °C (cvjetni pupovi -25 °C).



Treba razlikovati izdržljivost na niske temperature u fazi mirovanja biljaka (npr., faza jarovizacije) od izdržljivosti na niske temperature tijekom vegetacije (npr., mraz). U ovom se slučaju navode četiri temperaturna praga:

- prirodna otpornost na mraz
- nulta vegetacijska točka
- tolerantni maksimum
- apsolutni maksimum.

Između točke prirodne otpornosti prema mrazu i nulte točke, vegetacija miruje, dok se između maksimalne tolerantnosti i apsolutnog maksimuma rast naglo usporava.

Od pozitivnih strana niskih temperatura (mraz i temperature u većim minusima) treba izdvojiti pozitivan efekt izmrzavanja tla tijekom zime (posebice teških glinastih tala) zbog čega je u proljeće olakšana priprema sjetvenog sloja (tzv. "efekt mraza"). Mnoge štetočine (larve, imaga, jajašca), bolesti i korovi stradavaju tijekom zimskog razdoblje. Poznato je kako su štete koje čine u poljoprivrednim usjevima znatno veće iza blagih zima.

Borba protiv negativnog učinka niskih temperatura (prvenstveno mraza) dijeli se na pasivne i aktivne mjere, a najznačajnije su:

- o Sjetva/sadnja usjeva u bezmraznom vegetacijskom razdoblju, uz poštivanje optimalnih rokova sjetve/sadnje. O ovoj mjeri nisu ovisni ozimi usjevi i trajni nasadi (voćnjaci i vinogradi) – pasivne mjere.
- o Izbor položaja (voćka, loza), izbor kultivara, povoljna i prilagođena agrotehnika – pasivne mjere.
- o Aktivne mjere: mogu biti antiradijacijske, dinamičke i termičke:
  - *antiradijacijske*: formiranje neprozirnog sloja za infracrvene zrake, pokrivanje usjeva
  - *dinamičke*: izbjegavanje nastanka hladnih slojeva zraka iznad tla (npr., miješanje zraka upotrebom ventilatora ili helikoptera u voćnjacima, vinogradima)
  - *termičke*: proizvodnja topline pećima, vatrom, generatorima, sprječavanje taloženja hladnog zraka u "mraznim džepovima" pomoću barijera živih ograda. Nadalje, prskanje vodom, otopinom borne kiseline i uree. Prskanje vodom podiže temperaturu ograničeno za samo 1,6 – 2,2 °C s -1 do -2 °C. Dimljenje se može obavljati naftnim plamenikom ili paljenjem mokre slame, lišća, organskog gnojiva (guma i nafta nisu ekološki prihvatljiva rješenja jer značajno onečišćuju zrak).

Zbog zahtjeva biljaka za toplinom najveća su prostranstva poljoprivrednih površina u umjerenom pojasu. Prema ekvatoru ograničenje je najčešće u visokim, a prema polovima niskim temperaturama. Zbog tih se razloga poljoprivredna proizvodnja u tropskim uvjetima može odvijati do 3000 m nadmorske visine, a prema sjevernom polu do 72°s.g.š. (dalje na sjever se protežu tundre). S porastom visine za svakih 100 metara temperatura pada za  $\approx 0,65$  °C, a vegetacija kasni 5 dana. Visinska granica uzgoja usjeva u europskim uvjetima je na 600 m za termofilne kulture (kukuruz, vinova loza, voće), 1000 m za jare usjeve, a 800 m za ozime usjeve. Od 1000 do 2000 m dolaze šume i travnjaci. Postoje bitne razlike u ekspoziiji između sjevernih i južnih položaja.

## Voda

Voda je esencijalna tvar života na Zemlji i jedna od glavnih sastavnica njenog klimatskog sustava. Voda se pojavljuje u sva tri agregatna stanja: krutom (led, snijeg), tekućem (voda, kiša, rosa) i plinovitom (vodena para). Prijelaz iz jednog agregatnog stanja u drugo odvija se neprekidno, stoga je voda najnestabilniji klimatski element.

Gustoća vode iznosi  $1 \text{ kg dm}^{-3}$  zbog čega se količina vode može osim obujmom, također prikazati i masom. Obično se količina vode prikazuje visinom vodenog sloja na ravnoj podlozi. Tako je debljina vodenog sloja od 1 mm na ravnoj podlozi od  $1 \text{ m}^{-2}$  jednaka  $1 \text{ dm}^{-3}$  (odnosno 1 litra)

Na kompleksnost procesa kruženja vode u prirodi, a time i u ekosustavima (pa i agroekosustavima) značajno utječu evaporacija i transpiracija, kao njegove neizostavne komponente. Evaporacija je spontano odlaženje molekula vodene pare iz vode ili leda s bilo koje površine (vodene ili kopnene). Isparavanje se povećava ako se povise temperature podloge i zraka, ako se pojača vjetar i ako je zrak suh. Za isparavanje 1 g vode iz tekućeg agregatnog stanja potrebno je utrošiti oko 2514 J topline. Transpiracija je proces isparavanja vode kroz biljku preko lista, stabljike i drugih njezinih dijelova. Oko 70 do 100% ukupne količine isparene vode otpada na aktivnu transpiraciju kroz puči (stome), a ostatak na pasivnu, koja teče preko biljne opne, kutikule (Slika 4.). Ovaj je fiziološki proces prirodan i nužan za normalno funkcioniranje biljke, a njime se voda iz tla preko korijena i nadzemnih organa biljke ispušta u atmosferu.



*Slika 4. Gutacija - proces gubitka vode iz listova biljaka putem kapljica*

Za poljoprivrednu je proizvodnju vrlo važan pokazatelj *transpiracijski koeficijent* (TK) kojim se označava količina vode koja je potrebna biljkama za tvorbu njene suhe tvari. TK se uobičajeno izražava u g ili kg za tvorbu jednog g ili kg suhe organske tvari. TK nije fiksna veličina, već je ovisna o nizu agroekoloških uvjeta uzgoja, kao i nizu biljno-fizioloških svojstava biljaka u uzgoju. U Tablici 1. navedeni su primjeri i orijentacijske veličine TK za neke poljoprivredne kulture.

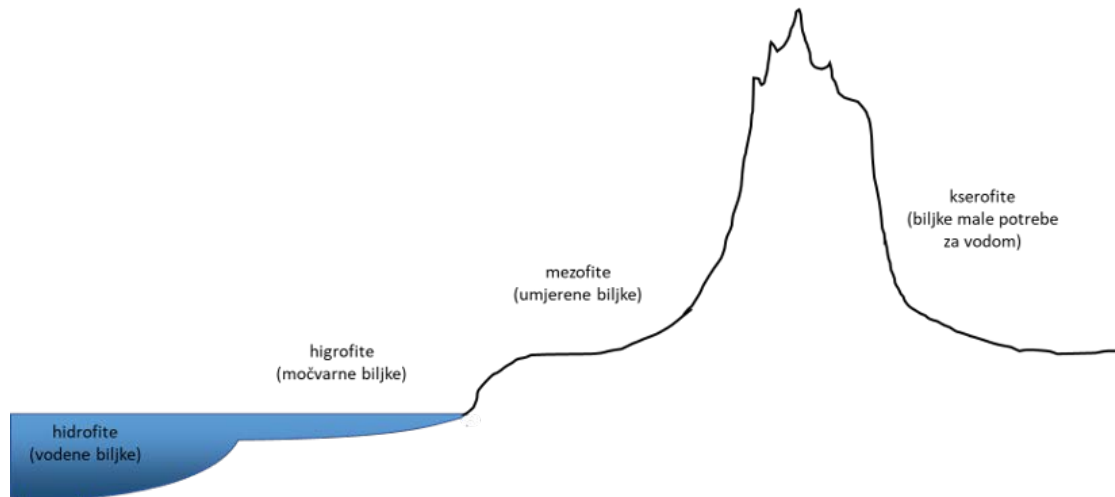
Kultura	Transpiracijski koeficijent (TK)
Pšenica	450 – 600
Kukuruz	250 – 300
Riža	500 – 800
Pamuk	300 – 600
Konoplja	600 – 800
Trave	500 – 700
Povrće	500 – 800

Tablica 1. *Transpiracijski koeficijenti nekih poljoprivrednih kultura*

Evapotranspiracija (ETc) je zajednički naziv za evaporaciju i transpiraciju i označava ukupnu količinu vode koja se vraća u atmosferu. Razlikuje se potencijalna i stvarna evapotranspiraciju. Potencijalna nije ograničena nedostatnom količinom vode, odnosno to je maksimalno moguća evapotranspiracija u okolnostima određenim neto iznosom zračenja, odnosno temperaturom, vlagom zraka i brzinom vjetra. Stvarna evapotranspiracija je ona transpiracija koja se realno događa, a ograničena je nizom elemenata, prvenstveno potencijalnom evapotranspiracijom.

Količina pristupačne vode (oborine), aridnost i humidnost, značajno utječu na razdiobu kulturnih biljaka na Zemlji. Kulturne se biljke prema potrebama za vodom dijele na četiri osnovne skupine (Shema 2.):

- hidrofite ili akvatične biljke – imaju veliku potrebu za vodom (riža) i djelomično ili u potpunosti žive u vodi
- kserofite – imaju skromniji utrošak vode, dobro podnose sušu i povremene deficite vode (kukuruz, suncokret, šećerna repa, sirak, proso, lubenica). Kserofite se još mogu podijeliti na:
  - eukserofite – dobro podnose fiziološku sušu (maslina)
  - parakserofite – dobro podnose atmosfersku sušu i sušu površinskih slojeva tla zahvaljujući snažnom korijenovom sustavu (luk)
  - hemikserofite – dobro podnose sušu zbog akumuliranja vode u neke organe (sukulentne biljke)
- mezofite – umjerenih su potreba za vodom (pšenica, ječam)
- higrofite – imaju velike potrebe za vodom (crvena djetelina, soja, zob, lupina, konoplja, trave).



Shema 2. Prostorni raspored skupina biljaka različitih potreba za vodom

Suša može biti "fiziološka" (uzrokuje sušenje stanica, tkiva, organa, a zaštitni mehanizmi čuvaju biljku od koagulacije plazme) i "ekološka" (uslijed manjka vode u okolišu ili njezine nedovoljne pristupačnosti). Reakcije biljaka na stres uslijed suše (Slika 5.) mogu se iskazati na razne načine:

- prirodna/genetska tolerantnost uz smanjenje prinosa
- akumulacija vode u organima (kaktus)
- uvijanje lišća (kukuruz, sirak) smanjuje transpiraciju
- dormantnost (privremena uspavanost u nepovoljnim uvjetima)
- ubrzavanje i skraćivanje vegetacije.



Slika 5. Utjecaj suše na ozimu pšenicu



Reakcije biljaka na stres uslijed prevelike vlažnosti obično idu u smjeru smanjenja prinosa zbog:

- slabe aeracije, manjka kisika (uvjeti anoksije i hipoksije), (Slika 6.)
- smanjenog rasta i funkcije korijena (usporena ili onemogućena apsorpcija)
- otežane cvatnje, niske kvalitete sjemena
- otežane zriobe (produžetak vegetacije u jesen – kukuruz).



*Slika 6. Reakcija usjeva kukuruza na dugotrajno ležanje vode na tlu*

1 mm oborine (kiše) je ekvivalent 1 l vode na kvadratni metar površine, dokaz:

$$100^2 \text{ cm}^2 \times 0,1 \text{ cm} = 1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ l}$$

Različiti oblici oborina mogu imati pozitivan i negativan utjecaj na rast i razvoj biljaka. Vrsta, oblik, intenzitet i ukupna količina oborine presudni su elementi ovog utjecaja. U interakciji s mehaničkim sastavom tla i njegovom stratigrafijom bitno određuju režim vlage tla. U poljoprivrednoj proizvodnji najveći značaj imaju kiše umjerenog, slabog intenziteta. Jake kiše, pljuskovi, torencijalne kiše izazivaju eroziju, brzo otjecanje i gubitak vode i degradaciju površinskog sloja tla. Tuča je uvijek štetna, a pogotovo tijekom vegetacije.

Pozitivni učinci snijega jesu u tome što je on izvor vode (posebno značajno u aridnim krajevima), a u zimskim uvjetima služi kao termoizolator ozimim usjevima. Snijeg također ima i negativne učinke:

- kidanje grana zbog njegove težine – vočke
- zbog dužeg zadržavanja može izazvati pojavu gljivičnih bolesti, smanjenje sadržaja kisika (intoksikacija akumulacijom CO<sub>2</sub> dovodi do "gušenja usjeva")
- otežava zagrijavanje tla u proljeće, reflektira 80 – 90% sunčeve svjetlosti
- sprječava izmrzavanje tla
- usporava proljetne radove
- kasni snijeg može uništiti posijane jarine ili izazvati polijeganje ozimina
- opasnost od pojave ledene kore (nastaje izmjeničnim topljenjem i smrzavanjem snijega ili smrzavanjem kiše koja je pala na snijeg – može dovesti do "gušenja biljaka").



Rosa nije obilan izvor vode za biljke (godišnje svega nekoliko mm), ali ih može osvježavati tijekom velikih ljetnih vrućina. Negativan učinak rose je što može pogodovati jačem razvoju gljivičnih bolesti jer mijenja fitoklimat (u sklopu biljaka) povećavajući relativnu vlažnost zraka.

## Zrak

Zrak kao jedan od najvažnijih klimatskih elemenata očituje se kroz različite oblike, primjerice: sastav zraka, gibanje zraka (vjetar), tlak zraka, kao i različite ekspresije ovih pojava.

Kemijski sastav današnje atmosfere u suštini je vrlo jednostavan jer se 99% suhog zraka sastoji od samo dva elementa: dušika (N) 78,08% i kisika (O<sub>2</sub>) 20,95%. Ostatak od nepunih 1% čine ostali plinovi atmosfere: plemeniti plinovi, staklenički plinovi i vodena para.

*Dušik (N)* se ubraja u stalnu sastavnicu atmosfere i u njoj se nalazi u elementarnom obliku (N<sub>2</sub>). Postojan je, inertan, slabo apsorbira Sunčevu svjetlost i slabo ulazi u kemijske reakcije. Ujednačenog je sadržaja u tlu i zraku. Od iznimnog je značaja kao element biljne ishrane.

*Kisik (O<sub>2</sub>)* se kao dušik ubraja u stalnu sastavnicu atmosfere. Osnova je organskog života na Zemlji, a nastaje kao produkt fotosinteze. Postotni udio kisika u atmosferi varira s promjenom godišnjih doba, ali je ta promjena mala i unutar 0,1%. Njegov sadržaj u zraku tla značajno je različit i manji od sadržaja u atmosferi. Manji udio kisika u tlu ponajviše je ovisan o biološkoj aktivnosti tla, većem sadržaju vode, jačoj zbijenosti tla i slabijoj aeraciji.

*Ugljikov(IV) oksid (CO<sub>2</sub>)* ubraja se u skupinu stakleničkih plinova promjenjivog sastava. U atmosferi se nalazi u vrlo malom postotku (0,042%), dok se u tlu nalazi u deset puta većoj koncentraciji. Njegov je značaj kao sastavnice atmosfere vrlo velik jer ulazi u niz bioloških procesa i kemijskih reakcija. Iz atmosfere izlazi trošenjem u procesu fotosinteze i kemijskim reakcijama nastajanja karbonata, dok u atmosferu ulazi prirodnim putem (vulkani, šumski požari, mineralizacija organske tvari, disanje i dr.) i antropogenim putem (industrija, promet, nafta i dr.). Ima veliki utjecaj na pojačavanje učinka staklenika, a služi i kao ekvivalent za ostale plinove s učinkom staklenika. Ovo svojstvo ugljičnog dioksida proizlazi iz njegove sposobnosti apsorpiranja dugovalnog reflektiranog toplinskog zračenja Zemlje. Pri ovome dolazi do negativne bilance toplinskog zračenja, što znači da se veći dio tog zračenja zadržava na Zemlji, a manji dio reflektira se natrag u svemir. Njegova koncentracija u atmosferi je ispod optimalne za odvijanje fotosinteze. Računa se da je učinkovitost usvajanja CO<sub>2</sub> vrlo niska, tek oko 10%. U usjevu mu se koncentracija tijekom dana mijenja; tijekom dana je manja, a noću je veća. Vjetar značajno utječe na njegovu koncentraciju u usjevu. Ako udio CO<sub>2</sub> u tlu pređe 1%, postaje štetan. Kada se njegov udio u atmosferi ne bi redovito nadoknađivao i obnavljao, sve bi se njegove rezerve potrošile za fotosintezu za 35 – 40 godina.

*Vodena para (H<sub>2</sub>O)* ubraja se u skupinu stakleničkih plinova promjenjivog sastava kao i ugljični dioksid. Njen sadržaj u atmosferi vrlo je varijabilan i kreće se od 0% u polarnim krajevima do 4% u tropskim krajevima. U atmosferi srednjih geografskih širina, s umjerenim klimatom, prosječni udio vodene pare kreće se oko 1%. Osim na horizontalnoj ravnini sadržaj vodene pare varira i po vertikalnoj osi, smanjujući se s porastom visine. Vodena para je staklenički plin najsnažnijeg pojedinačnog učinka jer ima sposobnost apsorpirati veliku količinu toplinske radijacije Zemlje. Njen je učinak na razini 60 – 70% učinka svih stakleničkih plinova. Za usporedbu, staklenički učinak ugljičnog dioksida na razini je 25%. S meteorološkog aspekta vodena para najvažniji je sastojak atmosfere jer njenim promjenama nastaju

oborine, a također sudjeluje u energetskej bilanci cijelog sustava zbog izmjena njenih agregatnih stanja i potrošnje ili oslobađanja njene latentne topline.

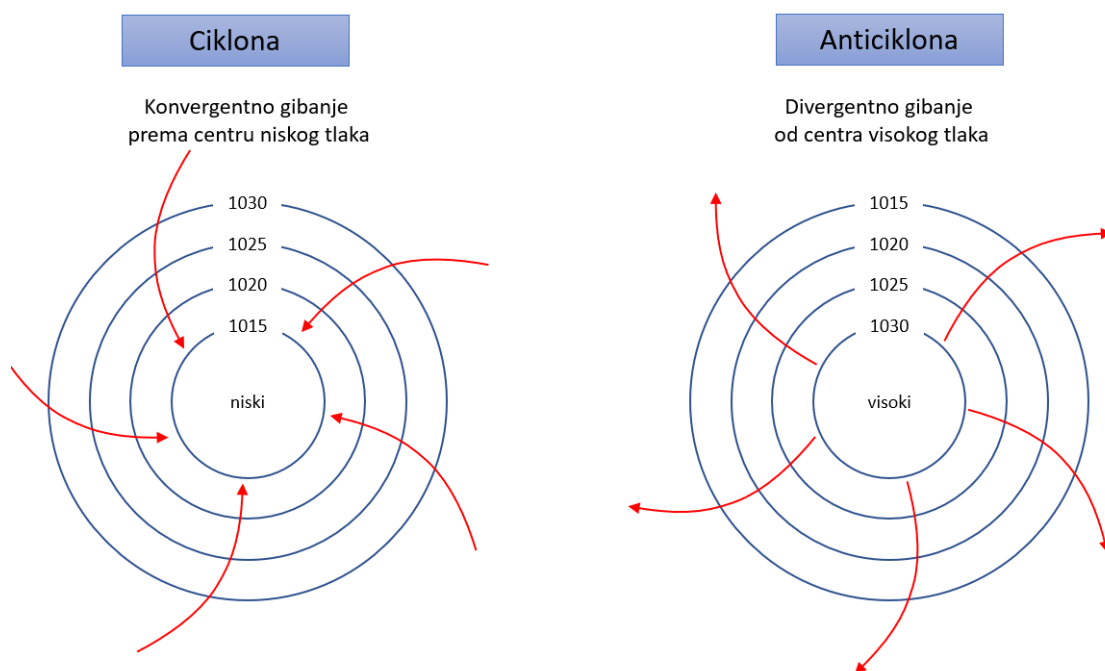
Od svih meteoroloških elemenata tlak zraka ima najmanji izravni utjecaj na biljni svijet, a njegovo je posredno djelovanje preko strujanja i ostalih vremenskih zbivanja vrlo veliko. Poznavanje tlaka zraka ima presudno značenje za analizu i prognozu vremena. Instrument za mjerenje tlaka zove se barometar, a barograf je instrument za automatsko registriranje tlaka. Izobare su linije koje pokazuju oblik baričkog polja (polje tlakova).

Iznad nehomogene podloge zrak se ne zagrijava jednoliko. Zato ni izobarne plohe nisu paralelne s tlom. Zbog razlike tlakova javlja se gradijentska sila koja nastoji izjednačiti horizontalne razlike. Vjetar ili advekcija (i strujanje općenito) posljedica je djelovanja gradijentske sile zbog nejednakog tlaka u približno horizontalnoj ravnini. Iz ovoga proizlazi kako je primarni uzrok nejednakih tlakova različita brzina zagrijavanja ili hlađenja zraka nad nehomogenom podlogom. Vertikalno gibanje zraka naziva se konvekcija, a nastaje kao posljedica termički nestabilne atmosfere.

Ciklona je polje niskog tlaka i donosi oblačno vrijeme i oborine. Zrak se u ciklonalnom polju giba od rubova prema centru, odnosno prema mjestu najnižih tlakova. Ovakvo se gibanje zraka naziva konvergentno. Na sjevernoj hemisferi u cikloni strujanje zraka teče suprotno od smjera kazaljke na satu (Shema 3.).

Anticiklona je polje visokog tlaka i ljeti je u anticikloni vedro. Vjetar je u pravilu slabiji nego u cikloni. Zrak se u anticiklonalnom polju giba od centra prema rubovima, odnosno od mjesta najviših tlakova. Ovakvo se gibanje zraka naziva divergentno. Na sjevernoj hemisferi u anticikloni strujanje zraka teče u smjeru kazaljke na satu.

Topla fronta je kad toplija zračna masa zauzima područje gdje se nalazi hladniji zrak. To se događa kad je brzina vjetera u toplom zraku veća nego u hladnom. Kod hladne fronte dolazi do prodora hladne zračne mase, a topla se povlači. Hladni zrak prodire pod topli i gura ga u visinu.



Shema 3-Smjer prizemnog vjetera u ciklonalnom i anticiklonalnom polju

Vjetar je gibanje zračnih masa paralelno sa Zemljinom površinom. Određen je svojim smjerom i brzinom. Brzina vjetra izražava se u metrima u sekundi ( $\text{m s}^{-1}$ ) ili čvorovima. Čvor je naziv za brzinu od jedne morske milje na sat. Morska ili nautička milja iznosi 1 852 m, dakle čvor  $\approx 0,515 \text{ m s}^{-1}$ . Brzina vjetra ovisi o polju tlaka. Tamo gdje su razlike tlaka na maloj udaljenosti velike, odnosno pri većem horizontalnom gradijentu tlaka, pušu jaki vjetrovi. Jednako tako, mirno vrijeme sa slabim vjetrom je u uvjetima vrlo malog gradijenta tlaka. Smjer vjetra označuje se onom stranom svijeta odakle vjetar puše. Brzina vjetra mjeri se pomoću anemometra (ručni, s mehaničkim prijenosom i s električnim prijenosom), a kontinuirane zapise smjera vjetra daje anemograf.

### Djelovanje vjetra na biljnu proizvodnju

Djelovanje vjetra na biljke može biti pozitivno i negativno ovisno o njegovom smjeru, jačini i učestalosti, ali i o sustavu biljne proizvodnje i stadiju razvoja usjeva.

Negativno djelovanje vjetra očituje se u sljedećem:

- savija, deformira i lomi grane, ruši stabla i biljke
- izaziva polijeganje usjeva (žitarica, kukuruza, suncokreta)
- kida plodove (voće) i uništava cvjetove
- smeta kukcima u oplodnji biljaka
- širi korove (anemohorija)
- pojačava negativno djelovanje niskih temperatura
- formira nanose snijega na usjevima
- donosi morsku sol (u primorskim krajevima)
- povećava transpiraciju (posebice ako je suh i vruć)
- pojačava fiziološku sušu u proljeće
- izaziva abrazije ako nosi pijesak
- izaziva eolsku eroziju.

Pozitivno djelovanje vjetra očituje se u sljedećem:

- suši mokro tlo (ubrzava proljetne radove)
- suši krmu i plodine (npr., u jesen)
- donosi svježiji zrak ( $\text{CO}_2$ ) i vlagu
- na sjevernim padinama brže topi snijeg
- vrlo je važan za oplodnju stranooplodnih biljaka (voćke, kukuruz, suncokret, heljda, lucerna)
- često snižava temperaturu u usjevu (hladi biljke).

Kad vjetrovi suviše ugrožavaju agrikulturu na bilo koji način, nužna je zaštita većih razmjera. Jedna od vrlo starih i efikasnih mjera zasađivanje je prirodnih prepreka vjetru, odnosno vjetrobrana ili vjetrozaštitnih pojaseva. Najčešće se izrađuju od drveća, gustog raslinja itd., kojima se smanjuje brzina vjetra. Mogu štiti biljke pojedinačno ili obavljati zaštitnu ulogu širokih razmjera (na velikim područjima), služeći kao korektivni mikroklimatski čimbenik. Vjetrobrani mogu biti mrtvi i živi, odnosno barijere ili palisade. Mrtve palisade su tzv. suhozidi ili su načinjene od pletera, a žive su od trava, grmlja, drveća. Smanjuju brzinu ili usmjerenje vjetra na udaljenosti 3 – 5 puta od svoje visine, u širokom prosjeku. U našem se priobalnom području kao mrtve prepreke koriste suhozidi od kamenja (ograđene

površine vinograda, maslinika, smokvika), a žive od čempresa, bora, cedra, tuje ili grmlja lovora, planike, tamarisa itd. U kontinentalnim se područjima obično koriste brijest, joha, topola, platana i dr.

## Klimatske Promjene i poljoprivreda

Klimatske promjene nisu novina već su se one događale i u ranijim periodima tijekom duge povijesti Zemlje. Specifičnost u odnosu na prethodna razdoblja je u činjenici kako je glavni krivac za ove klimatske promjene čovjek. Antropogeni utjecaj toliko je jak i obuhvatan da se mnogi znanstvenici zalažu za uvođenje novog naziva za geološku eru u kojoj se nalazimo – antropocen. Od posljednjeg ledenog doba (koje je završilo prije otprilike 10 000 – 13 000 godina), sve su se civilizacije razvijale u holocenu, odnosno vremenskom razdoblju u kojem su se ljudska društva razvijala i napredovala "otkrićem" poljoprivrede i proizvodnje hrane, gradnjom naselja i korištenjem okolišnih resursa općenito.

Kako bi se izbjegli nesporazumi oko razumijevanja i definiranja pojedinih klimatskih stanja i procesa (što nije rijetkost), ovdje se u skraćenoj formi donose uobičajene definicije nekih terminoloških izričaja (i njihov prijevod na engleski jezik) vezanih uz klimatske promjene (Slika 7.).

Vrijeme (*Weather*) – trenutno stanje atmosfere (vremenske prilike u kratkom periodu vremena)

Klima (*Climate*) – prosječno stanje atmosfere (prosječne vrijednosti meteoroloških elemenata u dužem periodu vremena – standardni period vremena = 30 godina)

Učinak (efekt) staklenika (*Green house effect*) – proces pri kojem se toplinsko zračenje (infracrveno zračenje) s površine Zemlje adsorbira u atmosferi, a adsorbiraju ga staklenički plinovi te dolazi do ponovnog zračenja u svim smjerovima. Dio tog zračenja dolazi natrag u niže slojeve atmosfere i na Zemljinu površinu što dovodi do povećanja prosječne temperature zraka

Klimatske varijacije (*Climate variability*) – Značajne promjene klimatskih (okolišnih) veličina za određeni prostor i vrijeme, a može trajati od nekoliko tjedana do nekoliko desetljeća [*kratkoročne promjene = short-term effect*]

Klimatske promjene (*Climate change*) – Statistički značajne promjene srednjeg stanja ili varijabilnosti klimatskih veličina koje traju desetljećima, stoljećima i duže – [*dugotrajne promjene = long-term effect*]

Globalno zatopljenje (*Global warming*) – iznad prosječno i statistički značajno povećanje temperature zraka na globalnoj razini, nastalo kao posljedica prirodnih i antropogenih utjecaja (u periodima vremena od nekoliko desetljeća ili duže) – često sinonim za klimatske promjene

Globalno zahlađenje (*Global cooling*) – proces snižavanja prosječne temperature Zemlje na statistički značajnoj razini, nastao kao indirektna posljedica globalnog zagrijavanja (poremećaj u cirkulaciji atmosfere i oceana)

Slika 7. Hijerarhija definiranja terminoloških izričaja klime

Poljoprivreda se ubraja u jedan od najranjivijih sektora na klimatske promjene. Očekivane posljedice klimatskih promjena (na lokalnoj, regionalnoj i globalnoj razini), prema FAO ugrubo se mogu podijeliti na biofizičke i socioekonomske, a koje su vezane uz sljedeće pokazatelje:

- povećana potrošnja vode
- povećan rizik od poplava
- povećan rizik od erozije i pad kvalitete tla
- povećan rizik gubitka vodenih staništa
- izmijenjeni prirodni ekosustavi, gubitak staništa i potencijalni gubitak vrsta
- umanjena produktivnost komercijalnih šuma i povećan rizik od požara otvorenog prostora

- negativne posljedice na poljoprivredu uslijed nestašice vode
- izmijenjen potencijal ribarstva
- povećana materijalna šteta uslijed učestalih ekstremnih vremenskih prilika
- izmijenjeni turistički potencijali
- posljedice po ljudsko zdravlje
- migracije stanovništva.

Granicu između biofizičkoga i socioekonomskoga utjecaja klimatskih promjena nije moguće jasno uočiti, što ukazuje na visoku razinu njihove integracije i višestruke lančane uzročno-posljedične povezanosti.

Poljoprivredna je biljna proizvodnja izravno i neizravno definirana, a time i ovisna o elementima klimatskog sustava. Istovremeno, po principu povratne sprege, poljoprivredna proizvodnja izravno i neizravno utječe na izmjene klimatskog sustava. Poljoprivreda svojom primarnom aktivnošću utječe na onečišćenje tla, vode i zraka, a njen negativan utjecaj proizlazi iz deforestacije, dezertifikacije, gubitka bioraznolikosti, erozije tla, gubitka organske tvari tla, salinizacije, acidifikacije tla i oceana i dr.

Poljoprivreda sudjeluje s preko 20% emisije stakleničkih plinova iz antropogenih izvora u ukupnoj emisiji, a najznačajniji od njih su:

- o CO<sub>2</sub> (21% – 25% od ukupne CO<sub>2</sub> emisije) iz fosilnih goriva s farmi, paljenja biomase, ali većinom zbog deforestacije i prenamjene tla
- o CH<sub>4</sub> (55% – 60% od ukupne CH<sub>4</sub> emisije) iz uzgoja riže, prenamjene tla, paljenja biomase, fermentacije preživača, životinjskih ekskremenata
- o N<sub>2</sub>O (65% – 80% od ukupne N<sub>2</sub>O emisije) uglavnom iz dušičnih gnojiva s obradivih površina i životinjskih ekskremenata.

Prema načelu kauzalnosti, klimatske promjene utječu na poljoprivrednu proizvodnju na lokalnoj, regionalnoj i globalnoj razini na izravan (fizikalna, kemijska i biološka degradacija) i neizravan način (ekonomski, gospodarski, sociološki, tehnički, tehnološki, politički i dr.). Na globalnoj se razini, kako navodi FAO, mogu očekivati sljedeće posljedice u poljoprivredi:

- smanjenje prinosa i razine proizvodnje
- smanjenje udjela poljoprivrede u BDP-u
- fluktuacije cijena na svjetskom tržištu
- povećanje broja gladnih
- migracije i socijalni nemiri.

Biljna proizvodnja, kao primarni producent u lancu proizvodnje hrane, pod izravnim je utjecajem klimatskih promjena, a ujedno je i najosjetljiviji segment poljoprivredne proizvodnje. Najznačajniji segmenti i refleksije biljne proizvodnje pod utjecajem klimatskih promjena jesu:

- dugotrajna promjena prosječnih temperatura zraka i količine oborina
- povećani razvoj bolesti, korova i štetnika
- degradacija tla (erozija, ispiranje hraniva, smanjena infiltracija)
- produžetak vegetacije (pozitivan utjecaj)
- skraćanje vegetacije (kasno-proljetni i rano-jesenski mraz).



Intenzitet, oblik, razina i trajnost navedenih promjena u najvećoj mjeri su ovisne o stabilnosti agroekološkog uzgojnog područja, ali i njegovoj sposobnosti prilagodbe na izmijenjene uvjete uzgoja koji se očekuju uslijed promjene klime.

Realno je postaviti pitanje: "Može li se, i ako da, u kojoj mjeri poljoprivredna biljna proizvodnja prilagoditi klimatskim promjenama?" Većina znanstvenika je stava kako će doći (ili je već došlo) do velikih promjena u biljnoj proizvodnji. Ovaj je stav lako razumjeti, a posebice ako se zna kako je:

- abiotski i biotski uvjetovan stres uzrokovan klimatskim promjenama najznačajniji čimbenik ograničenja proizvodnje hrane
- prilagodba biljaka i životinja na različite uvjete životne sredine trajala  $\approx$  400 milijuna godina (a klimatske se promjene događaju vrlo brzo)
- tolerantnost na ekstremne uvjete uvjetovana složenim biokemijsko-fiziološkim mehanizmima
- prilagodba biljaka i životinja na klimatske promjene spora i evolucijski uvjetovana
- rezultat duže izloženosti biljaka i životinja stresu uvijek i redovno smanjenje prinosa.

Uslijed klimatskih promjena dolazi do promjene raznih meteoroloških parametara, a predviđanje (prognoze) njihove pojavnosti iznimno je zahtjevno i složeno. Tako, npr., valja napomenuti kako između temperature i oborina postoji vrlo složena interakcija. Intenzivnije i izraženije epizode oborina, vjetera, poplave, suše, ekstremnih temperatura i dr., mogu rezultirati uništavanjem usjeva, smanjenjem infiltracije, pojačanim površinskim otjecanjem, intenziviranjem erozije, gubitkom hraniva, onečišćenjem vodotokova i ostalo. Povećanje prosječne minimalne temperature zraka, kao i povećanje prosječnih noćnih temperatura, kod nekih biljaka može izazvati stres. Kao posljedica može se očekivati smanjenje i usporavanje rasta i razvoja, ranije sazrijevanje, poremećaji u reprodukciji (polinaciji), intenziviranje pojavnosti bolesti, korova i štetočina (povećana upotreba pesticida) te, u konačnici, smanjenje kvalitete i kvantitete uroda. Povećanje razine atmosferskog CO<sub>2</sub> može uzrokovati promjene u normalnom funkcioniranju biljaka (npr., veći prinos, a manja kvaliteta).

Jedna od najznačajnijih negativnosti klimatskih promjena je smanjenje i gubitak (agro) bioraznolikosti. U posljednjih nekoliko stotina godina antropogeni učinak na povećanje stope izumiranja biljnih i životinjskih vrsta je za više od 1000 puta veći u odnosu na prirodni ciklus izumiranja vrsta tijekom cijele povijesti Zemlje. Kreiranjem poljoprivrednih ekosustava (agroekosustava) izravno se utjecalo na degradaciju prirodnih ekosustava, a time i na smanjenje bioraznolikosti. Gubitkom bioraznolikosti, a posebice agrobioraznolikosti, otvara se prostor za širenje drugih, a najčešće invazivnih vrsta.

### **Mjere prilagodbe poljoprivredne proizvodnje na klimatske promjene**

Klimatske promjene su iznimno kompleksan fenomen s puno nepoznanica i varijabli i kao takvom mu treba i pristupiti. Scenariji ili projekcije klimatskih promjena u budućnosti i njihov daljnji utjecaj na naš planet uglavnom ukazuju na povećanje prosječne temperature zraka i intenzivniju degradaciju okoliša. Strategije djelovanja potrebno je prilagoditi i usmjeriti prema različitim scenarijima klimatskih promjena koje se trebaju odvijati i provoditi istovremeno na tri osnovne razine: *stagnacija* daljnje degradacije okoliša (prvenstveno atmosfere), *ublažavanje* uzroka klimatskih promjena i *prilagodba* na klimatske promjene.

Primjenom različitih strategija omogućuje se sustavima proizvodnje hrane stabilnost (sigurnost), efikasnost (u smislu korištenja resursa) i prilagodljivost (pravovremeni i odgovarajući odgovor na

iznenadne promjene sustava). Postoji više različitih strategija prilagodbe poljoprivredne biljne proizvodnje na klimatske promjene, a kao najznačajnije valja istaknuti sljedeće koncepte:

- Klimatski pametna poljoprivreda
- Održivo gospodarenje zemljištem
- Konzervacijska poljoprivreda.

Klimatski pametna poljoprivreda (Climate Smart Agriculture - CSA) temelji se na tri osnovne postavke, odnosno integrira tri dimenzije održivog razvoja (ekonomski, socijalni i okolišni):

- održiva intenzifikacija poljoprivredne proizvodnje i dobiti
- prilagodba i jačanje otpornosti agroekosustava na klimatske promjene
- smanjenje i/ili uklanjanje plinova staklenika.

Održivo gospodarenje zemljištem (Sustainable Land Management - SLM) temelji se na ispunjavanju sljedećih uvjeta:

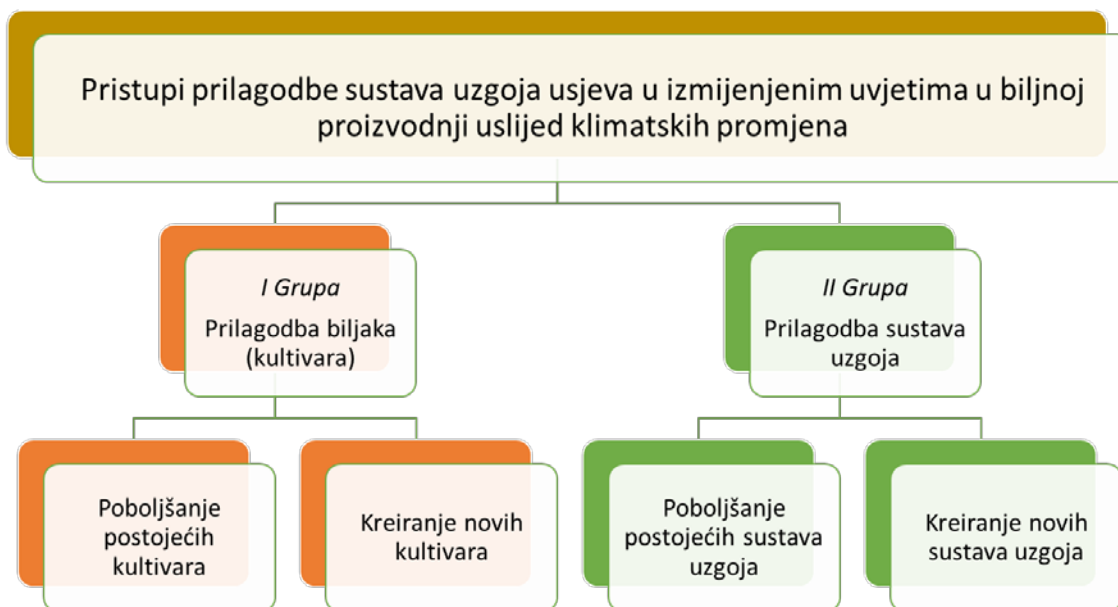
- proizvodnost
- sigurnost
- zaštita
- ekonomičnost
- socijalna prihvatljivost
- trajnost.

Konzervacijska poljoprivreda (Conservation Agriculture - CA) se temelji na tri osnovna postulata kreirana prema principima održivosti:

- trajna pokrivenost tla
- minimalno narušavanje tla obradom
- rotacija usjeva (plodored).

Za ove je koncepte značajna njihova prostorna, vremenska i tehnološka neovisnost, ali istovremeno u nekim slučajevima mogu biti međusobno visoko komplementarni. To znači da su uz određene nužne prilagodbe na specifičnosti agroekološkog uzgojnog područja, primjenjivi na globalnoj, regionalnoj i lokalnoj razini.

Uzimajući u obzir temeljne postavke poljoprivrede (npr., proizvodnost, održivost, dostatnost), zatim njene posebnosti (agroekološke i agrotehničke) u okviru prilagodbe na klimatske promjene, kao i mogućnosti odabira i primjenjivosti različitih strategija, postoji više različitih mjera i postupaka kojima se može doprinijeti ublažavanju i prilagođavanju klimatskim promjenama. Dvije su osnovne grupe izravnih i neizravnih mjera i postupaka koje se primjenjuju u prilagodbi poljoprivrede na klimatske promjene (Shema 4.).



Shema 4-Osnovne grupe pristupa prilagodbe sustava uzgoja

Prva grupa mjera prilagodbe temelji se na genetskoj i oplemenjivačkoj osnovi, a uključuje:

- razvoj genetskog potencijala
- introdukcija stranih kultivara
- kreiranje kultivara otpornijih na razne stresore.

Najznačajniji izvori stresa vezani uz klimatske promjene jesu visoka temperatura i suša, a oni služe kao prekursori za biotske i abiotske stresore za koje je potrebno razviti genetsku otpornost. Glavni biotski izvori stresa su: bolesti, štetočine, korovi, kukci, nematode, gljive, bakterije, virusi, a glavni abiotski: visoka i niska temperatura, višak ili manjak vode, insolacija, vjetar.

Druga grupa mjera prilagodbe biljne proizvodnje na klimatski uvjetovane promjene temelji se na provedbi redovitih agrotehničkih mjera i postupaka u biljnoj proizvodnji na održiv način. Neki od najznačajnijih su:

- konzervacijska obrada tla
- održavanje poticanja biogenosti tla i (agro)bioraznolikosti
- agrošumarstvo
- smanjenje erozije (vodom, vjetrom, obradom tla)
- plodoredi, združeni usjevi (konsocijacija), međusjevi
- pravilno gospodarenje vodom (navodnjavanje i protupoplavne mjere)
- pravilno gospodarenje humusom (i organskom tvari tla)
- sekvestracija ugljika (podizanje razine organske tvari)
- smanjenje emisije CO<sub>2</sub> (manipulacija biljnim ostacima)
- praćenje vremenskih i klimatskih prognostičkih modela
- prognoziranje uroda
- uzgoj otpornijih usjeva
- introdukcija stranih kultivara
- razvoj i primjena održivih tehnologija.

Prethodno navedene mjere i postupci u obje grupe mjera prilagodbe predstavljaju okvir prema kojemu bi se trebalo postupati s ciljem ublažavanja i prilagodbe klimatskim promjenama. Sustav mjera uspješno će funkcionirati samo uz uvjet značajne i istinske preorijentacije poljoprivredne proizvodnje od razine kreiranja legislative, preko proizvodnih i preradbenih ciklusa, do krajnje potrošnje.

*Napomena: dijelovi ovog članka preuzeti su iz Sveučilišnog udžbenika: "Osnove tloznanstva i biljne proizvodnje", autora Irena Jug, Danijel Jug, Bojana Brozović, Vesna Vukadinović, Boris Đurđević. Izdavač: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek (FAZOS), godina izdanja 2022, str. 527.*

Prof. dr. sc. Irena Jug

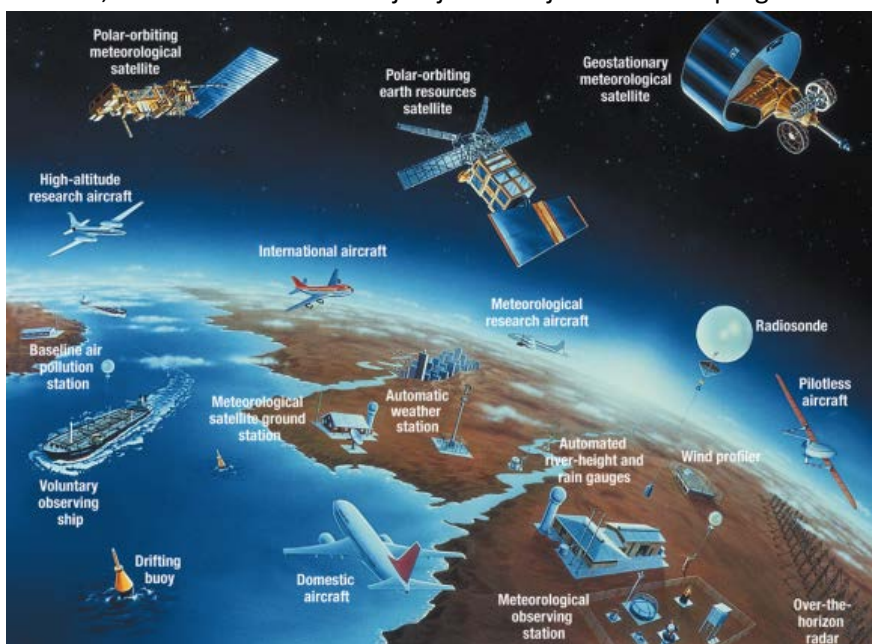
Prof. dr. sc. Danijel Jug

## Utjecaj COVID-19 na motrenja vremena i vremenske i klimatološke prognoze

Vremenska prognoza obično se dijeli na subjektivnu i objektivnu. Subjektivna vremenska prognoza rezultat je osobne ocjene stanja vremena prognostičara, odnosno analize dostupnih motrenih podataka, analize više različitih prognostičkih modela i osobnog iskustva meteorologa prognostičara. Objektivna vremenska prognoza (još se naziva i računalna) nastaje kao rezultat izravne primjene različitih računalnih prognostičkih modela. Za pouzdanije prognoze vremena potrebno je uzeti u obzir / analizirati različite objektivne prognostičke modele, a završnu riječ (odnosno prognozu) bi svakako trebao imati meteorolog prognostičar. Jednako tako, što je duže vrijeme za koje se donosi prognoza vremena to će pouzdanost iste biti manja, neovisno o kvaliteti računalnih modela i/ili meteorologa prognostičara. Prema vremenskom razdoblju za koje se donose, prognoze obično mogu biti:

- Vrlo kratkoročne (za sljedećih 12 sati),
- Kratkoročne (za sljedećih 12 – 72 sata)
- Srednjoročne (za razdoblje od 3 – 7 dana)
- Dugoročne (za razdoblje dulje od 10 dana, na primjer za jedan mjesec ili godišnje doba)

Posljednjih desetljeća vremenske se prognoze zasnivaju uglavnom na rezultatima numeričkih prognostičkih modela stanja atmosfere dobivenima s pomoću vrlo brzih superračunala. Svjetske meteorološke stanice istovremeno svaka 3 sata bilježe atmosferske prilike, a sinoptičke vrijednosti koje dobiju šalju se u 13 glavnih meteoroloških središta Svjetske meteorološke organizacije, gdje se pohranjuju u računala, a meteorolozi na temelju njih izrađuju vremenske prognoze.

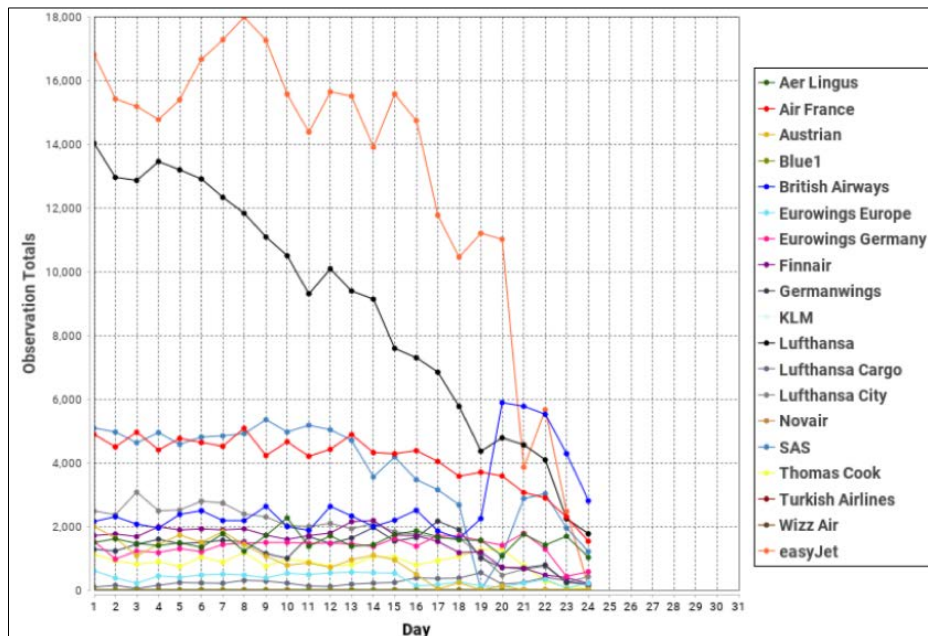


Slika 2. Izvori i načini prikupljanja meteoroloških i klimatoloških podataka

Svjetska meteorološka organizacija (WMO) i njen [Global Observing Systems](#) predstavljaju bazu svih meteoroloških i klimatoloških servisa i produkata za sve 193 WMO države članice, njihov teritorij i stanovnike (Republika Hrvatska je također članica WMO-a). Za dobivanje kvalitetnih prognoza vremena iz bilo kojeg prognostičkog modela potrebni su ulazni podaci. Prikupljanje ovih podataka odvija se kontinuirano instrumentima na kopnu, morima, oceanima, atmosferi i satelitima u zemljinoj orbiti u svemiru (Slika 1.).



WMO izražava zabrinutost uslijed pojave pandemije COVID-19 zbog utjecaja ove ugroze na kvantitetu i kvalitetu vremenskih i klimatoloških motrenja i prognoza. Do poremećaja kontinuirane "opskrbe" podacima motrenja i prikupljanja podataka ne bi trebalo doći u značajnijoj mjeri budući da su značajniji i veći sustavi motrenja djelomično ili potpuno automatizirani, ali uz uvjet da ova ugroza ne potraje dulje od nekoliko tjedana (što ovdje nije slučaj). Zbog obustavljanja zračnog prometa već sada je došlo do izvjesne ugroze u prikupljanju podataka temperature zraka, kao i brzine i smjera vjetra, kao vrlo važnih sastavnica vremenskih prognoza i klimatoloških motrenja. Komercijalne zračne kompanije u značajnoj mjeri doprinose prikupljanju meteoroloških podataka, na način da avioni opremljeni senzorima, kompjutorima i komunikacijskim uređajima prikupljaju, procesuiraju i transmitiraju prikupljene podatke zemaljskim meteorološkim postajama pomoću satelita ili radijskim signalom. Od trenutka zabrane leta komercijalnih aviokompanija (24. ožujka 2020.) prestali su pristizati i vrlo kvalitetni AMDAR podaci ([Aircraft Meteorological Data Relay programme](#)), kojih je do tada bilo u prosjeku preko 700 000 u danu (Slika 2.).



Slika 2. Smanjenje AMDAR podataka uzrokovan COVID-19

Što se tiče zemaljskih stacionarnih motriteljskih postaja u većini razvijenih država one su gotovo u potpunosti automatizirane, što znači da nema prekida dotoka motrenih podataka. Međutim, u zemljama u razvoju još uvijek se nije u potpunosti prešlo na automatizirani motriteljski sustav što znači da se on odvija manualno. U ovim je državama uslijed COVID-19 došlo do značajnog pada u kontinuiranom dotoku motrenih meteoroloških mjerenja.

WMO za svoje potrebe trenutno raspolaže sa: 16 meteoroloških i 50 istraživačkih satelita, preko 10000 punktova sa automatiziranim zemaljskim meteorološkim postajama, 1000 stanica u višim slojevima atmosfere, 7000 brodova, 100 usidrenih i 1000 pokretnih Plutača (bova), stotine meteoroloških radara i 3000 specijalno opremljenih komercijalnih zrakoplova. Iz svih ovih izvora svakodnevno pristižu ključni parametri mjerenja stanja atmosfere, kopna i oceana.

Prof. dr. sc. Danijel Jug

## Emisije stakleničkih plinova u poljoprivredi

### Uvod

Poljoprivreda je temeljna ljudska djelatnost sa svrhom osiguranja hrane i sirovina za različite industrije. Istovremeno poljoprivreda značajno doprinosi emisijama stakleničkih plinova (GHG od eng. *greenhouse gases*). Staklenički plinovi, od kojih su najvažniji ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) i didušikov monoksid (N<sub>2</sub>O), zadržavaju toplinu u atmosferi čime uzrokuju porast globalne temperature, što dovodi do klimatskih promjena (IPCC, 2019). Prema podacima Organizacije za hranu i poljoprivredu (FAO, 2016), poljoprivreda doprinosi s približno 10-12% od ukupnih globalnih emisija stakleničkih plinova, ne uključujući emisije povezane s promjenom korištenja tla. To čini poljoprivredu jednom od ljudskih aktivnosti koja pridonosi emisijama stakleničkih plinova, odmah nakon energetike i industrije (Tubiello i sur., 2015).

Emisije GHG iz poljoprivrede proizlaze iz različitih izvora, uključujući enteričku fermentaciju preživača, upravljanje stajskim gnojem, upotrebu sintetičkih i organskih gnojiva te uzgoj riže (Smith i sur., 2014). Enterička fermentacija preživača kao što su krave, ovce i koze uzrokom je znatne količine emisije metana, dok primjena dušičnih gnojiva rezultira emisijama didušikovog monoksida, plina koji ima čak 298 puta veći potencijal globalnog zagrijavanja od ugljičnog dioksida (IPCC, 2019).

Klimatske promjene uzrokuju niz problema, uključujući porast razine mora, ekstremne vremenske uvjete i gubitak bioraznolikosti (FAO, 2018). Poljoprivreda je također sama po sebi osjetljiva na klimatske promjene koje stoga dovode do smanjenja prinosa, degradacije tla i povećanja pojave štetnika i bolesti (Garnett i sur., 2013). Stoga postoji hitna potreba za razumijevanjem i smanjenjem emisija stakleničkih plinova iz poljoprivrede kako bi se ublažio utjecaj na klimu i umanjile posljedice klimatskih promjena te osigurala dugoročna održivost poljoprivrednih sustava.

Razumijevanje emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi iznimno je važno iz više razloga. Najprije, smanjenje emisija iz poljoprivrede može značajno doprinijeti globalnim naporima za ublažavanje klimatskih promjena (IPCC, 2019). Poljoprivreda je jedinstvena po tome što istovremeno može biti i izvor i "ponor" stakleničkih plinova. Pravilnim upravljanjem poljoprivrednim praksama moguće je povećati sekvestraciju ugljika u tlu i time doprinijeti smanjenju koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi (Lal, 2018). Nadalje, klimatske promjene imaju direktan utjecaj na poljoprivredu, i to na produktivnost, kvalitetu usjeva i stabilnost poljoprivrednih ekosustava. Povećana svijest o emisijama stakleničkih plinova u poljoprivredi i načinima njihovog smanjenja može pomoći u razvoju strategija koje će osigurati održivu proizvodnju hrane u budućnosti (Foley i sur., 2011). Naposljetku, poljoprivreda je od ključne važnosti za ekonomski razvoj i sigurnost hrane, posebno u zemljama u razvoju. Smanjenjem emisija stakleničkih plinova, moguće je ne samo smanjiti negativne utjecaje na okoliš, već i povećati otpornost poljoprivrednih sustava na klimatske promjene (FAO, 2018).

Cilj ovog rada je pružiti sveobuhvatni pregled emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi, te analizirati glavne izvore tih emisija i njihove učinke na okoliš. U radu će se također gledati odrediti ključne poljoprivredne prakse koje pridonose emisijama, kao i moguće metode za njihovo smanjenje. Na taj način, ovaj će rad pružiti temelj za razumijevanje problema emisija stakleničkih plinova u

poljoprivredi i ponuditi smjernice za daljnje istraživanje i implementaciju strategija koje mogu doprinijeti smanjenju ovih emisija i poboljšanju održivosti poljoprivrednih sustava.

### Izvori stakleničkih plinova u poljoprivredi

Poljoprivreda emitira različite stakleničke plinove, među kojima su najvažniji metan ( $\text{CH}_4$ ), didušikov monoksid ( $\text{N}_2\text{O}$ ) i ugljični dioksid ( $\text{CO}_2$ ). Svaki od ovih plinova ima različite izvore unutar poljoprivredne prakse te različito pridonosi ukupnom učinku staklenika (Slika 2).

Metan je izrazito snažan staklenički plin s potencijalom globalnog zagrijavanja koji je 25 puta veći od ugljičnog dioksida na razdoblje od 100 godina (IPCC, 2014). Iz poljoprivrede potječe oko 50% ukupnih globalnih emisija metana, što znači kako poljoprivreda ima ključnu ulogu u ukupnim emisijama GHG-a (FAO, 2013). Jedan od najvećih izvora metana u poljoprivredi dolazi od enteričke fermentacije, procesa probave u preživača poput goveda, ovaca i koza. Preživači tijekom probave proizvode metan kao nusprodukt, koji se oslobađa putem podrigivanja i, u manjoj mjeri, kroz crijevne plinove (Gerber i sur., 2013). Procjenjuje se kako enterička fermentacija čini oko 40% ukupnih emisija metana iz poljoprivrede (FAO, 2013). Uzgoj riže također doprinosi značajnim emisijama metana. Naime, kada su rižina polja poplavljena, anaerobni uvjeti pogoduju mikroorganizmima koji razgrađuju organske tvari i proizvode metan kao nusprodukt (Yan i sur., 2009). Zbog ovog procesa uzgoj riže doprinosi ukupnoj globalnoj emisiji metana s otprilike 10% (IPCC, 2019). Emisije metana također nastaju skladištenjem i obradom stajskog gnojiva. Kada se stajsko gnojivo skladišti u anaerobnim uvjetima (npr. u tekućem obliku ili u zatvorenim posudama), mikrobiološka razgradnja organskih tvari proizvodi metan (Montes i sur., 2013).

Didušikov monoksid ima čak 298 puta veći potencijal globalnog zagrijavanja od  $\text{CO}_2$  na razdoblje od 100 godina (IPCC, 2014). Poljoprivreda je odgovorna za približno 60% globalnih emisija  $\text{N}_2\text{O}$ , a najveći doprinos dolazi od primjene gnojiva i stajskog gnoja (FAO, 2013). Primjena dušičnih gnojiva u poljoprivredi rezultira emisijama  $\text{N}_2\text{O}$  zbog procesa nitrifikacije i denitrifikacije u tlu. Sintetička gnojiva koja sadrže dušik, kao i organska gnojiva poput stajskog gnoja i komposta, pružaju izvor dušika koji se mikrobiološki transformira u  $\text{N}_2\text{O}$  (Butterbach-Bahl i sur., 2013). Proces nitrifikacije i denitrifikacije su odgovorni za oslobađanje didušikovog monoksida iz tla. Nitrifikacija je aerobni proces u kojem se amonijak pretvara u nitrite i nitrate, dok je denitrifikacija anaerobni proces u kojem se nitrati pretvaraju u plinovite oblike dušika, uključujući  $\text{N}_2\text{O}$  (Snyder i sur., 2009).

Poljoprivredni strojevi, kao što su traktori, kombajni i sustavi za navodnjavanje, koriste fosilna goriva što rezultira emisijama  $\text{CO}_2$  (Lal, 2004). Poljoprivreda često uključuje promjene u korištenju zemljišta, poput krčenja šuma, krčenja travnjaka, te obrade i oranja tla. Ove aktivnosti dovode do oslobađanja ugljika pohranjenog u vegetaciji i tlu u atmosferu u obliku  $\text{CO}_2$  (Foley i sur., 2011). Krčenje šuma radi stvaranja novih poljoprivrednih površina posebno je problematično jer smanjuje ponore ugljika i povećava emisije  $\text{CO}_2$ . Unatoč tome što poljoprivreda doprinosi emisijama  $\text{CO}_2$ , ona također može djelovati kao ponor ugljika kroz sekvestraciju ugljika u tlu. Sekvestracija ugljika odnosi se na proces hvatanja i pohranjivanja ugljika iz atmosfere u tlo, čime se smanjuje količina  $\text{CO}_2$  u atmosferi (Lal, 2004). Prakse poput konzervacijske obrade tla, sjetve pokrovnih usjeva i agrošumarstva mogu povećati sekvestraciju ugljika i tako smanjiti ukupne emisije stakleničkih plinova u poljoprivredi (Smith i sur., 2008).

## Metode smanjenja emisija stakleničkih plinova

S obzirom na značajan utjecaj poljoprivrede na emisije stakleničkih plinova, postoji potreba za uvođenjem održivih poljoprivrednih praksi koje mogu učinkovito smanjiti emisije CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> i N<sub>2</sub>O. Konzervacijska obrada tla odnosi se na poljoprivredne prakse koje minimaliziraju ometanje tla, kao što su minimalna obrada, nulta obrada i pokrovni usjevi. Ove metode imaju brojne prednosti u smislu smanjenja emisija stakleničkih plinova. Konzervacijska obrada tla povećava zadržavanje organske tvari u tlu, smanjuje eroziju i poboljšava kapacitet tla za zadržavanje vode (Lal, 2015). Korištenje pokrovnih usjeva tijekom razdoblja kada osnovni usjevi nisu prisutni može pomoći u smanjenju emisija CO<sub>2</sub> jer biljke djeluju kao "ponor" ugljika, vežući ugljik iz atmosfere i pohranjujući ga u tlo (Friedrich i sur., 2012). Konzervacijska obrada tla smanjuje mineralizaciju organske tvari i tako smanjuje oslobađanje CO<sub>2</sub> u atmosferu. Studije su pokazale da nulta obrada može smanjiti emisije CO<sub>2</sub> iz tla za 30-60% u usporedbi s konvencionalnom obradom tla (West & Post, 2002). Prehrana stoke ima značajan utjecaj na količinu proizvedenog metana (CH<sub>4</sub>) tijekom procesa probave, posebno kod preživača poput goveda. Poboljšanje kvalitete prehrane stoke može smanjiti emisije metana po jedinici proizvedenog mlijeka ili mesa. Dodavanje lako probavljivih ugljikohidrata u prehranu, kao i korištenje dodataka poput ulja, može smanjiti emisije metana jer utječe na mikrobiološke procese u probavnom sustavu preživača (Beauchemin i sur., 2008). Također, dodavanje dodataka kao što su nitrati i tanini može smanjiti proizvodnju metana tijekom probave (Hristov i sur., 2013). Pravilnom primjenom i skladištenjem stajskog gnojiva mogu se značajno smanjiti emisije N<sub>2</sub>O i CH<sub>4</sub>. Optimizacija količine i vremena primjene gnojiva može smanjiti gubitke dušika iz tla i time smanjiti emisije N<sub>2</sub>O (Snyder i sur., 2009). Korištenje tehnika poput preciznog gnojidbenog planiranja, korištenje inhibitorne nitrifikacije te izmjenična primjena sintetičkih i organskih gnojiva može smanjiti emisije stakleničkih plinova. Anaerobna razgradnja stajskog gnojiva u uvjetima niske temperature i visoke vlage rezultira oslobađanjem metana, a aerobno kompostiranje gnojiva smanjuje stvaranje metana i dušikovih oksida (Petersen i sur., 2012). Primjena anaerobnih digestora za preradu stajskog gnojiva može dodatno smanjiti emisije CH<sub>4</sub> i istovremeno proizvesti bioplin kao obnovljivi izvor energije (Amon i sur., 2006). Agrošumarstvo podrazumijeva sadnju drveća na poljoprivrednim površinama i kombiniranje poljoprivrednih kultura i/ili stočarstva s uzgojem drveća. Drveće u agrošumarskim sustavima apsorbira i pohranjuje ugljik iz atmosfere, djelujući kao učinkovit ponor CO<sub>2</sub> (Nair i sur., 2010). Osim toga, korijenje drveća i otpaci biljaka povećavaju organsku tvar u tlu, čime se povećava sekvestracija ugljika u tlu (Jose, 2009). Agrošumarstvo također poboljšava bioraznolikost, smanjuje eroziju tla i poboljšava omjere vode i zraka u tlu, čime se povećava otpornost poljoprivrednih sustava na klimatske promjene (Montagnini & Nair, 2004). Digitalne tehnologije i precizna poljoprivreda nude inovativne načine za praćenje i smanjenje emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi. Upotreba senzora, satelitskih snimki i dronova omogućava precizno praćenje stanja tla, usjeva i okolišnih uvjeta, što omogućava optimizaciju primjene gnojiva, vode i drugih resursa (Gebbers & Adamchuk, 2010). Ove tehnologije mogu pomoći u smanjenju emisija stakleničkih plinova smanjenjem nepotrebne upotrebe resursa i povećanjem učinkovitosti poljoprivredne proizvodnje. Precizna poljoprivreda koristi podatke prikupljene pomoću senzora i digitalnih alata kako bi se optimizirala primjena gnojiva i vode. Ova praksa može smanjiti gubitke dušika i emisije N<sub>2</sub>O, dok istovremeno poboljšava prinos usjeva (Bongiovanni & Lowenberg-DeBoer, 2004).

## Poljoprivredne politike i poticaji za smanjenje emisija

Poljoprivredne politike i poticaji igraju ključnu ulogu u oblikovanju načina na koji se emisije stakleničkih plinova mogu smanjiti u poljoprivredi. Kroz međunarodne sporazume, europske i nacionalne politike, te razne poticaje za poljoprivrednike, vlade i institucije mogu usmjeravati poljoprivrednu praksu prema održivijim i klimatski prihvatljivijim rješenjima. Jedan od najvažnijih međunarodnih sporazuma u borbi protiv klimatskih promjena je Pariški sporazum (UNFCCC, 2015). Cilj ovog sporazuma je ograničiti porast globalne temperature na ispod 2°C u odnosu na predindustrijske razine, s nastojanjem da se porast temperature zadrži na 1,5°C. Pariški sporazum prepoznaje važnost poljoprivrede u smanjenju emisija stakleničkih plinova te potiče zemlje na razvoj strategija koje uključuju održive poljoprivredne prakse (FAO, 2016). Kao dio svojih obveza u okviru sporazuma, mnoge zemlje su razvile i implementirale nacionalne strategije za smanjenje emisija GHG iz poljoprivrede, uključujući poboljšanje upravljanja tlom, stokom i gnojivima. Tako nekoliko zemalja u svojim klimatskim planovima aktivno potiče integraciju održivih praksi, poput konzervacijske obrade tla i agrošumarstva (Smith i sur., 2014).

Drugi važni sporazumi i inicijative uključuju Agendu 2030 za održivi razvoj i Ciljeve održivog razvoja (SDGs), posebice cilj 13, koji se odnosi na borbu protiv klimatskih promjena (UN, 2015). Ovi ciljevi naglašavaju potrebu za transformacijom poljoprivrednih praksi kako bi se smanjile emisije stakleničkih plinova i poboljšala otpornost na klimatske promjene. Europska unija (EU) i države članice aktivno provode politike usmjerene na smanjenje emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi. Zajednička poljoprivredna politika (CAP) jedan je od ključnih instrumenata EU-a za poticanje održive poljoprivrede i smanjenje emisija stakleničkih plinova (European Commission, 2021). CAP uključuje razne ekološke zahtjeve i poticaje za poljoprivrednike, uključujući potporu za konzervacijsku obradu tla, zaštitu bioraznolikosti, te upotrebu agrošumarstva. Od 2023. godine, nova CAP politika uvodi "eko-sheme" koje su posebno osmišljene za promicanje održivih praksi i smanjenje emisija stakleničkih plinova (European Commission, 2021). Pojedine europske države također provode vlastite inicijative. Njemačka je tako usvojila strategiju za održivu poljoprivredu koja uključuje smanjenje upotrebe sintetičkih gnojiva, promicanje organskog uzgoja i poticanje praksi koje povećavaju sekvencijalnu upotrebu ugljika u tlu (BMEL, 2020). Francuska je pokrenula inicijativu "4 per 1000" koja promiče povećanje organskog ugljika u tlu za 0,4% godišnje kako bi se smanjile emisije CO<sub>2</sub> i poboljšala produktivnost tla (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2015).

Poticaji igraju važnu ulogu u poticanju poljoprivrednika na usvajanje održivih praksi i smanjenje emisija stakleničkih plinova. Mnoge zemlje nude subvencije i financijsku podršku poljoprivrednicima koji provode održive prakse. Na primjer, kroz CAP, poljoprivrednici mogu dobiti plaćanja za primjenu metoda koje smanjuju emisije stakleničkih plinova, kao što su konzervacijske obrade tla, sadnje pokrovnih usjeva i korištenja agrošumarstva (European Commission, 2021). Pojedine države nude i poticaje za korištenje tehnologija za preciznu poljoprivredu, koja omogućava učinkovitiju upotrebu gnojiva i vode, čime se znatno smanjuju emisije stakleničkih plinova (Gebbers i Adamchuk, 2010). Osim financijskih poticaja, mnoge zemlje pružaju edukaciju i savjetodavne usluge kako bi poljoprivrednicima pomogle u usvajanju novih tehnologija i održivih praksi. Ovi programi često uključuju savjetovanje o optimizaciji upotrebe gnojiva, upravljanju stokom i uvođenju agrošumarstva (FAO, 2019). Poljoprivrednici koji usvoje održive prakse često imaju pristup premium tržištima i oznakama koje potvrđuju ekološki prihvatljivu proizvodnju. Ove oznake mogu povećati vrijednost njihovih proizvoda i osigurati bolju cijenu na tržištu (Reganold & Wachter, 2016).



## Primjeri dobre prakse

Studije slučaja poljoprivrednih gospodarstava koja su usvojila strategije za smanjenje emisija stakleničkih plinova pružaju vrijedne uvide u učinkovite mjere i tehnike. Ovi primjeri dobre prakse pokazuju kako promjene u poljoprivrednim praksama mogu dovesti do značajnog smanjenja emisija GHG-a. Farma Talaheni u Novom Južnom Walesu, Australija, jedan je od primjera uspješne primjene regenerativne poljoprivrede. Poljoprivrednici su uveli praksu sjetve pokrovnih usjeva, konzervacijsku obradu tla i poboljšano upravljanje pašnjacima. Rezultat ovih praksi bilo je mjerljivo smanjenje emisija CO<sub>2</sub> te povećanje sekvenciranja ugljika u tlu (Amundson & Biardeau, 2018). Sekvenciranje ugljika pridonijela je smanjenju emisija stakleničkih plinova do 2,5 tona po hektaru godišnje. Nizozemski proizvođači mlijeka su pioniri u korištenju tehnologija precizne poljoprivrede za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Oni koriste digitalne alate, senzore i dronove za optimizaciju prehrane stoke, te su mjerljivo smanjili emisije metana iz probave preživača (Gerber i sur., 2013). Ova praksa ne samo da je smanjila emisije GHG-a, već je također povećala učinkovitost proizvodnje mlijeka za 10%. Na farmama diljem Sjedinjenih Američkih Država, poljoprivrednici su uveli agrošumarstvo kao strategiju za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Kombinacijom sadnje drveća s tradicionalnim poljoprivrednim kulturama, ove farme uspješno sekvenciraju CO<sub>2</sub> i smanjuju ukupne emisije stakleničkih plinova. Na primjer, studija na farmi u Iowi pokazala je kako su agrošumarski sustavi smanjili emisije CO<sub>2</sub> ekvivalenta za 3,2 tona po hektaru godišnje (Jose, 2009).

Praksa optimizacije prehrane stoke, uključujući upotrebu dodataka prehrani kao što su nitrati i tanini, može smanjiti emisije metana za 20-30% (Hristov i sur., 2013). Ova metoda je posebno učinkovita u proizvodnji mliječnih proizvoda, gdje metan čini značajan dio ukupnih emisija stakleničkih plinova. Istraživanja su pokazala kako su poljoprivrednici koji su prešli na konzervacijsku obradu tla uspjeli smanjiti emisije CO<sub>2</sub> za 30-60% u usporedbi s konvencionalnom obradom (West & Post, 2002). Precizna poljoprivreda, koja koristi tehnologije za optimizaciju upotrebe gnojiva, vode i pesticida, može smanjiti emisije N<sub>2</sub>O do 50% (Bongiovanni & Lowenberg-DeBoer, 2004). Poljoprivrednici koji su usvojili ove tehnologije svjedoče o značajnim uštedama u resursima, smanjenju troškova i poboljšanju prinosa, što ih je dovelo do održivije proizvodnje.

## Izazovi i prepreke u smanjenju emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi

Usprkos potencijalu poljoprivrede za značajnim smanjenjem emisija stakleničkih plinova, postoji niz izazova i prepreka koje otežavaju implementaciju održivih praksi. Razumijevanje ovih izazova ključno je za razvijanje učinkovitih strategija i politika koje će pomoći poljoprivrednicima u prelasku na prakse koje su manje štetne za okoliš. Jedan od glavnih izazova u smanjenju emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi su financijski i tehnički zahtjevi koji prate uvođenje novih tehnologija i održivih praksi. Poljoprivrednici se često suočavaju s visokim troškovima prilikom uvođenja tehnologija poput precizne poljoprivrede, anaerobnih digestora za obradu stajskog gnoja, ili praksi poput agrošumarstva. Na primjer, investicije u digitalne senzore, satelitske snimke i opremu za preciznu primjenu gnojiva mogu biti znatno visoke, osobito za male poljoprivrednike (Gebbers & Adamchuk, 2010). Ovi troškovi predstavljaju prepreku za mnoge poljoprivrednike koji nemaju pristup financijskim sredstvima ili kreditima potrebnim za ulaganje u održive tehnologije (Pretty i sur., 2018). Primjena novih tehnologija zahtijeva tehničko znanje i vještine koje mnogi poljoprivrednici

možda nemaju. Upravljanje tehnologijama kao što su dronovi, senzori i softveri za analizu podataka može biti zahtjevno, što otežava njihovo usvajanje (Finger i sur., 2019). Osim toga, održavanje i prilagodba ovih tehnologija specifičnim uvjetima svake farme može biti tehnički izazov. Jedan od ključnih faktora koji ograničava prelazak na održivije prakse je nedostatak edukacije i svijesti među poljoprivrednicima. Mnogi poljoprivrednici nisu u potpunosti informirani o tome kako njihove aktivnosti pridonose emisijama stakleničkih plinova ili kako mogu smanjiti te emisije putem održivih praksi. Prema istraživanju FAO-a (2019), nedostatak pristupa edukativnim programima, savjetodavnim uslugama i tehničkoj podršci ograničava primjenu praksi koje mogu smanjiti emisije. Također, stariji poljoprivrednici često su manje skloni usvajanju novih tehnologija i metoda zbog tradicionalnih pristupa poljoprivredi (Prokopy i sur., 2015). Poljoprivrednici često nisu svjesni dugoročnih koristi održivih praksi, uključujući povećanje prinosa, poboljšanje kvalitete tla i smanjenje troškova gnojiva. Bez jasnog razumijevanja ekonomskih i ekoloških prednosti, teško je očekivati da će poljoprivrednici biti motivirani za promjenu svojih uobičajenih praksi (Pretty i sur., 2018).

Geografska i klimatska raznolikost poljoprivrednih regija predstavlja još jedan izazov u provedbi mjera za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Poljoprivredne prakse koje su učinkovite u jednoj klimatskoj zoni možda neće biti prikladne za drugu. Tako npr. metode navodnjavanja ili uzgoja koje smanjuju emisije u sušnim područjima mogu biti neučinkovite u vlažnim područjima. Osim toga, klimatske promjene mogu pogoršati sušu, poplave ili temperaturne ekstreme, što otežava provedbu održivih praksi (Smith i sur., 2014). Različite vrste tla i topografski uvjeti zahtijevaju prilagođene strategije za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Naime, mjere za smanjenje emisija N<sub>2</sub>O u pjeskovitim tlima možda neće biti učinkovite u glinenim tlima. Slično tome, područja s brdovitim ili planinskom topografijom imaju ograničene mogućnosti za uvođenje konzervacijske obrade tla ili agrošumarstva (Lal, 2015).

### **Istraživanja i inovacije u smanjenju emisija stakleničkih plinova**

Istraživanja i inovacije igraju ključnu ulogu u razvoju novih strategija i tehnologija za smanjenje emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi. Zahvaljujući napretku u tehnologiji, biotehnologiji i razumijevanju procesa sekvenciranja ugljika, poljoprivredni sektor može učinkovito smanjiti emisije i poboljšati svoju otpornost na klimatske promjene.

Tehnološke inovacije omogućavaju precizniju i učinkovitiju poljoprivrednu praksu koja može smanjiti emisije stakleničkih plinova. Primjena digitalnih tehnologija, poput senzora, satelitskih snimki, dronova i GPS sustava, omogućuje precizno praćenje usjeva, tla i stoke (Gebbers & Adamchuk, 2010). Precizna poljoprivreda omogućava optimalnu primjenu gnojiva, vode i pesticida, čime se smanjuje gubitak dušika u obliku N<sub>2</sub>O i emisija CO<sub>2</sub>. Korištenje tehnologije varijabilne stope (VRT od eng. *variable rate technology*) za primjenu gnojiva može smanjiti emisije N<sub>2</sub>O za čak 20% (Bongiovanni & Lowenberg-DeBoer, 2004). Inovacije u biotehnologiji, uključujući razvoj biljnih sorti otpornih na sušu, bolesti i štetnike, mogu smanjiti potrebu za kemijskim pesticidima i gnojivima, čime se smanjuju emisije stakleničkih plinova (Godfray i sur., 2010). Nadalje, istraživanja u genetskoj selekciji stoke koja proizvodi manje metana pokazala su potencijal za smanjenje emisija metana u sektoru stočarstva. Inovativni dodaci prehrani za stoku, poput ulja, tanina i algi, mogu značajno smanjiti emisije metana tijekom probave. Istraživanja su pokazala kako dodavanje morskih algi u prehranu preživača može smanjiti emisije metana za do 80% (Kinley i sur., 2020).

Sekvestracija ugljika u tlu postala je važan predmet istraživanja jer nudi mogućnost ublažavanja emisija stakleničkih plinova i poboljšanja plodnosti tla. Istraživanja pokazuju kako prakse poput konzervacijske obrade tla, upotrebe pokrovnih usjeva, agrošumarstva i dodavanja organske tvari u tlo mogu značajno povećati sposobnost tla za vezanje ugljika (Lal, 2018). Istraživanja u okviru inicijative "4 per 1000" predlažu povećanje organskog ugljika u tlu za 0,4% godišnje, što bi moglo neutralizirati značajan dio globalnih emisija stakleničkih plinova (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2015). Biougljen dobiven iz biljne biomase, pokazao je velik potencijal u poboljšanju sekvestracije ugljika u tlu. Kada se primjenjuje na poljoprivrednim površinama, biougljen može trajno pohraniti ugljik, smanjujući ukupne emisije stakleničkih plinova (Lehmann i sur., 2006). Osim toga, biougljen poboljšava plodnost tla i kapacitet zadržavanja vode, što dodatno doprinosi održivosti poljoprivrede.

Znanstvena istraživanja igraju ključnu ulogu u razvoju i širenju održivih poljoprivrednih praksi koje smanjuju emisije stakleničkih plinova. Regenerativna poljoprivreda naglašava prakse koje poboljšavaju zdravlje tla, povećavaju sekvestraciju ugljika i smanjuju emisije stakleničkih plinova. Ove prakse uključuju korištenje pokrovnih usjeva, rotaciju usjeva, konzervacijsku obradu tla i agrošumarstvo (Schreefel i sur., 2020). Istraživanja su pokazala da ove prakse mogu povećati organske tvari u tlu i značajno smanjiti emisije GHG-a. Znanstvena istraživanja su dovela do razvoja inovativnih metoda za upravljanje stajskim gnojem, uključujući anaerobnu digestiju i aerobno kompostiranje, koje smanjuju emisije metana i dušikovog oksida (Hristov i sur., 2013). Anaerobna digestija stajskog gnoja ne samo da smanjuje emisije GHG-a, već također proizvodi bioplin koji može poslužiti kao obnovljivi izvor energije.

### **Uloga obrazovanja i podizanja svijesti**

Edukacija i podizanje svijesti imaju ključnu ulogu u promicanju održivih poljoprivrednih praksi i smanjenju emisija stakleničkih plinova. Kroz edukacijske programe i kampanje za podizanje svijesti, poljoprivrednici i šira javnost mogu steći znanje i motivaciju za usvajanje praksi koje smanjuju emisije i doprinose održivijem poljoprivrednom sektoru. Edukacija poljoprivrednika o održivim praksama ključna je za smanjenje emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi. Edukacijski programi omogućavaju poljoprivrednicima steći znanja o najnovijim tehnologijama i metodama za smanjenje emisije stakleničkih plinova. Kroz radionice, terenske demonstracije i pristup digitalnim platformama, poljoprivrednici mogu naučiti o preciznoj poljoprivredi, konzervacijskoj obradi tla, učinkovitom korištenju gnojiva i optimalnom upravljanju stokom (FAO, 2019). Istraživanja su pokazala kako poljoprivrednici koji sudjeluju u edukacijskim programima imaju veću vjerojatnost primijeniti održive prakse u svom radu, što rezultira smanjenjem emisija GHG-a (Prokopy i sur., 2015). U Kanadi, program "Farm Environmental Management" omogućio je poljoprivrednicima edukaciju o smanjenju emisija stakleničkih plinova kroz upravljanje stajskim gnojivom i primjenu precizne poljoprivrede. Kao rezultat, mnogi poljoprivrednici su smanjili emisije GHG-a za 10-15% (Warren i sur., 2016). Slično tome, u Australiji je inicijativa "Carbon Farming Initiative" osposobila poljoprivrednike usvojiti prakse sekvestracije ugljika, čime su smanjili emisije i povećali skladištenje ugljika u tlu.

Podizanje svijesti javnosti o ulozi poljoprivrede u klimatskim promjenama može motivirati društvo za podržavanjem održive prakse i politike koje smanjuju emisije stakleničkih plinova. Kampanje za podizanje svijesti pomažu u informiranju šire javnosti o povezanosti poljoprivrednih praksi i klimatskih promjena, te o tome kako promjene u ponašanju i podrška održivim praksama mogu pridonijeti smanjenju emisija GHG-a (Borges i sur., 2014). Kada su potrošači svjesni utjecaja poljoprivrede

na okoliš, skloniji su podržati proizvode iz održivih izvora te poticati promjene u poljoprivrednim praksama. Kampanja "Cool Farm Tool" razvijena je u suradnji s poljoprivrednicima, nevladinim organizacijama i industrijom kako bi pomogla poljoprivrednicima procijeniti svoj utjecaj na klimu i prepoznati prilike za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Ova digitalna platforma omogućava poljoprivrednicima izračunavanje svog ugljičnog otiska i dobivanje preporuke za smanjenje emisija (Hillier i sur., 2011). Još jedan primjer je kampanja "Meatless Monday," koja potiče potrošače za smanjenje konzumacije mesa, čime se smanjuje potražnja za proizvodnjom stoke i emisije metana iz stočarstva (Marlow i sur., 2009).

### **Budućnost poljoprivrede u svjetlu klimatskih promjena**

Klimatske promjene predstavljaju jedan od najvećih izazova za budućnost poljoprivrede. Kako se globalna temperatura povećava, a vremenski obrasci postaju sve nepredvidljiviji, poljoprivredni sektor mora se sve više prilagođavati ovim promjenama. Prema izvješću Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (IPCC), ako se trenutni trendovi emisija stakleničkih plinova nastave, globalne temperature će porasti za 1,5°C do 2°C do sredine ovog stoljeća (IPCC, 2019). Ovaj porast temperatura može smanjiti prinose usjeva poput pšenice, kukuruza i riže, posebno u sušnim i polusušnim regijama (Lobell i sur., 2011). Više temperature također mogu uzrokovati povećanje isparavanja vode iz tla, što dovodi do suše i što dodatno otežava poljoprivrednu proizvodnju. Klimatske promjene rezultiraju češćim i intenzivnijim ekstremnim vremenskim događajima poput suša, poplava, oluja i toplinskih valova. Ovi događaji mogu uništiti usjeve, smanjiti plodnost tla i prouzročiti gubitke u poljoprivrednoj proizvodnji (FAO, 2018). Poplave mogu isprati hranjive tvari iz tla, dok suše smanjuju dostupnost vode za usjeve i stoku. Kako temperature rastu, distribucija štetnika i bolesti se mijenja, što može uzrokovati dodatne izazove za poljoprivredu. Štetnici poput kukaca, gljivica i bakterija mogu postati otporniji na promjene u okolišu, što zahtijeva nove strategije za zaštitu usjeva (Deutsch i sur., 2018).

Kako bi se prilagodila klimatskim promjenama i smanjila vlastiti utjecaj na okoliš, poljoprivreda mora proći transformaciju prema održivijim modelima. Jedan od ključnih koraka prema održivoj poljoprivredi je uvođenje klimatski otpornih praksi, poput regenerativne poljoprivrede, konzervacijske obrade tla, rotacije usjeva, i integriranih sustava upravljanja štetnicima. Ove prakse ne samo da smanjuju emisije stakleničkih plinova, već također poboljšavaju otpornost poljoprivrednih sustava na klimatske stresove (Schreefel i sur., 2020). Sadnja pokrovnih usjeva može poboljšati plodnost tla, smanjiti eroziju i pomoći u sekvencijama ugljika. Tehnološke inovacije, poput precizne poljoprivrede, dronova, senzora za mjerenje vlažnosti tla i satelitskog praćenja, omogućavaju učinkovitije korištenje resursa i smanjenje emisija stakleničkih plinova (Gebbers & Adamchuk, 2010). Digitalizacija poljoprivrede može pomoći poljoprivrednicima da donesu informirane odluke o vremenu sjetve, navodnjavanju i primjeni gnojiva, čime se smanjuju troškovi i povećava produktivnost. Agroekologija, koja se temelji na integraciji ekoloških načela u poljoprivrednu proizvodnju, predstavlja održivi model poljoprivrede prilagođen klimatskim promjenama (Altieri i sur., 2017). Ovakav pristup naglašava diversifikaciju usjeva, recikliranje hranjivih tvari i minimiziranje upotrebe sintetičkih gnojiva i pesticida. Agroekološki modeli ne samo da smanjuju emisije stakleničkih plinova, već također povećavaju otpornost poljoprivrednih ekosustava na klimatske stresove. Agrošumarstvo može znatno povećati sekvencijama ugljika, smanjiti emisije stakleničkih plinova i poboljšati bioraznolikost (Nair i sur., 2009). Drveće u agrošumarskim

sustavima može pomoći u reguliranju mikroklimе, zaštiti tla od erozije i pružiti dodatne izvore prihoda poljoprivrednicima kroz proizvodnju voća, drva i drugih proizvoda.

## Zaključci

- Poljoprivreda je jedan od ključnih gospodarskih sektora koji doprinose emisijama stakleničkih plinova, ali istovremeno nudi i veliki potencijal za smanjenje tih emisija kroz uvođenje održivih praksi i inovacija. Temeljno razumijevanje emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi, izvora, učinaka i načina smanjenja tih emisija, presudno je za oblikovanje održivije budućnosti poljoprivrede i za borbu protiv klimatskih promjena.
- Izvori emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi, od kojih su najvažniji metan, dušikov oksid i ugljični dioksid, prvenstveno proizlaze iz procesa probave preživača, upravljanja stajskim gnojivom, primjene sintetičkih i organskih gnojiva te uzgoja riže. Ovi procesi ne samo da pridonose ukupnim emisijama stakleničkih plinova već također imaju značajan utjecaj na klimatske promjene. Stoga je ključno usvojiti poljoprivredne prakse koje mogu smanjiti emisije GHG-a, kao što su konzervacijska obrada tla, optimizacija prehrane stoke, učinkovito upravljanje gnojivom i stajskim gnojem, te uvođenje agrošumarstva.
- Metode smanjenja emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi, poput konzervacijske obrade tla, poboljšanja prehrane stoke i korištenja tehnologije u preciznoj poljoprivredi, mogu značajno pridonijeti smanjenju ukupnih emisija. Na primjer, tehnike konzervacijske obrade tla mogu povećati sekvestraciju ugljika, dok optimizacija prehrane stoke može smanjiti emisije metana. Digitalne tehnologije i precizna poljoprivreda omogućavaju učinkovitiju upotrebu resursa, čime se smanjuje nepotrebna potrošnja gnojiva i vode, a time i emisije stakleničkih plinova.
- Poljoprivredne politike i poticaji ključni su u poticanju održivih praksi. Međunarodni sporazumi, poput Pariškog sporazuma, te europske i nacionalne politike pružaju okvire za promicanje održivih poljoprivrednih praksi. Poticaji, poput subvencija i financijske podrške poljoprivrednicima koji usvajaju održive prakse, omogućavaju tranziciju prema održivijoj poljoprivredi i smanjenje emisija GHG-a.
- Primjeri dobre prakse iz različitih regija pokazuju da je moguće značajno smanjiti emisije stakleničkih plinova usvajanjem inovativnih pristupa. Kroz regenerativnu poljoprivredu, preciznu poljoprivredu i agrošumarstvo, poljoprivrednici su uspjeli smanjiti emisije GHG-a i poboljšati otpornost svojih sustava na klimatske promjene. Ove prakse također pridonose boljem upravljanju prirodnim resursima, povećanju bioraznolikosti i očuvanju tla.
- Izazovi i prepreke u smanjenju emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi uključuju financijske i tehničke zahtjeve, nedostatak edukacije i svijesti među poljoprivrednicima, te varijacije u klimatskim i zemljopisnim uvjetima. Rješavanje ovih izazova zahtijeva suradnju između vlada, institucija, znanstvenih organizacija i samih poljoprivrednika kako bi se osigurala široka primjena održivih praksi.
- Istraživanja i inovacije su od vitalne važnosti za razvoj novih tehnologija i strategija za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Inovacije u biotehnologiji, digitalne tehnologije i istraživanja sekvestracije ugljika u tlu nude realne mogućnosti za postizanje održive poljoprivrede. Također, razvoj novih biljnih sorti otpornih na klimatske stresove i uvođenje



dodataka prehrani za stoku koji smanjuju emisije metana predstavljaju značajan napredak.

- Edukacija i podizanje svijesti poljoprivrednika i šire javnosti o važnosti smanjenja emisija stakleničkih plinova ključni su za usvajanje održivih praksi. Edukacijski programi i kampanje za podizanje svijesti pomažu poljoprivrednicima u stjecanju znanja o održivim praksama, dok informiranje javnosti potiče podršku za održivu poljoprivrednu proizvodnju.
- Budućnost poljoprivrede u kontekstu klimatskih promjena ovisit će o našoj sposobnosti prilagođavanja poljoprivredne prakse kako bi smanjili emisije stakleničkih plinova i poboljšali otpornost poljoprivrednih sustava. Kroz usvajanje inovativnih tehnologija, primjenu održivih praksi i jačanje edukacije i svijesti, cjelokupan poljoprivredni gospodarski sektor može doprinijeti ublažavanju klimatskih promjena i osigurati održivu proizvodnju hrane za buduće generacije.

#### Literatura:

1. Abad, C., Romanovskaya, A., Sperling, F., & Tubiello, F. (2014). Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
2. Altieri, M. A., Nicholls, C. I., & Montalba, R. (2017). Technological approaches to sustainable agriculture at a crossroads: an agroecological perspective. *Sustainability*, 9(3), 349. doi:10.3390/su9030349
3. Amon, B., Amon, T., Kryvoruchko, V., Zollitsch, W., Mayer, K., & Gruber, L. (2006). Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(2-3), 153-162. doi:10.1016/j.agee.2005.08.030
4. Amundson, R., & Biardeau, L. (2018). Soil carbon sequestration is an elusive climate mitigation tool. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(46), 11652-11656. doi:10.1073/pnas.1815901115
5. Beauchemin, K. A., Kreuzer, M., O'Mara, F., & McAllister, T. A. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2), 21-27. doi:10.1071/EA07199
6. BMEL. (2020). *Sustainable Agriculture Strategy*. Federal Ministry of Food and Agriculture.
7. Bongiovanni, R., & Lowenberg-DeBoer, J. (2004). Precision agriculture and sustainability. *Precision Agriculture*, 5(4), 359-387. doi:10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa
8. Borges, J. A. R., Oude Lansink, A. G. J. M., & Ribeiro, C. M. (2014). Understanding farmers' intention to adopt improved natural grassland using the theory of planned behavior. *Livestock Science*, 169, 163-174. doi:10.1016/j.livsci.2014.09.014
9. Butterbach-Bahl, K., Baggs, E. M., Dannenmann, M., Kiese, R., & Zechmeister-Boltenstern, S. (2013). Nitrous oxide emissions from soils: How well do we understand the processes and their controls? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1621), 20130122. doi:10.1098/rstb.2013.0122
9. Chataut, G., Bhatta, B., Joshi, D., Subedi, K., & Kafle, K. (2023). Greenhouse gases emission from agricultural soil: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100533. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100533>
10. Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., &

- Naylor, R. L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405), 916-919. doi:10.1126/science.aat3466
11. European Commission. (2021). *The Common Agricultural Policy: 2023-2027*. [https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27\\_en](https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27_en)
  12. FAO. (2013). *Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
  13. FAO. (2016). *The Agriculture Sectors in the Intended Nationally Determined Contributions: Analysis*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
  14. FAO. (2018). *The 10 Elements of Agroecology: Guiding the Transition to Sustainable Food and Agricultural Systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
  15. FAO. (2019). *Climate-Smart Agriculture: A Call for Action*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
  16. Finger, R., Swinton, S. M., El Benni, N., & Walter, A. (2019). Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment. *Annual Review of Resource Economics*, 11, 313- 335. doi:10.1146/annurev-resource-100518-093929
  17. Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., & Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
  18. Friedrich, T., Derpsch, R., & Kassam, A. (2012). Overview of the global spread of conservation agriculture. *Field Actions Science Reports*, 6, 1-7.
  19. Garnett, T., Appleby, M. C., Balmford, A., Bateman, I. J., Benton, T. G., Bloomer, P., Burlingame, B., Dawkins, M., Dolan, L., Fraser, D., Herrero, M., Hoffman, I., Smith, P., Thornton, P. K., Toulmin, C., Vermeulen, S. J., & Godfray, H. C. J. (2013). Sustainable intensification in agriculture: Premises and policies. *Science*, 341(6141), 33-34. <https://doi.org/10.1126/science.1234485>
  20. Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828-831. doi:10.1126/science.1183899
  21. Gerber, P. J., Hristov, A. N., Henderson, B., Makkar, H., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Oltjen, J., Kebreab, E., Oosting, S., Adesogan, A., Yang, C., Beauchemin, K., McAllister, T., & Waghorn, G. (2013). Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: A review. *Animal*, 7(s2), 220-234. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000876>
  22. Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
  23. Hillier, J., Walter, C., Malin, D., Garcia-Suarez, T., Mila-i-Canals, L., Smith, P. (2011). Cool Farm Tool: A farm-focused calculator for emissions from crop and livestock production. *Environmental Modelling & Software*, 26(9), 1070-1078. doi:10.1016/j.envsoft.2011.03.014
  24. Hristov, A. N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Oosting, S. (2013). Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production: A review of technical options for non-CO<sub>2</sub> emissions. *FAO Animal Production and Health Paper*, 177, 1-206.
  25. IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

- [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C., Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
26. IPCC. (2019). *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agroforestry Systems*, 76(1), 1-10. doi:10.1007/s10457-009-9229-7
  27. Kinley, R. D., de Nys, R., Vucko, M. J., Machado, L., & Tomkins, N. W. (2020). The red macroalgae *Asparagopsis taxiformis* is a potent natural antimethanogenic that reduces methane production during in vitro fermentation with rumen fluid. *Animal Production Science*, 56(3), 282. doi:10.3390/ani10050817
  28. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627. doi:10.1126/science.1097396
  29. Lal, R. (2015). Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70(3), 55A-62A. doi:10.2489/jswc.70.3.55A
  - Lehmann, J., Gaunt, J., & Rondon, M. (2006). Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems – A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11, 403–427. doi:10.1007/s11027-005-9006-5
  30. Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620. doi:10.1126/science.1204531
  31. Marlow, H. J., Hayes, W. K., Soret, S., Carter, R. L., Schwab, E. R., & Sabaté, J. (2009). Diet and the environment: Does what you eat matter? *The American Journal of Clinical Nutrition*, 89(5), 1699S-1703S. doi:10.3945/ajcn.2009.26736Z
  32. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. (2015). *4 per 1000 Initiative: Soils for Food Security and Climate*. <https://www.4p1000.org/>
  33. Montagnini, F., & Nair, P. K. R. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61(1), 281-295. doi:10.1023/B:AGFO.0000029005.92691.79
  34. Montes, F., Meinen, R., Dell, C., Rotz, A., Hristov, A. N., Oh, J., Waghorn, G., Gerber, P. J., Henderson, B., Makkar, H. P., & Dijkstra, J. (2013). Special topics--Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options. *Journal of animal science*, 91(11), 5070–5094. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6584>
  35. Nair, P. K. R., Kumar, B. M., & Nair, V. D. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(1), 10-23. doi:10.1002/jpln.200800030
  36. Petersen, S. O., Andersen, A. J., & Eriksen, J. (2012). Effects of cattle slurry acidification on ammonia and methane evolution during storage. *Journal of Environmental Quality*, 41(1), 88- 94. doi:10.2134/jeq2011.0184
  37. Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., Godfray, H. C. J., Goulson, D., Hartley, S., Lampkin, N., Morris, C., Pierzynski, G., Tomich, T. P., & Wratten, S. (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, 1(8), 441-446. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0114-0>

38. Prokopy, L. S., Arbuckle, J. G., Barnes, A. P., Haden, V. R., Hogan, A., Niles, M. T., & Tyndall, J. (2015). Farmers and climate change: A cross-national comparison of beliefs and risk perceptions in high-income countries. *Environmental Management*, 56(2), 492-504. doi:10.1007/s00267-015-0504-2
39. Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2(2), 15221. doi:10.1038/nplants.2015.221
40. Schreefel, L., Schulte, R. P. O., de Boer, I. J. M., Schrijver, A. P., & van Zanten, H. H. E. (2020). Regenerative agriculture – the soil is the base. *Global Food Security*, 26, 100404. doi:10.1016/j.gfs.2020.100404
41. Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsidig, E. A., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., Masera, O., Mbow, C., Ravindranath, N. H., Rice, C. W., Robledo
42. Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., & Sirotenko, O. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 789-813. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2184>
43. Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L., & Fixen, P. E. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(3-4), 247-266. doi:10.1016/j.agee.2009.04.021
44. Tubiello, F. N., Salvatore, M., Córdor Golec, R. D., Ferrara, A., Rossi, S., Biancalani, R., Federici, S., Jacobs, H., & Flammini, A. (2015). The contribution of agriculture, forestry and other land use activities to global warming, 1990-2012. *Global Change Biology*, 21(7), 2655-2660. <https://doi.org/10.1111/gcb.12865>
45. UN. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations.
46. UNFCCC. (2015). *The Paris Agreement*. United Nations Framework Convention on Climate Change. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
47. Warren, F. J., Lemmen, D. S., & Canada in a Changing Climate: Sector Perspectives on Impacts and Adaptation. (2016). Chapter 4: Food Production, Supply and Distribution. In F. J. Warren & D. S. Lemmen (Eds.), *Canada in a Changing Climate: Sector Perspectives on Impacts and Adaptation* (pp. 99-134). Government of Canada.
48. West, T. O., & Post, W. M. (2002). Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 66(6), 1930-1946. doi:10.2136/sssaj2002.1930
49. Yan, X., Akiyama, H., Yagi, K., & Akimoto, H. (2009). Global estimations of the inventory and mitigation potential of methane emissions from rice cultivation conducted using the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines. *Global Biogeochemical Cycles*, 23(2), GB2002. doi:10.1029/2008GB003299

Prof. dr. sc. Branimir K. Hackenberger,

Dr. sc. Tamara Đerđ,

Dr. sc. Domagoj K. Hackenberger,

Izv. Prof. dr. sc. Davorka K. Hackenberger

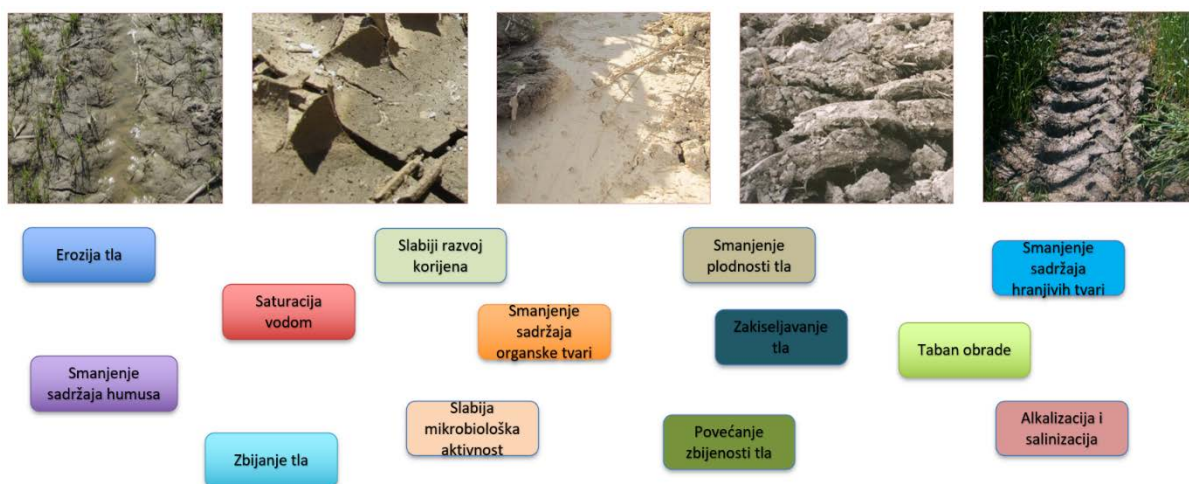
## Konzervacijska obrada tla

### Uvod

Konzervacijska obrada tla, moglo bi se reći ulazi na velika vrata u poljoprivredu europskog kontinenta, Europske Unije, a samim tim i u poljoprivredu Hrvatske. Europa se, uz Afriku, ubraja u globalne regije svijeta u kojima se konzervacijska poljoprivreda, uključivo i konzervacijska obrada tla, primjenjuju na najmanjem udjelu površina, još uvijek svega nekoliko postotaka. Budući da je konzervacijska obrada tla održivi sustav kojim se preveniraju, ali jednako tako i revitaliziraju poljoprivredna tla, EU je kroz Europski Zeleni plan zadala smjernice "zaokreta" europske poljoprivrede. Ovaj plan uključuje dvije osnovne pretpostavke, *isključivanje* oranja kao najučestalijeg radnog zahvata obrade tla uz istovremeno *uključivanje* konzervacijskih sustava gospodarenja tlom, uključivo konzervacijske obrade tla. Važno je napomenuti kako je prihvaćanje i primjena konzervacijske obrade tla u uzgoju ratarskih (i drugih usjeva) isključivo na dobrovoljnoj bazi, iskazivanjem interesa i prihvaćanjem osnovnih temeljnih postulata postupanja u zadanim okvirima.

### Oranje i degradacija tla

Tlo je prirodni resurs na kojem se proizvodi hrana. Ova neupitna činjenica pretpostavljena je prečesto puta upitnim načinima i mjerama koje se provode s ciljem postizanja navedenog cilja – proizvodnja hrane. Ostvarivanje visokih prinosa po jedinici površine najčešće je rezultat intenzivne primjene inputa (obrada, gnojidba, zaštita usjeva, navodnjavanje i dr.), a koji s nerijetko primjenjuju na neučinkovit, ali i okolišno/ekonomsko/organizacijsko degradirajući način. Svi procesi koji dovode do degradacije poljoprivrednih površina i tla kao glavnog resursa za proizvodnju hrane, mogu se podijeliti na prirodne i antropogene čimbenike (Slika 1.).



Slika 1. Oblici degradacije tla

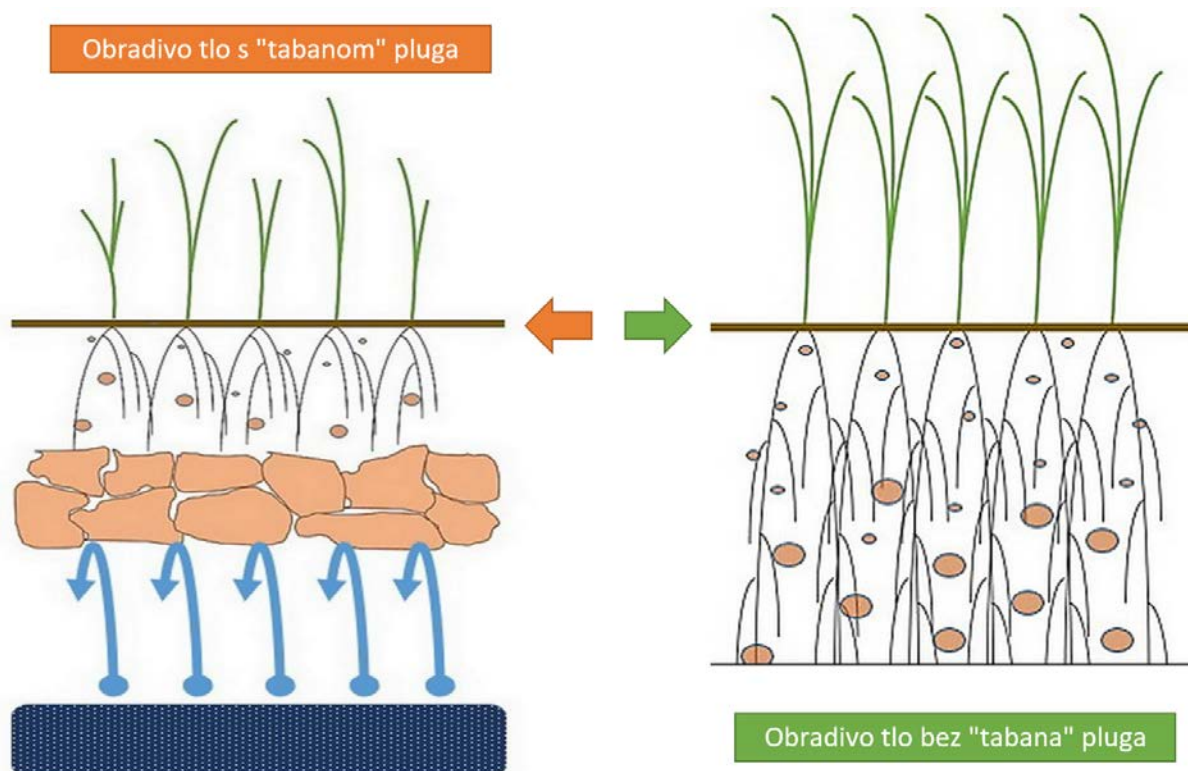
Od prirodnih čimbenika valja spomenuti u prvom redu klimatske promjene, a uz koje se vežu epizode intenzivnih oborina, jači vjetrovi, duža sušna razdoblja, visoke temperature i dr. Antropogeni učinak (a koji je uostalom značajno utjecao na klimatske promjene) ogleda se u prvom redu kroz primjenu



neodgovarajućih, degradirajućih, a ponekada za samo tlo i devastirajućih mjera, postupaka i zahvata. Tako se oranje smatra najdegradirajućim i najpogubnijim radnim zahvatom obrade tla od kada postoji poljoprivredna proizvodnja, iako se ono smatralo i ponekada još uvijek smatra osnovnim počelom bilo koje poljoprivredne proizvodnje, odnosno da "...bez oranja nema biljne proizvodnje...".

### Odakle ovaj paradoks?

Od samih početaka otkrića pluga (današnjem obliku pluga prethodile su njegove različite izvedbe, oblici i inačice) i uz sposobnost čovjeka da "obuzda" i "zarobi" snagu životinja te da tu snagu upotrijebi za vučenje pluga – poljoprivreda, a time i sama civilizacija počeli su se jako mijenjati. Oranje je omogućilo učinkovito rješenje do tada u biljnoj proizvodnji gotovo nerješivih problema i zapreka (korovi, bolesti, štetnici, žetveni ostatci...), uz istovremeno povećanje prinosa uzgajanih kultura – civilizacija se počela intenzivnije razvijati. Može se reći da su plug i oranje počeli mijenjati svijet na nesagledive načine. Istovremeno s razvojem čovjeka, tlo se kao glavni i nezamjenjivi poljoprivredni proizvodni resurs počelo degradirati. Ova degradacija tla je utjecala na sve njegove sastavnice (biološki, kemijski i fizikalni kompleks), ali i na kvalitetu vode i zraka. Intenzitet degradacije tla oranjem značajno se ubrzao prije nepunih stotinu godina, odnosno od trenutka kada su se u poljoprivrednu biljnu proizvodnju vrlo intenzivno i agresivno počeli uvoditi veliki strojevi, a koji su za prioritetni cilj imali što je moguće dublju, intenzivniju i frekventniju obradu tla (Shema 1.).



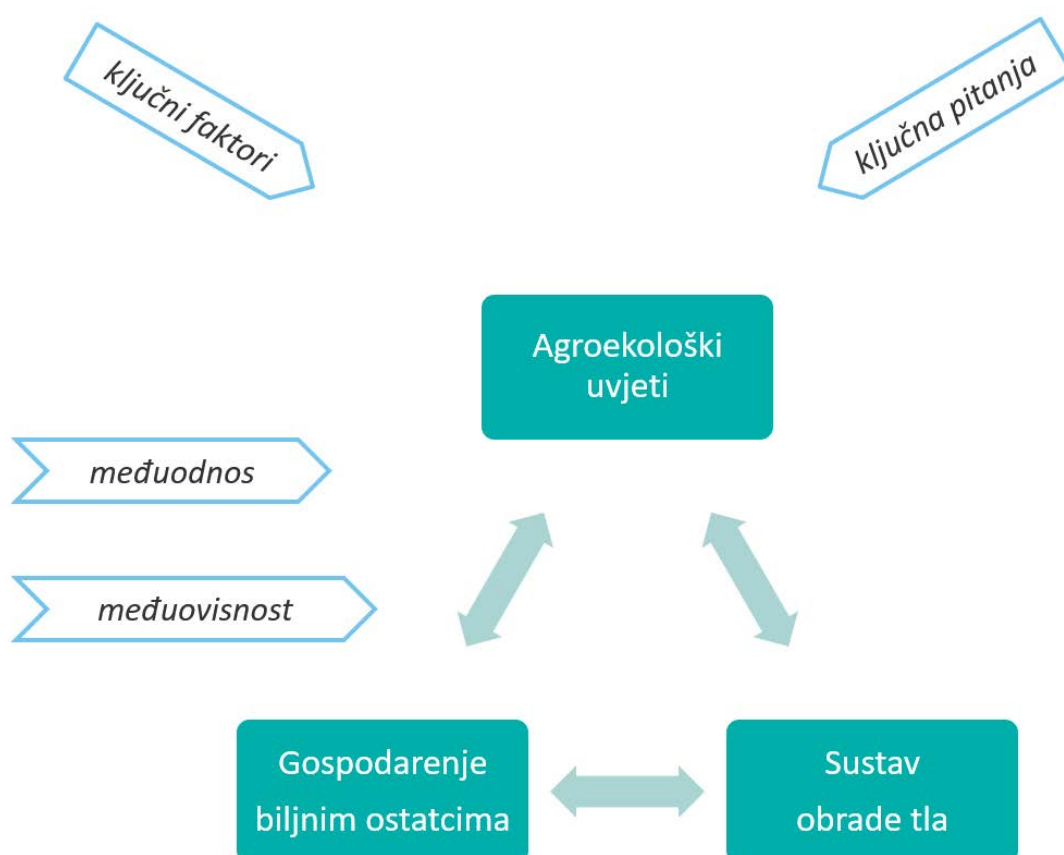
Shema 1. Obradivo tlo s tabanom pluga i bez tabana pluga

Degradacijski procesi tla, vode i zraka sa svim posljedicama koji iz njih proizlaze (npr. pad sadržaja humusa i organske tvari, smanjenje bioraznolikosti, potreba za sve većim inputima kemijskih tvari kako bi se zadržala razina proizvodnje i sl.), prepoznati od strane znanstvenika (a o njima svjedoče i sami

poljoprivredni proizvođači) u cijelom svijetu. Na temelju navedenih spoznaja iznalaze se adekvatnija tehnička i tehnološka rješenja kako bi se daljnja degradacija okolišnih sastavnica zaustavila, a također da se po mogućnosti proces obrne, odnosno da se tlo počne revitalizirati.

Biogospodarstvo se svojim multisektorskim pristupom ubraja među najveće i najvažnije gospodarske segmente EU-a i obuhvaća poljoprivredu, šumarstvo, ribarstvo, prehrambene proizvode, bioenergiju i proizvode biološkog podrijetla, a istovremeno predstavlja i ključno područje za poticanje rasta i razvoja u ruralnim područjima. Europski zeleni plan s ambicioznim planom klimatske neutralnosti do sredine stoljeća postavlja iznimno visoke zahtjeve u poljoprivrednom sektoru u odnosu na postojeće stanje te podrazumijeva niz prilagodbi političkog, socijalnog ekonomskog, tržišnog, ali i proizvodnog/tehnološkog karaktera same poljoprivredne proizvodnje. Klimatska neutralnost, ako se svede na sektor poljoprivrede, uvelike ovisi upravo o načinima gospodarenja poljoprivrednim tлом, odnosno na primjenu održivih sustava gospodarenja, kao što je konzervacijska obrada tla. Iako Hrvatska ima iznimne prirodne i druge potencijale za provedbu ovih mjera, oni su još uvijek nedovoljno ili vrlo slabo iskorišteni.

Postoji veći broj potencijalnih i realno ostvarivih načina rješavanja navedenog, a kao najučinkovitije platforme za dostizanje klimatske neutralnosti na globalnoj razini su "Konzervacijska poljoprivreda", "Klimatski pametna poljoprivreda", Regenerativna poljoprivreda" i druge. Ogromna prednost ovih velikih sustava je u tome što se oni vrlo učinkovito mogu prilagođavati svim agroekološkim uvjetima i zadovoljiti sve biljno-uzgojne zahtjeve na svim razinama, na globalnoj, regionalnim i lokalnim razinama (Shema 2.).



Shema 2. Međuovisnost agroekoloških čimbenika

## Što je to konzervacijska poljoprivreda?

Konzervacijska poljoprivreda je proizašla iz nužnosti (kao što je i s većinom rješenja), kako bi se zaustavili degradacijski procesi na poljoprivrednim površinama. Izvorno, konzervacijska poljoprivreda predstavlja rezultat rada velikog broja znanstvenika i praktičara (poljoprivrednika) na problemu uglavnom eolske erozije koja je 30-tih godina 20. stoljeća u poharala velike dijelove sjeverne Amerike (najintenzivnije njem centralni dio), a taj je period u povijesti poznat kao "prljave tridesete". Od tog vremena pa sve do današnjih dana konzervacijska poljoprivreda se razvila u globalnu platformu koja čini temelj održivog gospodarenja tlom i održivog uzgoja usjeva.

Prema FAO (2010.) Konzervacijska poljoprivreda predstavlja koncept poljoprivredne proizvodnje uz očuvanje resursa kojim se nastoji ostvariti prihvatljiva dobit, zajedno s visokom i održivom razinom proizvodnje, uz istodobno očuvanje okoliša. Konzervacijska se poljoprivreda temelji na jačanju prirodnih bioloških procesa iznad i ispod površine tla. Intervencije poput mehaničke obrade tla svedene su na minimum, a korištenje vanjskih inputa, kao primjerice agrokemikalija i hraniva mineralnog i organskog podrijetla, primjenjuju se u optimalnim razinama i na način i u količini koja nije u koliziji ili ne ometa biološke procese. Konzervacijsku poljoprivredu karakteriziraju tri međusobno povezana principa (minimalna obrada, pokrivenost površine, plodored).

Konzervacijska se poljoprivreda temelji na tri osnovna postulata, odnosno podrazumijeva ispunjavanje tri osnovna kriterija, a to su:

- primjena minimalnog seta radnih zahvata obrade tla (minimalno narušavanje tla obradom i potpuno izostavljanje oranja odnosno okretanja tla),
- trajna pokrivenost tla biljnim ostacima (zadržavanje biljnih ostataka prethodnog usjeva, kao i uzgoj sekundarnih usjeva),
- plodored (pravilna rotacija usjeva s ciljem održavanja bioraznolikosti, uzgoj biljaka različite dubine i intenziteta ukorjenjivanja, uzgoj leguminoznih biljaka s ciljem obogaćivanja sustava tlo-biljka dušikom iz zraka te preveniranje biljnih bolesti i štetočina).

U usporedbi s konvencionalnim sustavima obrade tla (temeljeno na oranju) brojne su prednosti konzervacijske obrade, a pojednostavljeno se mogu podijeliti na:

### Kratkoročne prednosti:

- povećana infiltracija vode i poboljšana struktura tla zbog biljnih ostataka na površini
- smanjeno površinsko otjecanje vode i erozija tla (zadržavanje vode i tla biljnim ostacima)
- smanjena evaporacija i povećana zaštita površine tla od sunčane radijacije zbog biljnih ostataka na površini
- smanjen intenzitet stresa zbog nedostatka ili suviška vlage u tlu (povećana infiltracija i smanjena evaporacija), zbog dnevno-noćnih temperaturnih oscilacija, kao i zbog visokih temperatura zraka
- smanjena potreba za mehanizacijom i ljudskim radom pri obradi tla
- niži proizvodni troškovi (cijena) goriva i ljudskog rada

### Dugoročne prednosti:

- povećan sadržaj organske tvari tla rezultira boljom strukturom tla, većim KIK-om (kationski izmjenjivački kapacitet), boljom pristupačnošću hraniva i većim kapacitetom tla za vodu
- povećanje i stabilnost visine prinosa

- smanjenje troškova proizvodnje (manja kapitalna ulaganja)
- povećanje biološke aktivnosti u tlu i okolišu (bolja biološka kontrola štetočina)
- smanjena zakorovljenost

Pored navedenih, još je niz drugih pozitivnih svojstava ostvarivih primjenom konzervacijske poljoprivredne biljne proizvodnje, a koji se, osim u agrotehnički aspekt, mogu svrstati i u druge aspekte biljne proizvodnje (primjerice sociološki, ekonomski, organizacijski).



*Slika 2. Slab razvoj korijena na oranju - zbijeno tlo*

Osim pozitivnih svojstava, konzervacijska poljoprivredna biljna proizvodnja ima i potencijalne nedostatke, koji u nekim slučajevima mogu biti objektivnog karaktera, ali ipak u prvom redu proizlaze iz subjektivnih razloga (nedovoljno poznavanje sustava uzgoja). Kao nedostaci obično se navode sljedeće stavke:

- neodgovarajuća i skupa mehanizacija/oruđa, a prvenstveno sijačice
- otežana manipulacija većom količinom biljnih ostataka na površini tla



- problemi pri aplikaciji mineralnih i organskih gnojiva na veću dubinu a posebice u sustavu izravne sjetve/sadnje
- slabiji razvoj korijena (Slika 2.)
- jače zbijanje tla (Slika 3.)
- nedostatno učinkovita zaštita usjeva od korova, bolesti i štetočina
- povećana površinska akumulacija fosfora i kalija
- problem pri provedbi melioracijskih mjera popravke (primjerice kalcizacija)
- niža temperatura tla (u proljeće može odgoditi sjetvu/sadnju)
- sporije isušivanje tla (zbog pokrivenosti površine tla biljnim ostatcima)



*Slika 3. Degradacija tla - pokorica na oranju*

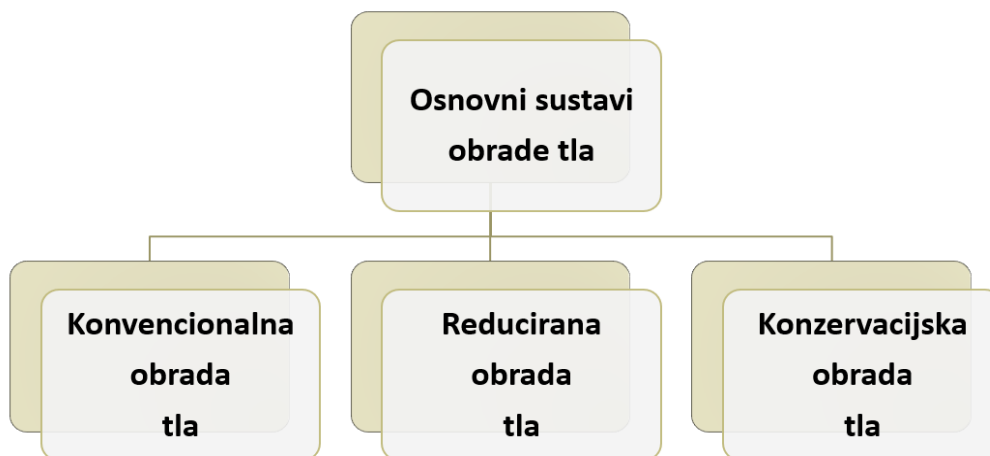
Treba naglasiti kako je većina ovih "problema" neosnovana i/ili eksperimentalno i/ili u praksi nepotvrđena. Upravo pravilnom primjenom osnovnih postulata konzervacijske poljoprivrede, dolazi do izostanka navedenih nedostataka. Kao primjer tomu može se navesti primjena pravilnog plodoređa koji pored ostalih prednosti ima zadatak pedohigijene, s ciljem sprječavanja pojačane pojave korova, bolesti i štetočina.

### **... a što je to konzervacijska obrada tla?**

Konzervacijska obrada tla je osnova konzervacijske poljoprivrede, odnosno njen je temeljni sastavni segment. Može se definirati na nekoliko načina, a kao najučestalija definicija u svjetskim razmjerima, u EU i Hrvatskoj, konzervacijska obrada tla predstavlja sustav obrade kod kojeg nakon svih radnih zahvata obrade tla i sjetve sljedećeg usjeva pokrivenost površine iznosi najmanje 30%, a prioritetni cilj joj je zaštita tla od erozije, održavanje povoljne vlažnosti tla, kao i očuvanje fizikalnih, kemijskih i bioloških značajki tla (*NN 22/2019 (6.3.2019.), Pravilnik o agrotehničkim mjerama*)



Iz rečenog je vidljivo kako je konzervacijska obrada tla u stvari reducirana obrada, a li s vrlo velikom i bitnom razlikom, a to je da se kod reducirane obrade tla ne mora ispoštovati uvjet od minimalno 30% pokrivenosti površine tla biljnim ostacima (Shema 3. i 4.). Također, kod oba je sustava nužno izostavljanje okretanja tla oranjem.



Shema 3. Osnovni sustavi obrade tla

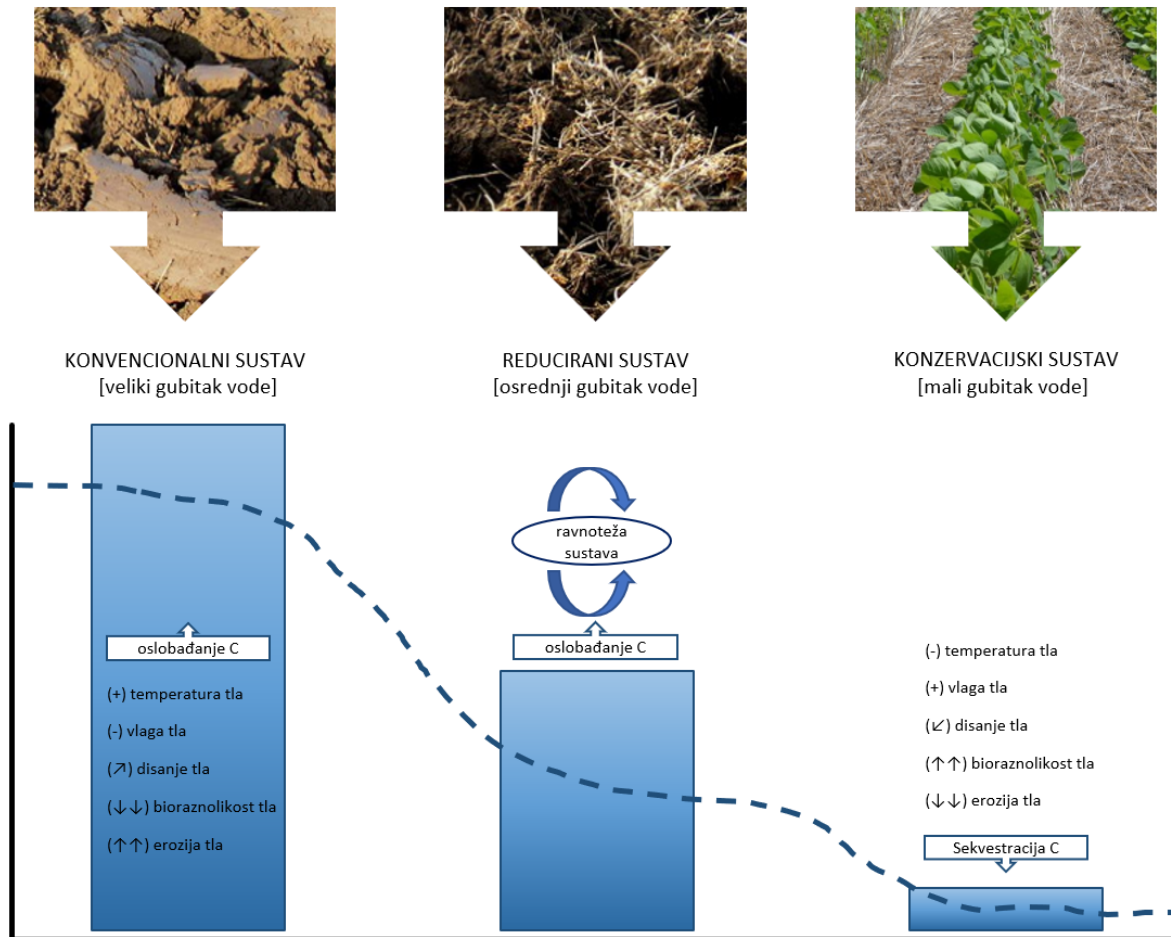
### Kakvu mehanizaciju primjenjivati u konzervacijskoj obradi tla?

Vezano uz pitanja o konzervacijskoj obradi tla nerijetko se još uvijek može čuti otprilike "...kako je moguće uzgajati usjev, a da prije toga tlo nije poorano...? Ovo je samo jedan primjer, ali zorno prikazuje činjenično stanje kako još uvijek postoje skeptici po pitanju ovakvog sustava uzgoja (što je u redu jer ne moraju svi primjenjivati isti sustav), ali je nevjerojatno kako pojedini poljoprivrednici još uvijek nisu niti čuli za konzervacijsku obradu tla.

Prelaskom s konvencionalne obrade tla (oranja) na konzervacijske sustave, ponekada može u prvim godinama biti problematično, i to iz više razloga. Jedan od razloga je neadekvatna opremljenost strojevima i oruđima, što znači da je potrebno osigurati oruđa kojima će se tlo adekvatno pripremiti za uzgoja usjeva uz ispunjavanje uvjeta od minimalno 30%. Uvjet pokrivenosti površine tla od 30% (pa sve do 100%) nakon provedbe svih radnih zahvata obrade tla i sjetve/sadnje usjeva, ponekada može predstavljati veći izazov, ali se zasigurno može ispuniti/zadovoljiti. Sijačica (ili sadilica) također mora biti odgovarajuća, odnosno mora moći zadovoljiti uvjet usijavanja sjemena (usađivanja biljaka) u biljne ostatke na površini, kao i "otvaranja" sjetvene brazde u nerijetko kompaktnijem/zbijenijem površinskom sloju tla. Važno je napomenuti kako se princip konzervacijske obrade tla, a vezano uz količinu biljnih ostataka, može provoditi i na način "akumuliranja" biljnih ostataka kroz jednu do dvije ili više godina. U našem pravilniku (Eko sheme), konzervacijska obrada tla se može provoditi po principu "godina-za-godinu", što znači da nema uvjetovanosti niti obveze trajne provedbe konzervacijske obrade tla. Ova činjenica ima svoje prednosti (lako se može odustati), ali i nedostatke (mali je period za kvalitetno sagledavanje svih prednosti koje ovaj sustav omogućuje).

Činjenica je kako nema univerzalne recepture koju mehanizaciju koristiti u konzervacijskoj obradi tla. Jedino je važno ispoštovati pravilo zabrane korištenja pluga odnosno provedbe oranja (što je samo po sebi i razumljivo jer se ionako oranjem ne može ostvariti pokrivenost površine od minimalno 30%), zbog svih negativnih posljedica po tlo koje proizlaze iz primjene oranja. Svi druga oruđa su dopuštena

(naravno da se neće koristiti oruđe kojim se ne može zadovoljiti uvjet minimalne pokrivenosti površine), kao i broj prohada oruđem, a nema niti ograničenja vezanih uz dubinu obrade tla.



Shema 4. Usporedba tri osnovna sustava obrade tla

#### Najčešća pitanja vezana uz konzervacijsku obradu tla i odgovori na njih

- **Koja je razlika između Konzervacijske poljoprivrede i Konzervacijske obrade tla?**
- Konzervacijska obrada tla je integralni i najvažniji dio konzervacijske poljoprivrede.
- **Na kojim se tlima može provoditi konzervacijska obrada tla?**
- Konzervacijska obrada tla se može provoditi na svim tipovima tala i u svim agroekološkim regijama.
- **Koja su oruđa dopuštena u sustavu Konzervacijske obrade tla?**
- U konzervacijskoj obradi tla su dopuštena sva oruđa, osim pluga.
- **Koje se sve kulture mogu uzgajati u sustavu Konzervacijske obrade tla?**
- Prema principima konzervacijske obrade tla mogu se uzgajati sve culture (ratarske, krmne, povrtlarske i sl.).

- **Koja je minimalna, maksimalna i optimalna pokrivenost površine tla biljnim ostacima u sustavu Konzervacijske obrade?**
- Sustav konzervacijske obrade tla mora zadovoljavati minimalnu pokrivenost površine tla od 30%, a pokrivenost bez ograničenja može iznositi sve do 100% pokrivenosti. Optimalna pokrivenost se nalazi između ove dvije vrijednosti, a ovisi o nizu agroekoloških čimbenika.
  
- **Dopušta li sustav Konzervacijske obrade tla primjenu pluga (oranje) ako se nakon tog zahvata površina malčira?**
- Sustav konzervacijske obrade tla niti u kojim uvjetima ne dopušta primjenu pluga.
  
- **Kolika je dopuštena (minimalna, maksimalna, optimalna) dubina obrade tla u sustavu Konzervacijske obrade?**
- Sustav konzervacijske obrade tla ne predviđa vrijednosti za minimalnu, maksimalnu i optimalnu dubinu obrade tla, već ona ovisi o agroekološkim uvjetima.
  
- **Kako najjednostavnije izmjeriti/procijeniti pokrivenost (količinu) biljnih ostataka na površini tla u sustavu Konzervacijske obrade?**
- Pokrivenost površine biljnim ostacima može se procjenjivati na nekoliko načina: linearna metoda (uz pomoć metra ili graduiranog konopa), foto-usporednom metodom (pomoću fotoaparata, dronova i sl.), kalkulacijska metoda (pomoću prethodno definiranih postotaka žetvenih ostataka koje ostavlja pojedino oruđe), kao i daljinskim mjerenjima/procjenom satelitskim sustavom *Copernicus* (primjenjuje se u Hrvatskoj).
  
- **Koliko je važno kvalitetno usitniti biljne ostatke i utječe li to na kvalitetu izvedbe Konzervacijske obrade tla?**
- Što su biljni ostaci kvalitetnije usitnjeni lakše će se ravnomjerno rasporediti po površini i time postići puni obuhvatniji konzervacijski učinak.
  
- **Može li se Konzervacijska obrada tla primijeniti samo jednu godinu ili se mora provoditi u kontinuitetu?**
- Našim se pravilnikom konzervacijska obrada tla može provoditi / ugovarati na godinu dana, ali se njem puni učinak ostvaruje u višegodišnjem nizu.
  
- **Kako aplicirati mineralna gnojiva u sustavu Konzervacijske obrade tla?**
- Suvremeni strojevi i oruđa imaju mogućnost apliciranja mineralnih, ali i organskih gnojiva u tlo. Netočno je kako se je konzervacijskoj obradi tla gnojivo nemoguće aplicirati u tlo te ga je moguće aplicirati samo površinski.
  
- **Kako se "riješiti" prevelike količine biljnih ostataka na površini (smiju li se biljni ostaci spaljivati) u sustavu Konzervacijske obrade tla?**
- U sustavu konzervacijske obrade tla biljni ostaci su jedan od osnovnih preduvjeta i nema potrebe za "rješavanjem" prevelike količine biljnih ostataka, a pogotovo ne spaljivanjem (spaljivanje žetvenih ostataka je regulirano Pravilnikom, (NN 22/2019 (6.3.2019.), *Pravilnik o agrotehničkim mjerama*).

- **Kakvi se urodi mogu očekivati u sustavu Konzervacijske obrade tla?**
- Pri prelasku s konvencionalne obrade tla na konzervacijsku u prvoj ili prvim godinama može se očekivati stagnacija prinosa pa čak i pad prinosa. Međutim nakon "uhodavanja" sustava uzgoja očekuje se povećanje prinosa u usporedbi s konvencionalnom obradom tla oranjem.
- **Kako u sustavu Konzervacijske obrade tla obavljati ostale agrotehničke zahvate (zaštita, gnojidba, navodnjavanje)?**
- U sustavu konzervacijske obrade tla agrotehničke mjere zaštite, gnojidbe, navodnjavanja obavljaju se uobičajeno kao što se provode i na sustavu konvencionalne obrade tla s oranjem. Razlika je jedino u tome što se očekuje manja realna potreba za zaštitom od korova i manja potreba za navodnjavanjem.

#### **Važnije definicije i pojašnjenja nekih pojmova korištenih u članku:**

**Antropogeni učinak** – učinak koji je pod izravnim ili neizravnim utjecajem čovjeka

**Energetski učinkovita obrada** – povoljno stanje tla za uzgoj kulturnih biljaka postiže se primjenom minimalnog seta radnih zahvata obrade uz minimalan broj prohoda oruđima po tlu.

**Konvencionalna obrada tla** – u pripremi tla za uzgoj kulturnih biljaka obradom je obuhvaćena cijela površina, a u osnovnoj se obradi obavezno koristi plug (najdublji i najagresivniji radni zahvat), dok se u dopunskoj obradi tla može koristiti veći broj različitih oruđa. Povoljno stanje tla za uzgoj biljaka postiže se većim brojem prohoda oruđima (najčešće nepotrebno) iz čega se jasno zaključuje kako se ovi zahvati provode uz veliki utrošak vremena i energije te uz velike troškove. Ovakva je obrada tla gotovo redovno *šablonizirana* (izostaje prilagodba agroekološkim mjesnim uvjetima), a karakterizira ju niska učinkovitost i veliki broj ponavljanja radnih zahvata.

**Konzervacijska obrada tla** – kompleksan sustav kod kojeg se povoljno stanje za uzgoj kulturnog bilja postiže primjenom različitih reduciranih zahvata obrade tla (ili njihovog potpunog izostanka) i ostavljanjem biljnih ostataka na površini ili blizu površine tla, u količini koja odgovara agroekološkim mjesnim uvjetima. Ovim se pristupom sprječava daljnja degradacija tla i popravljaju fizikalna i biološka svojstva tla.

**Održiva obrada tla** – očuvanje povoljnog stanja tla koje podjednako odgovara i biljnoj proizvodnji i zaštiti okoliša te popravak tala u slučaju nepovoljnih fizikalnih promjena. Jedna od ključnih značajki održive obrade tla njezina je prilagodba agroekološkim (uključujući i klimu) i ekonomskim prilikama. Druga njezina bitna značajka sprječavanje je degradacije tla, s fizikalnog, biološkog i kemijskog aspekta, u okviru klimatskih promjena. Treća je važna posebnost razvoj koji se odnosi na kvalitetu tla i okoliša te na ublažavanje oštećenja tla uslijed klimatskih promjena.

**Paradoks** – tvrdnja koja je suprotna uobičajenom mišljenju ili očekivanju, odnosno tvrdnje koje su međusobno proturječne

**Pedohigijena** – mjere koje se provode na poljoprivrednim površinama, s ciljem očuvanja zdravlja tla (prvenstveno protiv bolesti, korova i štetočina)

**Prilagođena obrada** – popravak i očuvanje kvalitete tla u skladu je s agroekološkim mjesnim, mehanizacijskim, ekonomskim i drugim uvjetima uzgoja. Povoljna svojstva tla omogućuju

ublažavanje nepovoljnih klimatskih utjecaja i pouzdan uzgoj kulturnih biljaka. Ostvarivanjem i održavanjem povoljne kondicije tla nastaje ili se održava sklad između okoliša i potreba biljne proizvodnje.

**Reducirana obrada tla** – povoljni uvjeti za uzgoj kulturnih biljaka postižu se izostavljanjem jednog ili više radnih zahvata obrade tla (uz obavezno izostavljanje oranja). Ovo je prvenstveno energetski učinkovita obrada, ali i sa značajno manjim degradacijskim učinkom u usporedbi s konvencionalnom obradom.

**Revitalizacija tla** – obnavljanje tla, vraćanje u život degradiranih tala

**Suša** – je prirodni dio klime i javlja se u gotovo svim klimatskim zonama, iako posljedice nisu posvuda jednake. Suša se kategorizira kao hidrometeorološka opasnost, odnosno opasan fenomen koji snažno utječe na zdravlje ljudi, izaziva materijalnu štetu, osiromašuje stanovništvo, izaziva socijalni i gospodarski poremećaj i čini štetu okolišu. Nedostatak vode često se javlja i s povišenom temperaturom uzrokujući toplinski stres jer visoke temperature zahtijevaju povećanu transpiraciju kako bi se biljka ohladila, što je usko povezano s količinom vode u tlu i biljci. Negativan utjecaj suše moguće je spriječiti, osim navodnjavanjem i nekim agrotehničkim zahvatima kao što je povećanje sadržaja organske tvari i pravilna obrada tla. U sprječavanju štetnih efekata suše pomaže i konzervacijska obrada tla, podirvanje i sprječavanje zbijanja te formiranja nepropusnih slojeva za vodu, terasiranje nagnutih terena, organska gnojdba, sideracija, rotacija usjeva, sjetva pokrovnih usjeva, malčiranje, ranija sjetva proljetnih usjeva, a kasnija ozimih itd. Dobra praksa za očuvanje vode obrada je koja favorizira infiltraciju kiše u tlo, skladištenje vode u zoni korijena, sprječavanje površinskog otjecanja i kontrolu gubitaka evapotranspiracijom (iz tla i korovima). Važno je naglasiti kako rezultati agrotehnike ovise o fizikalno-kemijskim svojstvima tla, reljefu, klimi i vrsti oruđa koje se primjenjuje u obradi što dovodi do zaključka kako nema jedinstvene recepture kako očuvati vodu u tlu za period kad je biljkama najpotrebnija i postići dobar prinos i u sušnim godinama.

**Zbijenost tla** – Problem zbijanja i zbijenosti tla vezan je uz prirodne uvjete i stanja tla, ali i za negativne antropogene učinke. Antropogeno zbijanje tla pod utjecajem je nepravovremene ili nekvalitetne obrade tla, kao i suvišnog gaženja poljoprivrednih površina tijekom obrade, vegetacije ili izvan vegetacijskog razdoblja. Najizraženija i najuočljivija posljedica antropogenog zbijanja tla pojava je *tabana obrade*, odnosno *tabana pluga* i *tabana tanjurače*, sa svim negativnostima koje proizlaze i koje se uočavaju tijekom vegetacije (kada je već kasno za bilo kakvu ozbiljniju intervenciju popravka tla) i izvan vegetacijskog razdoblja (kada je najbolje vrijeme za primjenu odgovarajućih mjera popravka tla). Indikatori koji ukazuju na zbijenost tla najlakše se uočavaju tijekom vegetacije, odnosno na dijelovima površine ili cijeloj površini tla, na kojima može ležati voda ili su biljke slabije razvijene.

Prof. dr. sc. Danijel Jug



## Gospodarenje tlom u izmijenjenim klimatskim uvjetima

Gospodarski prosperitet hrvatske poljoprivrede, kako navodi Kalinski 2017. (cit. Špoljar, 2019.), značajno ugrožava postojeća klimatska varijabilnost. Najveći uzrok šteta predstavljaju suše u toplom dijelu godine, a u posljednje vrijeme, u razdoblju od 2013. do 2016. godine, zabilježene su i poplave. Kako navode Sijerković i Čapka 1994. (cit. Špoljar 2019.) od 1980. do 1993. suše su uzrokovale 42% materijalnih šteta u odnosu na sve prirodne katastrofe, a od 1980. do 2014. suša je činila čak 39% ukupnih šteta koje su prouzrokovale vremenske neprilike i prirodne katastrofe. Autori navode kako prosječni godišnji nedostatak vode za razdoblje od 1994. do 2003. iznosi 53 mm ili 19% više u odnosu na ranije razdoblje od 1961. do 2003. godine. Mesić i sur., (2001) do kraja stoljeća predviđaju porast nedostatka vode u ljetnim mjesecima za 30 do 60% u nizinskom dijelu Hrvatske, kao i povećanje broja dana s temperaturama iznad 10 °C na 25 do 40 dana. U "Nacionalnom projektu navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj" navodi se da, za uzgoj nekih važnijih poljoprivrednih kultura kao što su kukuruz, šećerna repa, rajčica i jabuka, u sušnim godinama prosječno nedostaje 100 do 600 mm vode, te ovisno o intenzitetu i trajanju suše, smanjenje uroda iznosi između 20 i 80% (Romić, 2005).

Osim suše, poljoprivrednim kulturama, kako navodi Kalinski 2017. (cit. Špoljar 2019.), štete i izuzetno visoke temperature zraka. Apsolutni maksimumi temperature zraka iznad 35 °C izmjereni su u svim područjima Hrvatske, osim u gorskim predjelima. Toplinski stres ili temperature zraka iznad 30 °C, koje traju najmanje deset uzastopnih dana uz vjerojatnost pojave od 20% (od 30 razmatranih godina toplinski stres dogodi se barem jednom u 6 godina), nepovoljno djeluje na razvoj poljoprivrednih kultura i sve je učestaliji. U izvješću Ministarstva poljoprivrede iz 2016. godine navodi se da je u referentnom klimatskom razdoblju od 1961. do 1990. najugroženije bilo područje srednje Dalmacije, dok je u razdoblju od 1981. do 2010., to područje zahvatilo cijelu Hrvatsku osim gorskog područja i Medvednice.

Krulić i Vučetić 2011. navode kako klimatske promjene nepovoljno utječu na stadije razvoja pojedinih kultura kao što su jabuka, vinova loza, maslina i kukuruz. Na primjer više sorti jabuka, bez obzira na klimatsko područje, pokazuje raniji početak listanja i cvatnje za dva do šest dana, što se može pripisati toplijim zimama i proljećima. Kod jabuka u jesen je zamijećena velika raznolikost u razdobljima žućenja i opadanja lišća. Novije sorte jabuka (jonatan i zlatni delišes), kako navode autori, osjetljivije su na klimatske promjene u odnosu na starije (bobovec, kanada i kolačarka). Skraćivanje trajanja vegetacije zabilježeno je kod vinove loze. Kako navodi Vučetić 2016. (cit. Špoljar 2019.) razdoblje od početka do punog zrenja grožđa u prosjeku je skraćeno u Dalmaciji za oko tjedan dana, a u kontinentalnoj Hrvatskoj za oko dva tjedna. U Dalmaciji dolazi ne samo do ranijeg cvjetanja, već i do ranijeg zrenja plodova masline za dva dana u tijeku deset razmatranih godina (Vučetić i Vučetić, 2005). Vučetić (2011) navodi kako rezultati modeliranja fenoloških stadija kukuruza na zagrebačkom području, u razdoblju od 1949. do 2004. godine ukazuju na značajno skraćivanje vegetacijskog razdoblja kukuruza za oko 5 dana/10 god. i smanjenje prinosa za 216 kg/ha tijekom deset godina.

Kalinski 2017. (cit. Špoljar 2019.) ističe da će se srednja temperatura zraka u prizemnom sloju atmosfere u Hrvatskoj povećati do 2040. godine između 1,1 i 1,2 °C, a do 2070. očekuje se porast do 2,2 °C. Također se očekuje i porast srednje minimalne temperature zraka. Autor navodi kako će u budućnosti količine oborina u zimi i proljeću porasti, a u ljeto i jesen očekuje se njihovo smanjenje.

Vrijednosti evapotranspiracije, kao izraza potrebnih količina vode za biljke, u proljeće i jesen, povećat će se za 10 mm. Također se očekuje još veće smanjenje vlažnosti tla u ljetnim i jesenskim mjesecima. Agrometeorološka i fenološka opažanja ukazuju na to da se za razdoblje od 2040. do 2070. godine očekuju znatne promjene u sektoru poljoprivrede kojima će biti uzrok klimatska varijabilnost. Hrvatsku poljoprivredu ugrožavat će s jedne strane nedostaci vode i sve duža sušna razdoblja, a na drugoj strani poplave.

Temeljem izloženoga može se konstatirati da će ekstremne vremenske pojave poput suše, poplave, izrazito visokih ili niskih temperatura, jakih vjetrova, tuče i drugih vremenskih nepogoda nanijeti velike gospodarske štete u sektoru poljoprivredne proizvodnje (Špoljar, 2019.). Ove klimatske promjene također će se nepovoljno odraziti i na erozijske procese, a u priobalju se na području doline rijeke Neretve zbog porasta razine morske vode očekuje još više izražena salinizacija. Dakako da će se sve navedeno nepovoljno odraziti na kvalitetu i visinu prinosa poljoprivrednih kultura. Međutim, klimatske promjene, poglavito zatopljenje mogu imati i pozitivan utjecaj na uzgoj poljoprivrednih kultura. Broj aktivnih dana vegetacije s temperaturom zraka većom od 5 °C, kako navodi Kalinski 2017. (cit. Špoljar 2019.), povećat će se za 35 do 84 dana u nizinskim područjima, a razdoblje s temperaturom zraka većom od 20 °C za 45 do 73 dana. Stoga će se na ovom području moći uzgajati potpuno nove kulture i sorte. Zbog nestanka vrlo hladnih zima i kasnoproletnih mrazova pojavit će se nova područja za uzgoj voća, vinove loze i masline pa se tako ukazuje mogućnost sve povoljnijih uvjeta za uzgoj jabuke u gorskoj Hrvatskoj (Vučetić, 2016). Slične promjene se očekuju i u vinogradarskoj proizvodnji pa će se, kako navodi ovaj autor, promijeniti i "vinski atlas" Hrvatske.

Kako mogući negativni učinci klimatskih promjena dolaze više do izražaja od pozitivnih, što se osobito odnosi na pojavu učestalih suša i nedostataka vode u ljetnim mjesecima, preporučuje se promijeniti strukturu biljne proizvodnje i više se orijentirati na uzgoj dohodovnijih kultura poput povrća i voća, dakako uz veću primjenu navodnjavanja. Naravno, trebat će osigurati i nove izvore kvalitetne vode za navodnjavanje. U gospodarenju tlom, ponajprije s ciljem konzervacije vode prednost treba dati konzervacijskim načinima obrade (izostavljena i reducirana obrada tla), malčiranju, uzgoju kultura u plodoredu u kojem su zastupljene djetelinsko travne smjese i leguminoze, te organskoj gnojidbi (Jug i sur., 2017).

Kako navodi Bašić (2010), za laganija tla veće plodnosti, u povoljnijem podneblju i za širokoredne kulture pogodnija je reducirana obrada tla. Minimalna ili reducirana obrada ne preporuča se na težim tlima, manje plodnosti i u nepovoljnom podneblju. Na takvim tlima treba provoditi melioracijsku obradu i gnojidbu tla. Kod tala s nepovoljnim vodo-zračnim odnosima nužno je najprije izvršiti odvodnju suvišnih voda, prema potrebi provesti agrotehničke melioracije, a tek se tada može primijeniti reducirana obrada. Izostavljena obrada tla, kako navodi autor, energetski je i ekonomski djelotvorna, a daje dobre rezultate u pogledu zaštite tla od erozijskih procesa. Pri uzgoju kultura u plodoredu u kojem su bile zastupljene djetelinsko-travne smjese i lupina, uz provođenje kalcifikacije i sideracije, Špoljar i sur., (2011) na svim poljima plodoreda na kraju istraživanja, u odnosu na početno stanje, dobivaju povećanje sadržaja pristupačne vlage u tlu i kapaciteta tla za zrak. Najveće smanjenje vrijednosti gustoće pakiranja čestica, kao indikatora zbijenosti u tlu, autori dobivaju nakon uzgoja lupine.

Gabriels i Verdoodt (2011) za ublažavanje posljedica suše preporučaju integralno gospodarenje tlom, primjenu konzervacijske poljoprivrede, veću primjenu navodnjavanja, prikupljanje kišnice na gospodarstvima i tehnologiju agrošumarstva. Autori definiraju konzervacijsku poljoprivredu kao sustav

koji čuva, poboljšava i učinkovitije koristi prirodne resurse, a obuhvaća integralno gospodarenje tlom, vodom i biološkim resursima. Konzervacijska poljoprivreda se temelji na tri osnovna načela: minimalna degradacija tla, stalna pokrivenost tla i plodored. Stoga se konzervacijska poljoprivreda temelji na reduciranoj ili izostavljenoj obradi tla, suzbijanju korova "gušenjem" pomoću malča i uzgoju pokrovnih kultura. Konzervacijska poljoprivreda se pokazala učinkovitom u različitim agroekološkim područjima s većim ili manjim količinama oborina, na degradiranim tlima te u područjima gdje nema dovoljno radne snage. Kako navode Gabriels i Verdoodt (2011), ona je primjenjiva u uvjetima suše zbog toga što se navedenim tehnologijama konzervira vlaga u tlu pa se smatra vodećom tehnologijom tzv. "nove zelene revolucije".

#### Literatura:

1. Bašić, F., Herceg, N. (2010): Temelji uzgoja bilja. Udžbenik Sveučilišta u Mostaru, 454. str.
2. Gabriels, D., Verdoodt, A. (2012): Soil Degradation. Universitet Gent, 244p.
3. Jug, D., Vukadinović, V., Đurđević, B., Stipešević, B., Brozović, B. (2017): Konzervacijska obrada tla kao mjera ublažavanja klimatskih promjena. Sveučilišni priručnik. Hrvatsko društvo za proučavanje obrade tla (HD POT), Osijek 176 str.
4. Krulić, B., Vučetić, V. (2011): Razvojne faze i zimsko mirovanje jabuke u Hrvatskoj. Croatian Meteorological Journal, 46: 35-43.
5. Mesić, M., Kisić, I., Bašić, F. (2001): The adjusting of agricultural systems to possible climate change. In Scientific conference of Croatian agriculturists international participation (p.54). Opatija: Croatian Society of Agronomists.
6. Romić, D. (2005): Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj (NAPNAV), Zagreb.
7. Špoljar, A., Kisić, I., Birkas, M., Gunjača, J., Kvaternjak, I. (2011): Influence of crop rotation, liming and green manuring on soil properties and yields. Journal of Environmental Protection and Ecology, 12 (1): 54-69.
8. Špoljar, A. (2019): Konzervacija i remedijacija tla. Udžbenik, Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, Križevci, 209 str.
9. Vučetić, V., Vučetić, M. (2005): Variations of phenological stages of olive-trees along the Adriatic coast. Periodicum Biologorum, 107, 335-340.
10. Vučetić, V. (2011): Modeliranje utjecaja klimatskih promjena na prinose kukuruza u Hrvatskoj. Prirodoslovno matematički fakultet u Zagrebu, Zagreb.
11. Vučetić, V. (2016): Poljoprivreda i klimatske promjene. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.

Dr. sc. Andrija Špoljar

## Degradacija tla – utjecaj na funkcije tla

Tlo je površinski sloj zemljine kore koji se sastoji od mineralnih čestica, organske tvari, vode, zraka i živih organizama. Proces nastanka tla je izrazito spor (u humidnom klimatu za nastanak 2,5 cm tla potrebno je oko 500 godina) te se zbog toga smatra neobnovljivim odnosno, uvjetno obnovljivim prirodnim resursom. Tlo je nositelj brojnih funkcija neophodnih za život na Zemlji:

- osigurava hranu
- biomasu,
- sirovine,
- staništa i rezerve gena;
- skladišti, filtrira i izmjenjuje hranjive tvari, vodu i ugljik.

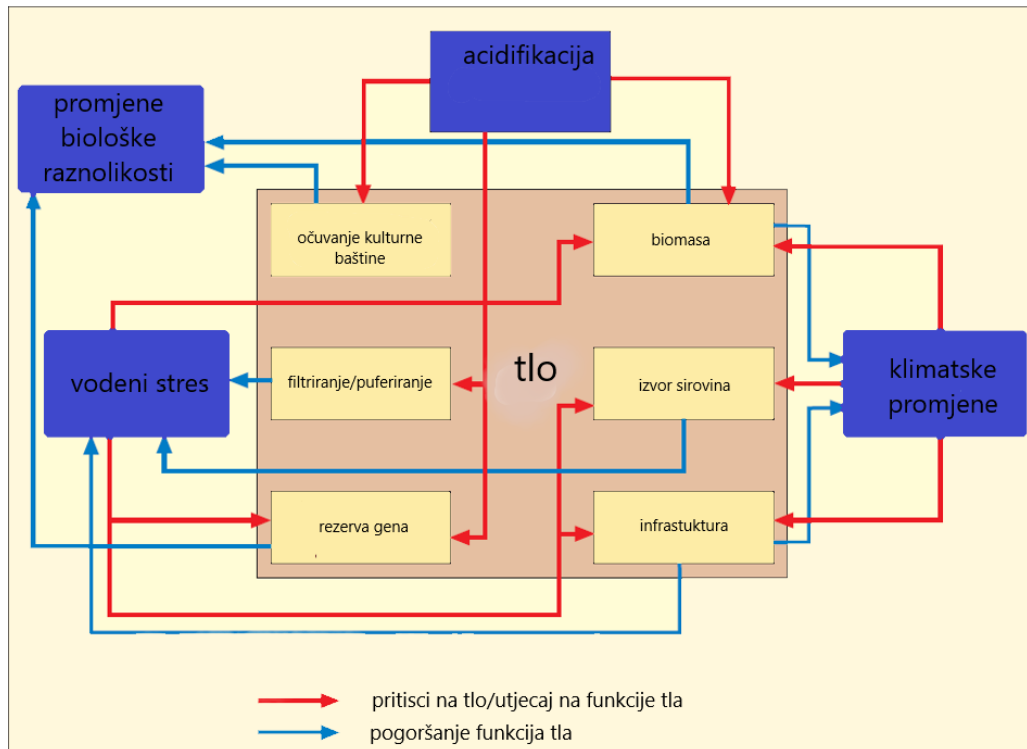
Korištenje tla u poljoprivredi značajno utječe na ukupan život zajednice uz pomoć neproizvodnih učinaka – očuvanje okoliša, stvaranje uvjeta za turističku djelatnost, oblikovanje krajobraza, čuvanje tradicije, itd.

Tlo nije samo glavni prirodni resurs o kojem ovisi proizvodnja hrane, vlakana, obnovljive energije i sirovina, već ima i ključnu ulogu u održavanju složenih kopnenih ekosustava i klimatskih sustava cijelog planeta. Ubrzan porast ljudske populacije predstavlja veliki pritisak na tlo kao prirodni resurs (prema novijim podacima proizvodnja hrane zauzima 40% Zemljine površine što je gotovo polovica kopnene površine planeta). Kao rezultat intenzivne poljoprivredne aktivnosti i prekomjernog korištenja zemljišta, tlo je izloženo degradacijskim procesima koji dovode do degradacije njegovih fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava tla. Pojava degradacije tla je posljednjih desetljeća prerasla u poljoprivredni i ekološki problem velikih razmjera.

Pojednostavljeno, degradacija tla se može definirati kao mjerljivi gubitak ili smanjenje trenutne ili potencijalne sposobnosti tla za proizvodnju biljnog materijala željene količine i kvalitete. Ujedno, degradacija zemljišta je širi pojam, definiran kao smanjenje trenutne ili potencijalne sposobnosti zemljišta da služi određenoj funkciji, uključujući različite namjene kao što su poljoprivreda, promet, infrastruktura, itd. Procjenjuje se da je gotovo 2 milijarde ha resursa tla u svijetu degradirano (od ukupno 13,5 milijardi ha), odnosno približno 22% ukupnih ratarskih površina, pašnjaka i šuma. Kao rezultat degradacije tla, procjenjuje se da je od 1950. godine do 2000. godine izgubljeno oko 11,9-13,4% globalne poljoprivredne ponude.

S obzirom na sve brže rastuću svjetsku populaciju, degradacija tla predstavlja izazov u kontekstu proizvodnje dostatne količine hrane na poljoprivrednim površinama čija tla su sve slabije kvalitete. U konačnici proizvodnja hrane na degradiranim tlima često rezultira smanjenjem prihoda, gospodarskim usporavanjem i nesigurnošću hrane.

Tlo je kompleksan resurs podložan procesima degradacije i prijetnjama koje u kratkom vremenskom razdoblju mogu privremeno ili trajno ugroziti i/ili onesposobiti njegove funkcije (Slika 1.). Degradacija tla rezultira gubitkom kritičnih funkcija i usluga ekosustava. Ove funkcije i usluge uključuju proizvodnju hrane, goriva i vlakana osiguravajući dovoljne zalihe čiste vode, pružajući platformu za izgrađeno okruženje, djelujući kao tampon protiv ekstremnih klimatskih pojava, podržavajući biološku raznolikost i pružajući najveće terestičko skladište ugljika i hraniva.



Slika 1. Primjer utjecaja prijetnji prema tlu na funkcije tla

Posljedice degradacije tla se očituju kroz smanjenje plodnosti tla te kakvoće zraka i vode. Degradacija tla također je povezana s problemima sedimentacije, klimatskim promjenama, razdvajanja slivova i promjena u prirodnim staništima što dovodi do gubitka genetskog fonda i biološke raznolikosti.

Pojedini procesi degradacije tla imaju prirodne uzroke, ali se njihovo napredovanje ubrzava ljudskom djelatnošću. Kao prirodni proces, degradacija tla može se pojačati raznim ljudskim aktivnostima poput neprikladnog gospodarenja u poljoprivredi, prekomjerne ispaše, krčenja šuma, itd. Degradacija tla, definirana kao snižavanje i gubljenje funkcija tla, posljednjih desetljeća postaje sve ozbiljnija u svijetu i predstavlja prijetnju poljoprivrednoj proizvodnji i kopnenom ekosustavu. Najnovije procjene govore da svake godine degradacija tla utječe na 1,9 milijardi hektara tla, što rezultira velikim gubitcima površina s funkcijom proizvodnje hrane (12 milijuna hektara). 24 milijarde tona plodnog tla nepovratno se ispire ili premješta erozijom (3,4 t po stanovniku). Također se predviđa da će to dovesti do smanjenja globalne proizvodnje hrane za 12% u slijedećih 25 godina, što će rezultirati povećanjem svjetskih cijena hrane za oko 30% (UNCCD, 2015.).

Stoga je ključno boriti se protiv degradacije tla na različitim razinama i mjerilima širom svijeta, ne samo zbog sigurnosti hrane i ekološkog zdravlja, već i zbog jamstva globalnog održivog razvoja.

Prof. dr. sc. Irena Jug



## Degradacija i monitoring poljoprivrednog zemljišta/tla

Degradacija tla prepoznata je kroz smanjenje i/ili gubitak njegovih glavnih funkcija, a dolazi do izražaja preko smanjene plodnosti, biološke raznolikosti, kakvoće vode i zraka, manjih prinosa usjeva, pojave erozije i klizišta. Razlog može biti prirodnog ili antropogenog podrijetla. Prirodni degradacijski procesi znatno su sporiji i manja su opasnost za poljoprivrednu proizvodnju. Antropogenu degradaciju znatno ubrzava intenzivna obrada tla, neodgovarajuća gnojidba, uzak plodored, korištenje teških strojeva, prekomjerna upotreba pesticida i onečišćujuće tvari. Klimatske promjene povezane s degradacijom tla mogu ugroziti sigurnost opskrbe hranom. U posljednjih pet desetljeća procijenjeno je smanjenje ponude poljoprivrednih proizvoda oko 11,9-13,4% zbog različitih oblika degradacije tala na globalnoj razini.

Opseg i uzroci degradacije kemijskih, fizikalnih i bioloških značajki tla te gubitka poljoprivrednog zemljišta, razlikuju se u različitim dijelovima i državama Europske unije (EU). Konvencionalna poljoprivredna proizvodnja postaje sve ozbiljnija prijetnja degradacije tla i onečišćenja okoliša. Prema procjenama, različiti oblici degradacije tala u EU prisutni su kod 60-70% površina s tendencijom daljnjeg pogoršanja<sup>1</sup>. Na razini EU-a prepoznato je šest glavnih degradacijskih procesa povezanih s poljoprivrednom proizvodnjom: smanjenje organskog ugljika, erozija tla, zaslanjivanje, zakiseljavanje, zbijanje, smanjenje biološke raznolikosti i onečišćenje tla.

Degradacija organskog ugljika i humusa u tlu čije je smanjenje prepoznato kao rezultat intenzivne poljoprivredne proizvodnje, utječe na druge značajke tla i prinose usjeva. Promjene gospodarenja tлом i usjevima mogu značajno utjecati na povećanje ili smanjenje organskog ugljika tijekom relativnog kratkog razdoblja. Sadržaj humusa, optimalna količina raspoloživih hraniva i vode u interakciji s drugim čimbenicima plodnosti od izuzetne su važnosti za ostvarenje optimalnog prinosa. Međutim, ne postoje jasno definirani zajednički kriteriji minimalne količine humusa i organskog ugljika u tlu kada je smanjena plodnost, zadržavanje vode i umanjene druge funkcije tla bez obzira na optimalnu gnojidbu. Na tlima s niskim sadržajem humusa pogoršava se stabilnost strukturnih agregata i ubrzava erozija.

Oštećenje tla erozijom smatra se vodećim degradacijskim procesom u Europi, posebno u mediteranskim zemljama gdje su suše sve češća pojava, a nakon njih slijede velike količine oborina u kratkom vremenskom razdoblju. Utvrđena je velika osjetljivost obradivih površina na pojavu erozije vodom na tlima s manje od 2% humusa. Osim količine humusa na intenzitet erozije utječe pokrivenost tla, način korištenja, tekstura i nagib terena. Procjena stvarnog rizika od erozije tla vodom u Republici Hrvatskoj ukazuje da visoki rizik obuhvaća 23,23%, umjereni 23,13% a niski rizik 54,29% poljoprivrednih površina.

U Republici Hrvatskoj 32% ukupnih poljoprivrednih površina zauzimaju tla kisele reakcije. Intenzivna gnojidba fiziološki kiselim mineralnim gnojivima uz visoke prinose usjeva potencijalno zakiseljuju tlo. U kiselim tlima smanjena je raspoloživost kalcija, magnezija, kalija i fosfora, a povećan je udio mobilnog aluminija, željeza i mangana što može dovesti do niske plodnosti i slabe učinkovitosti gnojiva te manjih prinosa usjeva. Iako je smanjenje pH vrijednosti tla spori prirodan proces, neodgovarajuće mjere gospodarenja osobito u područjima humudnije klime znatno ga ubrzavaju.

S druge strane na poljoprivrednim površinama u Europi problem degradacije tala predstavlja alkalizacija i salinizacija. Međutim u Republici Hrvatskoj ima malo zaslanjenih tala na području istočne Slavonije i Baranje i dolini Neretve.

Kontinuirano praćenje i kvantificiranje promjena i intenziteta degradacije fizikalnih, kemijskih i bioloških značajki omogućuje donošenje ispravnih odluka za održivo upravljanje poljoprivrednim zemljištem i tlom. Prema Izvješću o procjeni degradacije zemljišta, zaustavljanje i ublažavanje sadašnjih trendova degradacije tla, godišnje bi rezultiralo na globalnoj razini 1,2 bilijuna eura ekonomske koristi<sup>2</sup>. Podizanje svijest o negativnim učincima degradacije tla i uvođenje mjera za održivo upravljanje zemljištem i tlom zahtjeva koordinaciju i zajedničke napore korisnika zemljišta, znanstvene zajednice i kreatora poljoprivrednih politika na lokalnoj, regionalnoj i globalnoj razini.

Sustavom kontinuiranog praćenja, prikupljanjem podataka o značajkama tla, načinu korištenja zemljišta, analizom prostornog rasporeda degradacijskih procesa te uvođenjem odgovarajućih mjera gospodarenja zaustavili bi se negativni trendovi degradacije te povećala plodnost.

Program trajnog motrenja tala za Republiku Hrvatsku izrađen je u sklopu pilot projekta 2008. godine. Pravilnikom o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta 2014 godine definirane su metode praćenje promjena u zemljištu, broj i raspored postaja, njihov oblik, površina i razina. Također je trajno praćenje svih promjena u poljoprivrednom zemljištu i tlu kroz ispitivanje plodnosti tla evidentiranog u sustavu za identifikaciju poljoprivrednih parcela i evidenciju uporabe poljoprivrednog zemljišta, u ARKOD sustavu, kojeg koriste pravne i fizičke osobe upisane u Upisnik poljoprivrednika definirano Pravilnikom o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta iz 2019. godine.

#### Literatura:

<sup>1</sup>\*European Commission (2020), Caring for soil is caring for life.

<sup>2</sup>\* IPBES (2018), The assessment report on land degradation and restoration.

Dr. sc. Ivka Kvaternjak

## Sadržaj vlage u tlu: značaj, mjerenje

Vlažnost tla jedan je od kritičnijih parametara bitan za stabilnu biljnu proizvodnju. Zbog nedostatka ili viška vode u tlu, biljke mogu odumrijeti. Sadržaj vlage u tlu, osim o značajkama tla, također ovisi o brojnim vanjskim čimbenicima, ponajprije o vremenskim prilikama i klimatskim promjenama. Vlažnost tla utječe na sadržaj zraka u njemu, koncentraciju soli i otrovnih tvari, strukturu, temperaturu, te kapacitet tla za toplinu. Ovaj parametar može prevenirati nepovoljne vremenske uvjete i bitan je čimbenik određivanja trenutka povoljnog za obradu tla (Cherlinka, 2022.). Sadržaj vlage u tlu, kako navodi autor, ovisi o različitim pokazateljima kao što su topografija, vegetacija, klima i značajke tla.

Tla teže teksture i s više mikro pora bolje zadržavaju vodu. Isto tako povoljna mrvičasta struktura s visokim stupnjem stabilnosti agregata omogućuje bolje zadržavanje vode, a veći sadržaj organske tvari u tlu njenu bolju konzervaciju. Zbijena tla s visokim vrijednostima volumne gustoće ograničavaju infiltraciju vode. Kod nižih temperatura tla veći je sadržaj vlage. Duboka tla mogu uskladištiti više vode u odnosu na plitka. Kod previsokih koncentracija soli u tlu biljke primaju manje vode, pojavljuje se tzv. fiziološka suša. Kod veće koncentracije vodene otopine i većeg osmotskog tlaka, biljke gube turgor i može nastupiti njihovo venuće. To je slučaj kod slanih i alkalnih tala (Špoljar, 2015).

Sadržaj pristupačne vlage u tlu ovisi o kapacitetu tla za vodu i vlažnosti (točki) venuća. Kapacitet tla za vodu je njezin sadržaj u mikro porama nakon cijeđenja vode iz makro pora tla, a vlažnost venuća je trenutak kada biljke počinju venuti zbog nemogućnosti primanja vode. U literaturi su ovi parametri poznati pod imenom vodne konstante tla. Bitan pokazatelj je ukupna raspoloživa voda ili fiziološki aktivna vlaga (FAv), odnosno koliko je biljke mogu primiti putem svog korijenovog sustava. To je zapravo razlika između kapaciteta tla za vodu i vlažnosti venuća. Sadržaj vlage iznad kapaciteta tla za vodu usjevi mogu podnijeti od jednog do tri dana, a kod vlažnosti venuća više ne mogu apsorbirati potrebnu vodu za svoj rast i razvoj. Za optimalan rast i razvoj biljaka biljkama je potrebna pristupačna voda, a u planiranoj poljoprivrednoj proizvodnji, kako navodi Šimunić (2013.), potrebno je u tijeku vegetacije osigurati lako pristupačnu vodu. Kritična količina pristupačne vode za rast biljaka ovisi o biljnoj vrsti i stadiju razvoja biljke, usisnoj sili korijena i klimatskim prilikama koje određuju intenzitet evapotranspiracije. Zbog toga je potrebno održavati tzv. optimalni interval vlažnosti koji odgovara rasponu između kapaciteta tla za vodu i lentokapilarne vlažnosti, a to je *cca* 60 do 70% od vrijednosti kapaciteta tla za vodu. Protok hranjivih tvari od korijena do nadzemnog dijela biljke omogućuje transpiracija. U nadzemnom dijelu biljke manji je hidrostatički tlak zbog isparavanja vode, a kao rezultat toga voda s otopljenim tvarima putuje prema lišću.

Kako bi biljke imale povoljne uvjete vlažnosti za svoj rast i razvoj nužno je poznavati njegov sadržaj u tlu, ali i metode njegovog određivanja. U suvremenoj poljoprivredi u uporabi su, uz tradicionalne senzore, i suvremene satelitske tehnologije. Razvijene su tri metode određivanja sadržaja vlage u tlu: gravimetrijsko (ili izravno), pomoću senzora vlage u tlu i daljinsko očitavanje. Gravimetrijska metoda određivanja sadržaja vlage u tlu (GWC) temelji se na mjerenju razlike između mase vlažnog i suhog uzorka izraženo u odnosu na masu ili volumen tla, a sadržaj vlage izražava se u% mas. ili% vol.

Senzorska metoda bazira se na mjerenju volumetrijskog sadržaja vlage (VWC) ili tenzije vode u tlu (SWT), poznate i kao potencijal vode u tlu (SWP). Senzorska metoda određivanja sadržaja vlage odnosi se na utvrđivanje sadržaja fiziološki aktivne vlage u tlu izražene u postocima. Mjerenje tenzije vlage u

tlu temelji se na određivanju energije koja je potrebna kulturama kako bi primile vodu iz tla. Tenzija se povećava kako se razina vlage u tlu smanjuje, a vrlo je niska kada je tlo ispunjeno vodom. Tenzija vlage u tlu mjeri se u centibarima. Prednost daljinskog mjerenja je što može izmjeriti vlagu na puno većim površinama od konvencionalnih metoda. Satelitska tehnologija također omogućuje izradu karata vlažnosti tla visoke rezolucije, što se može koristiti u modeliranju prinosa. Daljinska detekcija korisnicima daje mogućnost mjerenja sadržaja vlage na površini i u području korijenovog sustava biljaka. Kako se prostorna i vremenska razlučivost satelita povećava, pojavljuju se nove mogućnosti za preciznu kontrolu sadržaja vlage na proizvodnim površinama.

Za mjerenje sadržaja vlage u tlu najčešće su u upotrebi tenziometri, konduktometri s pripadajućim gipsanim blokovima i reflektometri. Tenzimetri se sastoje od staklene cijevi na dnu koje je porozna čaša (kiveta) i manometra. Pune se prokuhanom destiliranom vodom, a mjere tenziju (negativni tlak) vode u tlu. Gipsani blokovi mjere otpor toku električne struje u tlu. Reflektometri (TDR mjeraci) odašilju u tlo električne impulse, a na temelju povratnog signala iz tla očitava se sadržaj vlage.

*Tenziometar**Gipsani blokovi (foto. Cerjan, 2011.)**TDR mjeraci*

Špoljar i sur. (2011.) u istraživanjima utjecaja reducirane i konvencionalne obrade na značajke tla, utvrđuju, glede sadržaja fiziološki aktivne i optimalne vlažnosti tla, uglavnom povoljnije uvjete vlažnosti na reduciranim varijantama obrade. Nasuprot tome, najveći sadržaj nepristupačne vlage u tlu autori dobivaju u žetvi kod konvencionalne obrade. Pri uzgoju usjeva u plodoredu u kojem su uzgajane zob, kukuruz, djetelinsko travna smjesa (DTS) i lupina Špoljar i sur. (2011a.) utvrđuju najveće vrijednosti sadržaja optimalne i fiziološki aktivne vlage pri uzgoju lupine i DTS-a. Iz rezultata ovih autora proizlazi, kako se primjenom reducirane obrade te uzgojem leguminoza i djetelinsko travnih smjesa može u tlu konzervirati značajniji sadržaj vlage. Temeljem navedenoga, s ciljem konzervacije vlage u tlu, može se preporučiti uzgoj ovih usjeva u plodoredu, ali i veća primjena izostavljene i reducirane obrade tla. Špoljar (2019.) kao alternativu konvencionalnoj poljoprivrednoj proizvodnji nudi održive načine gospodarenja tлом, pri čemu autor preporučuje veću upotrebu tzv. konzervacijske poljoprivrede kao uzgoja usjeva kod kojeg se preporučuje minimalni broj radnih zahvata obrade tla (minimalno narušavanje tla obradom i izostavljanje okretanja tla), trajna pokrivenost tla biljnim ostacima i uzgoj usjeva u plodoredu. Uz navedeno, može se glede očuvanja fizikalnih, kemijskih i bioloških značajki tla, veće konzervacije vlage u tlu, te smanjenja erozije preporučiti i konzervacijska obrada. To je sustav obrade kod kojeg nakon svih zahvata obrade tla i sjetve narednog usjeva pokrivenost površine iznosi najmanje 30%. Kod reducirane obrade ovom zahtjevu o pokrivenosti površine od 30% ne treba se

udovoljiti (NN 22/2019 od 6.03.2019.). Jug i sur. (2017.) isto tako ističu brojne prednosti primjene reducirane i konzervacijske obrade tla. Između ostaloga, navodi se njihov povoljan utjecaj na konzervaciju vlage u tlu.

Literatura:

1. Cherlika, V. (2024): Soil moisture: How To Measure and Monitor Its Level. Eos Dana Analytics. <https://www.eos.com/blog/soil-moisture/>.
2. Jug, D., Jug, I., Vukadinović, V., Đurđević, B., Stipešević, B., Brozović, B. (2017): Konzervacijska obrada tla kao mjera ublažavanja klimatskih promjena. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, udžbenik, Osijek, 176. str.
3. Šimunić, I. (2013): Uređenje voda. Hrvatska Sveučilišna naklada. Udžbenik, 260 str.
4. Špoljar, A., Kisić, I., Kvaternjak, I., Kamenjak, D., Orehovački, V. (2011): Utjecaj obrade na konzervaciju vlage u tlu te prinose, ukupne masti i bjelančevina u zrnu soje. Agronomski glasnik, 73 (1/2): 93-105.
5. Špoljar, A., Kisić, I., Birkas, M., Gunjača, J., Kvaternjak, I. (2011a): Influence of crop rotation, liming and green manuring on soil properties and yields. Journal of Environmental Protection and Ecology, 12 (1): 54-69.
6. Špoljar, A. (2015): Pedologija. Udžbenik, Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, Križevci, 223 str.
7. Špoljar, A. (Konzervacija i remedijacija tla. Udžbenik, Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, Križevci, 209. str.
8. \*\*\*.Pravilnik o agrotehničkim mjerama (NN 22/2019 od 6.03.2019)

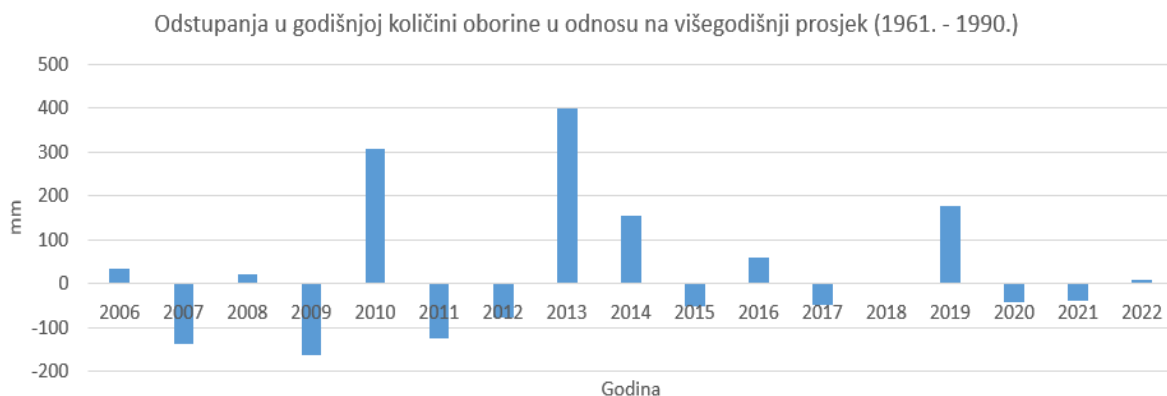
Dr. sc. Andrija Špoljar



## Praćenje sadržaja vode u tlu

### Klimatske promjene i voda u tlu

U posljednjih nekoliko desetljeća svjedoci smo negativnih posljedica klimatskih promjena koje se odražavaju u vidu sve učestalijih pojava olujnih nevremena, nadprosječno visokih dnevnih i noćnih temperatura zraka, prekomjernih količina oborina koje padnu u vrlo kratkom vremenskom razdoblju te posljedično u vidu poplava. Nadalje, intenzivirani su procesi: erozija, dezertifikacija, smanjenje organske tvari tla, pojava klizišta te smanjena bioraznolikost. Poljoprivredna proizvodnja je grana gospodarstva koja je najizloženija i najosjetljivija na klimatske promjene uslijed kojih dolazi do povećane potrebe biljaka za vodom radi intenzivnije evapotranspiracije (ETo) koja se javlja kao posljedica nadprosječno visokih temperatura zraka, jakih vjetrova, povećane insolacije i smanjene relativne vlažnosti zraka. Uslijed nepravilnog rasporeda oborina koji se javlja tijekom cijele godine, zalihe vode u tlu se smanjuju te navedeno upućuje na potrebu za racionalnim gospodarenjem vodnim resursima, posebice u biljnoj proizvodnji. Osnovna agrotehnička mjera kojom se ublažavaju negativne posljedice suša je navodnjavanje koje bi trebalo biti isplanirano i provedeno tako da se vodu troši racionalno, tako da se zadovolje potrebe biljaka za vodom te mogući gubici smanje na najmanju moguću razinu.



Grafikon 1. Odstupanja godišnje količine oborina u odnosu na višegodišnji prosjek ((1961.-1990.) za Osječko područje

### Voda u tlu

Voda u tlu ima višestruki značaj. Tlo povoljnih vodozračnih odnosa je ključno za sve organizme tla, dok će kod biljaka uvjetovati transport i pristupačnost hraniva, ukorjenjivanje, hlađenje te u konačnici biljkama predstavlja rezervoar za vodu. Najpristupačnija voda za biljke je ona koja se lako kreće u svim smjerovima i drži se slabim silama za čestice tla (kapilarna voda). U pogledu vodnih konstanti, najpristupačnija voda je ona koja se nalazi u rasponu od poljskog vodnog kapaciteta (Pvk) do lentokapilarne vlažnosti (Lkv). Navedeno je od najvećeg značaja za planiranje i provođenje navodnjavanja jer sadržaj vode kod vrijednosti Lkv predstavlja trenutak početka navodnjavanja, a obrok navodnjavanja odnosno količinom vode koju dodajemo jednim navodnjavanjem sadržaj vode u tlu se nadoknađuje do vrijednosti Pvk.



Shema 1. Čimbenici koji utječu na sadržaj vode u tlu

### *Uloga konverzijske poljoprivrede u očuvanju vodnih resursa*

Konverzijskom obradom se značajno smanjuje degradacija tala očuvanjem strukture tla te sadržaja organske tvari, čuva se biološka raznolikost i mikrobiološka aktivnost te smanjuje količina korova što ima direktan učinak na sadržaj vode u tlu. U uvjetima minimalnog narušavanja tla obradom te pokrivenosti tla biljkama ili biljnim ostacima je povoljna infiltracija odnosno upijanje ili ulazak vode u suho tlo. Nadalje, smanjeno je površinsko otjecanje, temperatura tla i evaporacija odnosno isparavanje vode s površine tla te erozija ili odnošenje čestica tla. Što se tiče vodnih resursa, u praksi to znači da oborine ili obrok navodnjavanja lakše prodiru u tlo, smanjeni su gubici vode uslijed površinskog otjecanja koje se javlja kod pokorice, tlo ima veću vododržecu sposobnost radi povoljne strukture i stabilnosti agregata, odnosno smanjena je mogućnost otjecanja vode u dublje slojeve tla što za sobom nosi brojne negativne posljedice za tlo i okoliš.

Bez obzira na to primjenjuje li se sustav konvencionalne ili konverzijske poljoprivrede, od iznimne važnosti je pratiti, odnosno mjeriti sadržaj vode u tlu, posebice u uvjetima navodnjavanja. Danas su na tržištu dostupne različite izvedbe senzora za mjerenje sadržaja vode u tlu koji se razlikuju po principu rada, načinu korištenja, trajnosti, učinkovitosti i u konačnici po cijeni koštanja. Uloga senzora je pratiti sadržaj vode u tlu u uvjetima bez navodnjavanja te određivanje trenutka početka navodnjavanja kako bi se mogućí vodni stres izazvan viškom ili manjkom vode sveo na najmanju moguću mjeru.

### **Mjerenje sadržaja vode u tlu**

#### *Direktna metoda*

Mjerenje vlažnosti tla omogućuje održivo upravljanje vodnim resursima, smanjenje nepotrebnih gubitaka vode, očuvanje kvalitete tla, ostvarivanje visokih i stabilnih prinosa te u konačnici isplativu biljnu proizvodnju u uvjetima navodnjavanja. Najtočnija metoda mjerenja vlažnosti je direktna metoda, odnosno termogravimetrija. Metoda se sastoji od uzorkovanja tla, vaganja uzorka te sušenja i ponovnog vaganja pa je stoga ova metoda vremenski zahtjevnija i nepraktična. Radi svoje točnosti, u novije vrijeme je korištena isključivo za umjeravanje senzora za mjerenje vlažnosti tla.

### *Indirektne metode*

Najčešće metode mjerenja sadržaja vode u tlu su metode elektrometrije, tenziometrije, reflektometrije i volumetrijska metoda. Bez obzira na odabranu metodu, od senzora se očekuje što brža reakcija na izmjenu suhe i vlažne faze tla, jednostavnost u postavljanju, laka interpretacija mjerenja i u konačnici, presudna je cijena koštanja. U novije vrijeme senzori imaju mogućnost telemetrije, odnosno očitavanja na daljinu što uvelike olakšava provođenje navodnjavanja, ali svakako povisuje i cijenu koštanja. Kod odabira i postavljanja senzora važno je obratiti pozornost na tip tla, uzgajanu kulturu, dubinu postavljanja, položaj u odnosu na biljku, rasprskivače (metoda kišenja) ili kapaljke (lokalizirana metoda). U konačnici senzor bi trebao biti umjeren za tip tla na kojem će biti korišten.



*Slika 1. Senzori za mjerenje sadržaja vode u tlu*

Izv. prof. dr. sc. Monika Marković

## Metode mjerenja vlažnosti tla

### *Senzori za mjerenje vlažnosti tla*

Senzori za mjerenje vlažnosti tla na jednostavan i brz način omogućuju određivanje trenutka početka navodnjavanja, odnosno pružaju uvid u sadržaj vode u tlu. Bez obzira na metodu rada, primjena senzora omogućuje održivo gospodarenje vodnim resursima u biljnoj proizvodnji. Najčešće ih se dijeli na senzore koji mjere volumni sadržaj vode u tlu te na senzore koji mjere neke od parametara koji se mogu dovesti u vezu sa sadržajem vode u tlu. Mogu biti postavljeni u tlo na željenoj dubini gdje ostaju tijekom razdoblja vegetacije i mogu biti prenosivi što omogućuje mjerenje vlažnosti tla na različitim lokacijama.

### *Mjerenje volumnog sadržaja vode u tlu*

Volumni sadržaj vode u tlu predstavlja volumen vode u volumenu tla te je izražen kao postotak (%vol.). Ovakav način izražavanja vlažnosti tla ili sadržaja vode u tlu je najčešće korišten kod planiranja navodnjavanja, odnosno kod određivanja trenutka početka navodnjavanja i dodavanja obroka navodnjavanja. Naime, računa se razlika od vlažnosti tla kod poljskog vodnog kapaciteta (Pvk) i trenutne vlažnosti kako bi manjak vode bio nadoknađen obrokom navodnjavanja. Upravo primjena senzora omogućuje mjerenje vlažnosti tla kod Pvk-a na različitim dubinama tla, ovisno o uzgajanoj kulturi. Uslijed evapotranspiracije (ETo) sadržaj vode u tlu se smanjuje te kada dosegne vrijednost lentokapilarne vlažnosti (LKv) kretanje vode u tlu je sporije, voda se drži jačim silama za čestice tla što znači da je biljkama teže dostupna. U praksi navodnjavanja ovo stanje vlažnosti tla predstavlja trenutak početka navodnjavanja. Primjena senzora za mjerenje vlažnosti tla uvelike olakšava detekciju vodnog stresa, odnosno određivanje trenutka početka navodnjavanja.

Na tržištu su dostupne izvedbe senzora koji mjere volumni sadržaj vode u tlu sljedećim metodama: Time domain reflectometry, TDR (Slika 1.)



Slika 1. Time domain reflectometry, TDR

Zatim, Neutron probe i Capacitance metoda mjerenja. Bez obzira na metodu, mjerenja ovim tipovima senzora su visoke točnosti, brze reakcije na izmjene suhe i vlaže faze tla, jednostavni su za korištenje, mogu se koristiti na različitim tipovima tala, na različitim dubinama i dugotrajni su. Capacitance senzori su u pravilu osjetljivi na sadržaj soli, gline i pora u tlu za razliku od senzora koji rade na principu TDR-a. Nadalje, spomenuti senzori uz Neutron probe metodu u pravilu zahtijevaju umjeravanje (kalibriranje) za tip tla na kojem su korišteni. Pojedine izvedbe senzora (Slika 2.) su prikladne za mjerenje vlažnosti supstrata što je od posebne važnosti kod uzgoja u zaštićenim prostorima.



Slika 2. Senzor za mjerenje vlažnosti tla u zaštićenom prostoru

Tehnologija i tržište senzora se intenzivno razvijaju težeći konstruirati senzore koji udovoljavaju traženim parametrima te su cjenovno prihvatljivi. Osim toga, ide se prema proizvodnji senzora koji daju mogućnost priključivanja različitih mjernih uređaja u pogledu dubine i načina mjerenja što uvelike umanjuje cijenu koštanja. Jedan od primjera je "soil probe" koja predstavlja noviju izvedbu u smislu mjerenja vlažnosti tla na jednom mjernom mjestu, a na više dubina. Potreban je jedan senzor za više lokacija na kojima se vlažnost tla mjeri pomoću pristupnih cijevi (Slika 3.).



Slika 3. Pristupna cijev za senzor za mjerenje vlažnosti tla



### *Mjerenje vodnog potencijala*

Najčešće korištene metode mjerenja vodnog potencijala jesu elektrometrija i tenziometrija (Slika 4.). Ove izvedbe senzora mjerenje u manjem rasponu, pokrivaju manje područje vlažnosti, najčešće su osjetljivi na sadržaj soli u tlu i teksturu, ali unatoč navedenom daju dobre rezultate i cjenovno su povoljni. Važno ih je pravilno pripremiti, postaviti i interpretirati dobivene podatke, obzirom na to da su izmjene vrijednosti izražene u cbar (kPa) za što je potrebno izraditi krivulju umjeravanja za svaki tip tla na kojem su postavljeni.



*Slika 4. Tenziometar za mjerenje vodnog potencijala*

Bez obzira na to koju metodu ili tip senzora se odabire, svaki senzor je potrebno savladati u pogledu osnovnog principa rada, načina priprema, korištenja i interpretacije dobivenih mjerenja.

Izv. prof. dr. sc. Monika Marković

## Onečišćenje tla - kao posljedica ljudske djelatnosti

### Tlo kao prirodni resurs

Tlo je najvažniji prirodni resurs te ključna komponenta kopnenog ekosustava koja svojim položajem između litosfere (čvrstog sloja Zemljine kore čija dubina doseže do desetak metara ispod površine tla) i atmosfere (plinovite ovojnice koja se sastoji od smjese različitih plinova) povezuje biosferu (površinski dio Zemlje koji je naseljen živim organizmima) i hidrosferu (Zemljin vodeni omotač koji obuhvaća sav vodeni dio na Zemljinoj površini). Tla prirodnih ekosustava i agroekosustava predstavljaju dinamičan sustav koji oblikuje mnoštvo funkcija koje se nazivaju ulogama tla: (npr. tlo je sustav za održavanje života, tlo osigurava prostor za rast biljaka, zadržava vodu i hranjive tvari, tlo je dom velikog broja mikro-, mezo- i makroorganizmima, izvor je sirovina, ima infrastrukturnu ulogu, obavlja klimatsko-regulacijsku funkciju itd.). Tla svojim funkcijama pružaju usluge ekosustava koje omogućuju postojanje života na Zemlji. Sve uloge tla povezane su s funkcijama definiranim svojstvima tla, a one pak s uslugama ekosustava (izravnim i neizravnim doprinosima koje ekosustavi - poznati kao prirodni kapital, doprinose ljudskoj dobrobiti i kvaliteti života).

Do početka 20. stoljeća smatralo se da je jedina uloga tla proizvodnja hrane odnosno da je tlo jedini supstrat za biljnu proizvodnju jer svojom plodnošću utječe na opskrbljenost biljaka vodom, zrakom i hranivima služeći ujedno kao medij za ukorjenjivanje odnosno, medij za učvršćivanje biljke. Tijekom daljnjeg razvoja društva uočen je značajan utjecaj čovjeka na prirodne resurse (tlo, vodu i zrak) posebice u pogledu povećanja pritiska na njih čime su u današnje vrijeme ovi pritisci dosegli i kritične granice. Danas znamo da tlo nema samo jednu jedinstvenu ulogu (proizvodnju hrane), već je njegova uloga višestruka, a jednako tako poznato je kako tlo nije jedini supstrat za proizvodnju hrane (iako je najznačajniji).

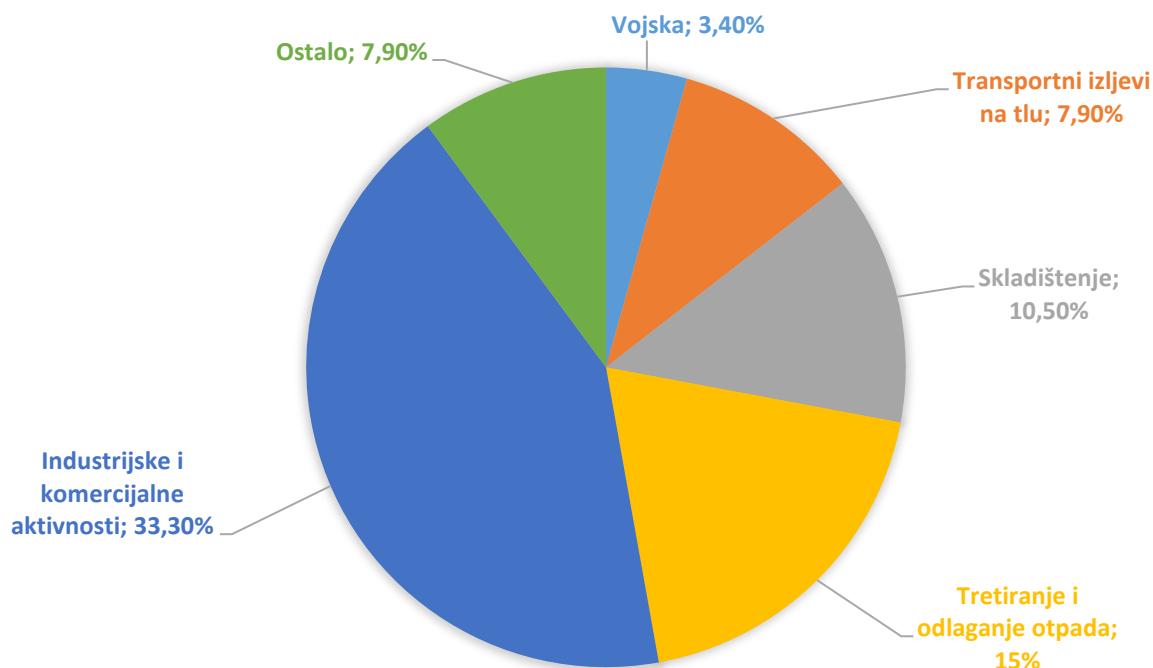
Za tlo često kažemo da je "uvjetno rečeno neobnovljiv prirodni resurs" jer je njegova regeneracija/oporavak/obnova izrazito spor proces i uglavnom traje duže od životnog vijeka jedne ljudske generacije (što je iznimno važno napomenuti). U suštini, tlo je teško obnovljiv resurs koji ima presudnu ulogu u održivom razvoju svjetskog gospodarstva posebice u kontekstu održive poljoprivredne proizvodnje i zaštite okoliša.

Ovaj resurs, koji je vrlo složen i podložan brojnim prijetnjama, u relativno kratkom vremenu može biti degradiran što za posljedicu ima privremeno ili trajno onesposobljavanje određenih funkcija tla, a to pak utječe na ugrožavanje usluga ekosustava. Uloge tla i usluge ekosustava uključuju proizvodnju hrane, osiguravaju dostatne zalihe vode, pružaju bazu za izgradnju infrastrukture i razvoj urbanih sredina, djeluju kao pufer u uvjetima klimatskih promjena i raznih oblika onečišćenja, povećavaju biološku raznolikost itd.

Procesi degradacije tla mogu biti uzrokovani prirodnim pojavama (vulkanske erupcije, odroni, klizišta, klimatski ekstremi, poplave i dr.), ali su značajno ubrzani antropogenim utjecajem (djelovanjem čovjeka). Jedna od prijetnji prema tlu (koje su definirane od strane Europske komisije 2006. godine kroz Tematsku strategiju za zaštitu tla) je onečišćenje tla, koje je definirano kao prisutnost neke komponente (kemikalije ili tvari) u tlu u koncentraciji koja je viša nego što se u tlu prirodno nalazi, ne uzrokujući time štetu, ili kada se neka tvar nalazi u tlu, a tamo prirodno ne pripada. Zagađenje tla podrazumijeva prisutnost neke komponente u koncentraciji koja je veća od dopuštene odnosno u

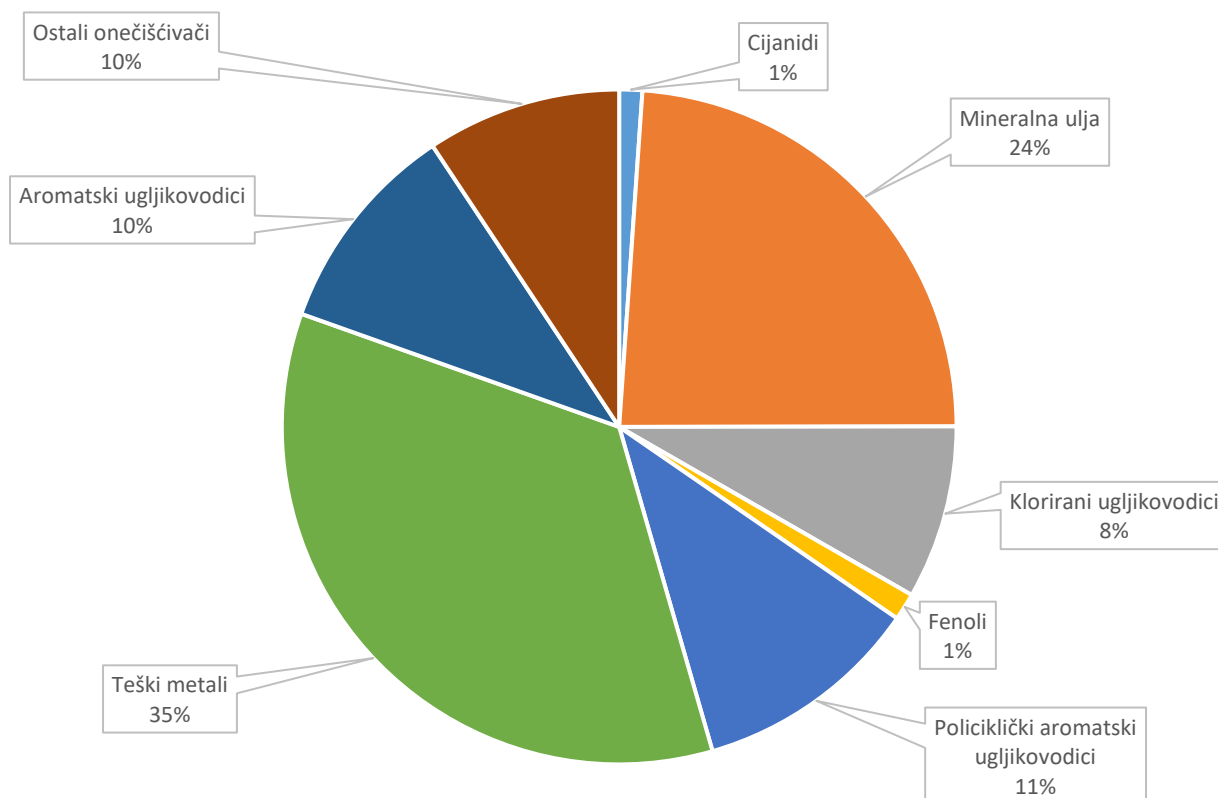
koncentraciji koja ima štetan učinak na bilo koji živi organizam. Dakle, važno je razlikovati pojmove onečišćenje i zagađenje tla.

Onečišćenje tla može biti lokalno i globalno, a izvori onečišćenja mogu biti prirodni i antropogeni. Prirodni izvori podrazumijevaju prirodne procese (kao što je erupcija vulkana, poplave, potresi, klimatske promjene, požari, udari meteora, snažni vjetrovi itd.) dok su antropogeni prouzrokovani ljudskom djelatnošću (poljoprivreda, industrija, planirani ili podmetnuti požari, ratovi, ekološki incidenti, komunalne djelatnosti itd.).



Grafikon 1. Aktivnosti koje uzrokuju onečišćenje tala u Europi (Izvor: <https://www.hindawi.com/journals/jeph/2013/158764/fig3/>)

Do onečišćenja/zagađenja tla može doći uslijed određenih aktivnosti (namjernih i nenamjernih) koje mogu biti uzrokovane određenim događajem ili nizom događaja unutar određenog područja u kojima se onečišćivači ispuštaju u tlo, a izvor i identitet onečišćenja se mogu relativno lagano i jednostavno identificirati i utvrditi. Ovakvo onečišćenje predstavlja onečišćenje iz točkastih izvora (onečišćenja uzrokovana ljudskom aktivnošću predstavljaju glavne izvore onečišćenja iz točkastih izvora). Neki od primjera su neadekvatno zbrinjavanje otpada, otpadnih voda, pretjerana primjena sredstava za zaštitu bilja, izgaranje goriva, promet, planirani i podmetnuti požari itd. Ukoliko je onečišćenje rasprostranjeno na širokom arealu, ukoliko se akumulira u tlu i nema jedan izvor tada govorimo o difuznom onečišćenju (pojavljuje se na područjima gdje je došlo do emisije, transformacije i razrjeđenja onečišćenja u drugim medijima prije njihovog prijenosa na tlo). Primjeri ovakvog onečišćenja su oružane aktivnosti (ratovi), poplave, erozija (vodom i vjetrom), atmosferski transport (vjetrom) i taloženje/deponiranje i dr.



Grafikon 2. Udio pojedinih onečišćenja u tlima Europe (Izvor: <https://www.hindawi.com/journals/jeph/2013/158764/fig4/>)

Kakav će biti učinak onečišćenja na ovaj prirodni resurs u značajnoj će mjeri ovisiti o svojstvima tla. Fizikalno-kemijsko-biološka svojstva tla kontroliraju i utječu na mobilnost, biološku raspoloživost i vrijeme zadržavanja onečišćivača u tlu. Ovisno o vrsti onečišćivača, onečišćenje utječe prvenstveno na kemijska svojstva tla (kroz dostupnost hranjivih tvari, promjene u pH vrijednosti, smanjenje potencijala mineralizacije i dr.), a kao posljedično i na biološka svojstva (degradirajući mikrobne zajednice, smanjenjem biološke raznolikosti i dr.).

Tijekom svog razvoja, čovječanstvo je značajno utjecalo na brojne pojave koje su dovele do onečišćenja tla (na primjer Černobilska katastrofa, katastrofa uzrokovana istjecanjem sirove nafte u Meksičkom zaljevu, a takvih je primjera veliki broj). Svaki od navedenih eko incidenata bio je uzrokovan ljudskim nemarom što je za posljedicu imalo štetan učinak na okoliš, a da ne spominjemo utjecaj na zdravlje ljudi i povećan mortalitet. I danas se još uvijek osjećaju posljedice nekih od navedenih događaja.

Najčešći kemijski onečišćivači okoliša pripadaju skupinama metala (Hg, Pb, Cd, Cu, Zn, As, Al), dušikovim spojevima ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ), poliklorirani bifenili (dioksini, furani), fenoli, pesticidi i dr. S obzirom na postojanost pojedinih onečišćivača, isti se mogu svrstati u skupine vrlo postojanih onečišćivača (čije je vrijeme razgradnje duže od 2 godine), postojane onečišćivače (njihovo vrijeme razgradnje je od 6 mjeseci do 2 godine), umjereno postojane onečišćivače (s vremenom razgradnje od 1 do 6 mjeseci) i slabo postojane onečišćivače (vrijeme razgradnje je manje od mjesec dana).

## **Eko-incident kod Osijeka**

Ekološki incidenti, koji često prerastu i u ekološke katastrofe, na više razina utječu na tlo preko njegovih uloga (funkcija) koje u konačnici rezultiraju promjenama u pružanju usluga ekosustava. Jedan od takvih eko incidenata je požar koji je nedavno izbio na prostoru tvrtke za preradu i skladištenje *plastike* "Drava Internacional" u Osijeku. U ovom požaru prema grubim procjenama izgorjelo između 60 000 i 400 000 t različitih plastičnih masa, od čega je (opet prema grubim procjenama) u atmosferi završilo između 11 000 i 70 000 t.

Prilikom izgaranja plastičnih masa dolazi do oslobađanja velikog broja različitih otrovnih supstanci i onečišćivača u atmosferu koje se potom na različite načine (mokrom i/ili suhom depozicijom) talože na tlo i, ovisno o svojstvima onečišćivača, adsorbiraju se na površini adsorpcijskog kompleksa tla ili migriraju u njegove dublje slojeve. Onečišćivači koji su deponirani u tlu, ukoliko su vodotopivi, lagano ulaze u biljku (putem korijena) i zadržavaju u njoj, odnosno mogu se skladištiti u plodovima.

Nepotpunim izgaranjem plastike (na 250 do 400 °C) oslobađaju se toksične, štetne tvari, poput dioksina i furana) koje su vrlo postojane i kancerogene te djeluju na imunološki sustav, a upravo ovako niske požarne temperature bile su prisutne na požarištu plastike u Osijeku.

Izgaranjem plastičnih materijala pri čemu se oslobađaju različite kancerogene i toksične tvari dolazi do onečišćenja tla. Izgaranjem plastike dolazi i do taloženja mikroplastike (čestice plastike promjera 1 µm-5 mm) i nanoplastike (čestice promjera manjeg od 1 µm) u tlu koje imaju iznimno negativan učinak na biološku komponentu tla.

S vremenom, kontaminacija tla izazvana izgaranjem plastike može naštetiti kvaliteti i zdravlju tla te utjecati na njegovu proizvodno-gospodarsku ulogu. Onečišćenje tla dovodi do smanjene plodnosti tla (smanjena je dostupnost biljnih hraniva) koja se javlja kao posljedica poremećaja mikrobiološkog ekosustava u tlu koji ima ključnu ulogu u ciklusu kruženja hranjivih tvari i održavanju zdravlja tla. Tlo sadrži raznoliku zajednicu mikroorganizama koji pomažu u razgradnji organske tvari i neophodni su za proces mineralizacije (prelazak hraniva u raspoložive i mobilne oblike). Onečišćenje tla požarom utječe na cijeli biološki kompleks tla smanjujući biološku raznolikost i uništavajući organsku tvar tla bez koje nema života. Organska tvar tla ima nezamjenjivu ulogu pufera u tlu, poboljšava vodozračni režim, povećava KIK (kationski izmjenjivački kapacitet), aktivira biološku komponentu tla, utječe na smanjenje erozije (kao jedne od glavnih prijetnji prema tlu jer erozija dovodi do degradacije tla), sprječava ispiranje hraniva u podzemne vode itd.

Kao posljedica kontaminacije tla, onečišćivači mogu migrirati u podzemne vode što predstavlja veliki i ozbiljan rizik za zdravlje svih živih organizama. Kontaminirano tlo može imati i štetne učinke na floru. Apsorpcija toksičnih tvari putem korijena od strane biljaka može dovesti do smanjenog rasta što će za posledicu imati smanjen ukupni biološki prinos i u konačnici poljoprivredni prinos. Akumulacija toksičnih tvari u biljnom tkivu može dovesti do negativnog i dugoročnog utjecaja na cijeli ekosustav jer konzumacija ovih biljaka omogućuje kruženje toksičnih supstanci u hranidbenom lancu. Onečišćivači se u prirodi mogu i transformirati (prijeći u neki drugi oblik koji ima drugačiji kemizam pa čak mogu postati i otrovniji), mogu se vremenom detoksicirati (postati manje otrovni ili potpuno bezopasni) ili mogu ostati nepromijenjeni. Dugoročno gledano, posljedice onečišćenja tla požarima plastičnih masa imaju uglavnom negativan i štetan utjecaj na okoliš jer kontaminanti mogu ostati u tlu godinama, čak i desetljećima, ovisno o vrsti i količini izgorene plastike. Pedosfera (površinski rastresiti dio litosfere) ima znatno slabiju i sporiju sposobnost oporavka od oštećenja izazvana onečišćenjem u odnosu na hidrosferu ili atmosferu. Kako bi se tlo saniralo, potrebno je napraviti kvalitetnu procjenu nastalog



onečišćenja i provesti potrebne analize. Sanacija onečišćenih tala provodi se nekom od tehnologija remedijacije ili njihovom međusobnom kombinacijom.

Ono što je ključno to je spriječiti mogućnost razvoja požara kako bi se očuvao okoliš i tlo kao njegova sastavnica. Pravilnim odlaganjem i recikliranjem plastičnog otpada, poštivanjem i provođenjem mjera i propisa za kontrolu spaljivanja plastike, od vitalne su važnosti za sprječavanje navedenih negativnih učinaka na tlo i druge ekosustave.

Ovaj je članak napisan prvenstveno kao mali doprinos boljem razumijevanju uloge poljoprivrednih tala te njegove osjetljivosti i izloženosti svim okolišnim prirodnim i antropogenim utjecajima. Nadalje, cilj je podsjetiti na značaj poljoprivrednih tala, njegovu nezamjenjivost u proizvodnji hrane, a time i važnost njegovog očuvanja, posebice od nemara izazvanog ljudskom djelatnošću.

*Pojedini dijelovi teksta detaljnije su opisani u udžbeniku "Osnove tloznanstva i biljne proizvodnje", autora Irena Jug, Danijel Jug, Bojana Brozović, Vesna Vukadinović, Boris Đurđević. Izdavač: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek (FAZOS), godina izdanja 2022, str. 527.*

Prof. dr. sc. Irena Jug

## Proizvodni potencijal tala Ukrajine ugrožen ratnim zbivanjima

Ukrajini pripadaju najveće poljoprivredne površine u Europi s približno 43 milijuna hektara od kojih se 32,5 milijuna koristi u biljnoj proizvodnji. Oko 25 % svih černozema, najplodnijih tala s najvećim proizvodnim potencijalom pripada Ukrajini, što uz umjerenu kontinentalnu klimu daje ovoj zemlji izuzetan proizvodni potencijal. Nepregledna polja pšenice, ječma, raži, zobi (i drugih žitarica), suncokreta i uljane repice odavno su Ukrajinu učinila „krušnicom“ Europe (The Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine, 2022.). Ukrajina je smještena u umjerenom klimatskom pojasu pod utjecajem umjereno toplog i vlažnog zraka s Atlantskog oceana. Zime na zapadu znatno su blaže od onih na istoku, a ljeti su na istoku zemlje često temperature zraka više u odnosu na zapadni dio. Prosječne godišnje temperature zraka na sjeveru se kreću od 5,5 do 7 °C, a na jugu od 11 do 13 °C. Prosječna temperatura zraka u siječnju, koji je ujedno i najhladniji mjesec, iznosi - 3 °C na jugozapadu i - 8 °C na sjeveroistoku zemlje. Srednja temperatura zraka na jugoistoku u najtoplijem mjesecu srpnju iznosi 23 °C, a na sjeverozapadu 18 °C. U zapadnom dijelu zemlje na Karpatima padne 1200 mm oborina tijekom godine, uz obalu Crnog mora najmanja je količina oborina, a u preostalom dijelu zemlje padne između 400 i 600 mm oborina (<https://www.janetpanic.com>).

Od sjeverozapada do jugoistoka Ukrajine u opisanim klimatskim uvjetima mogu se izdvojiti tri osnovne regije: zona pjeskovitih podzoliranih tala, područje izuzetno plodnih černozema te kestenjastih i zaslanjenih tala. Podzoliranim tlima pripada približno petina od ukupnih površina, a zauzimaju sjeverno i sjeverozapadno područje zemlje. Ova podzolirana tla Ukrajine prema svojim značajkama najviše odgovaraju našim lesiviranim tlima, a nalaze se u području postglacijalnih šuma i travnatih stepa. Većina ovih tala može se koristiti u poljoprivrednoj proizvodnji, iako su im potrebne mjere popravka nepovoljne kiselosti i slabije opskrbljenosti hranivima (<https://www.britanica.com>).

Černozemi središnje Ukrajine najplodnija su tla na svijetu, a zauzimaju oko jedne trećine od ukupne površine. Ova tla se prema dubini humusno akumulativnog horizonta mogu podijeliti u tri veće skupine: duboki černozemi bogati humusom dubine od oko 1,5 m u sjevernom dijelu zemlje, srednje duboki černozemi jednako bogati humusom dubine od oko 1 m, smješteni sjevernije i istočnije u odnosu na prethodnu skupinu i na jugu prevladavaju plitki černozemi slabije opskrbljeni humusom. Bonne (2022.) navodi kako černozemi Ukrajine mogu imati dubinu humusno akumulativnog horizonta i do nekoliko metara. Černozemi se javljaju u umjerenom klimatskom pojasu s godišnjom količinom oborina od 450 do 600 mm, koje se javljaju u proljeće i rano ljeto. Zime su snježne i hladne, a ljeta relativno kratka i vruća. U takvim uvjetima odumiru stepske trave i nastaje duboki humusno akumulativni horizont specifične tamno crne boje (<https://www.britanica.com>). Na zaravnima i uzduž sjevernog i zapadnog perimetra dubokih černozema nalaze se siva šumska i podzolirana crna tla, koja zauzimaju preostali dio Ukrajine. Navedena tla vrlo su plodna i visokog proizvodnog potencijala pod uvjetom da raspolažu s dovoljnim količinama vode. U intenzivnom uzgoju, osobito na strmim obroncima, problem predstavlja erozija tla vodom. Najmanji dio zemljišnog pokrova Ukrajine čine kestenjasta tla (kastanozemi) južnih i istočnih dijelova zemlje, a zaslanjena se nalaze na jugu prema Crnom moru (The Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine, 2022.). Kastanozemi su, za razliku od černozema, svijetlije boje, imaju plići humusno akumulativni horizont karakteristične smeđe boje, a javljaju se u aridnim područjima s 200 do 450 mm oborina. Slana tla, kako navodi FAO (2017.), predstavljaju osobiti problem na području euroazijske regije i potrebno je, kako ističu njihovi stručnjaci, uvoditi napredne tehnologije upravljanja ovim tlima, ali i spriječiti njihovo zaslanjivanje. Proizvodni potencijal tala Ukrajine, kako iz izloženoga proizlazi, je ogroman, a danas su ova tla „ranjena“ ratnim zbivanjima. Slike 1. i 2. prikazuju plodne ukrajinske černozeme i kastanozeme oštećene ratnim operacijama.

U Hrvatskoj Vidaček i sur. (2004.) procjenjuju kako su vojne operacije tijekom domovinskog rata od 1991. do 1995. prouzročile raznovrsna oštećenja poljoprivrednog, šumskog i urbanog zemljišta. Slično kao i u Ukrajini činjena su namjerna razaranja civilnih i industrijskih objekata te devastacija nacionalnih

parkova i parkova prirode kako bi se učinile gospodarske i ekološke štete. Autori navode kako u hrvatskim tlima postoje ogromne količine neregistriranog ratnog, ekološki rizičnog i štetnog otpada. Iskopane su brojne utvrde, rovovi i bunker, a razorni projektili devastirali su i onečistili tlo.



Slika 1. Černozemi Ukrajine  
(Izvor: Slobodna Dalmacija, 4. travnja 2022.)



Slika 2. Kastanozemi Ukrajine  
(Izvor: Index.hr, 4. travnja 2022.)



Slika 3. Slana tla Ukrajine  
(Izvor: <http://www.fao.org/global-soil-partnership>)

U tlima Hrvatske na prostorima gdje su provedene ratne operacije nalaze se neutvrđene količine različitih kemikalija i zaostale vojne tehnike. Utvrđeno je ukupno 4000 km<sup>2</sup> sumnjivih i oštećenih površina minsko eksplozivnim sredstvima, a od toga je, kako navode autori, 600 km<sup>2</sup> pokriveno minskim poljima. Minirano je oko 1200 km šumskih cesta i dio lovišta. Razmjeri šteta učinjenih ratom kod nas su golemi, a one u Ukrajini tek će trebati utvrditi nakon završetka rata.

#### Literatura:

Bonne, K. (2022): Chernozems, the black soils of Ukraine. Gondwanatalks. <https://www.gondwanatalks.com>.

FAO (2017): Training on Soil Salinity in Ukraine. <https://www.fao.org/global-soil-partnership>

Vidaček, Ž., Bogunović, M., Bensa, A. (2004): Aktualno stanje zaštite tla u Hrvatskoj. *Gazaphylacium*, 9 (3/4): 95-107.

\*\*\*Agriculture in Ukraine. The Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine, 2022

\*\*\*<https://www.janetpanic.com>

\*\*\* <https://www.britanica.com>

Dr. sc. Andrija Špoljar

## Klimatske promjene i degradacija tla

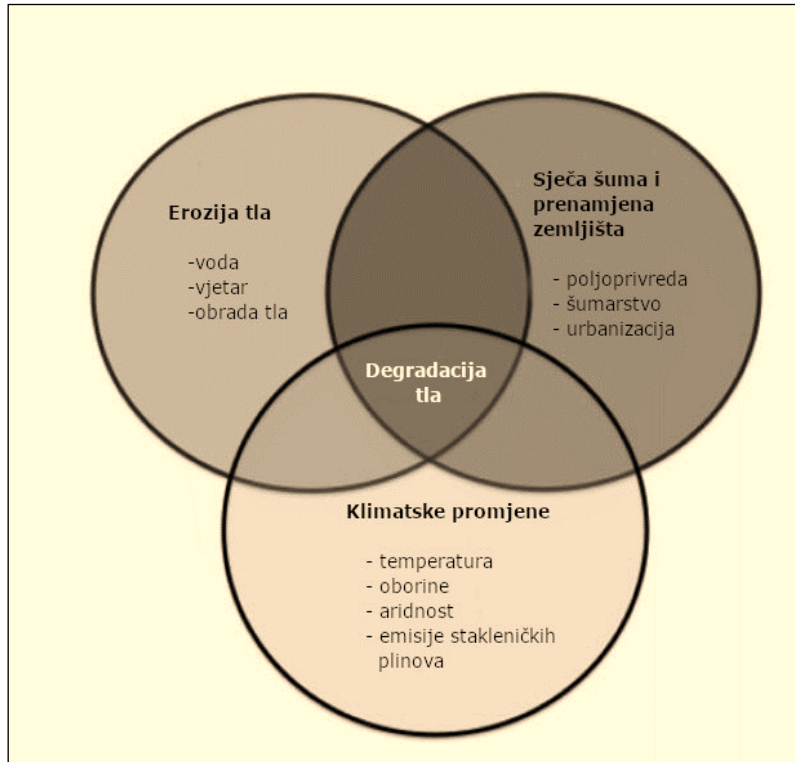
Klimatske promjene velika su prijetnja poljoprivrednoj proizvodnji u mnogim regijama svijeta. Prepoznate su kao jedan od čimbenika koji utječu na značajke tla i održivi razvoj. Izravno ili neizravno pripisuju se ljudskoj aktivnosti koja ubrzava prirodnu klimatsku varijabilnost. Izvješće Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (IPCC, 2021.) pokazuje da je prosječna temperatura Zemljine površine između 2011. i 2020. godine bila viša za 1,1 °C od prosječne temperature krajem 19. stoljeća. Projekcije ukazuju da će globalna temperatura u 21. stoljeću vjerojatno porasti između 1,5 do 2 °C. Sve su češće pojave ekstremnih vrućina i suša a rjeđe velikih hladnoća. Procijenjen je izravan utjecaj globalnog zatopljenja na oborine. Više temperature povećavaju evaporaciju i isparavanje vode čija se sposobnost zadržavanja u atmosferi povećava se za oko 7% za svaki 1°C povećanja temperature<sup>1</sup>. Veća količina vodene pare u atmosferi povećava intenzitet oborina, a ukupne količine se smanjuju. Očekuje se u nadolazećim desetljećima sve učestalija pojava ekstremnih količina oborina koja će uzrokovati poplave i povećanu opasnost od pojave erozije i klizišta.

Klimatske promjene, povećana učestalost ekstremnih vremenskih prilika utječu na fizikalne, kemijske i hidrološke procese u tlu. Nedostatak vlage u tlu postaje sve ozbiljniji problem u vlažnijim područjima zbog lošeg rasporeda oborina. Varijabilnost u količini i intenzitetu oborina utječe na infiltraciju, zadržavanje u tlu i dostupnost biljkama. Veći kapacitet zadržavanja vode u tlu imaju tla s većim sadržajem čestica gline i organske tvari. Organska tvar ima pozitivan učinak na druge značajke tla, kao što su stabilnost strukturnih agregata, kapacitet izmjene kationa, zagrijavanje tla i volumnu gustoću. Povećanje temperature tla potiče mineralizaciju i degradaciju organske tvari te emisiju ugljikovog dioksida u atmosferu. U sušnim područjima sve veća je prijetnja poljoprivrednoj proizvodnji dezertifikacija odnosno nepovratno širenje pustinjskog okoliša u područjima gdje ga nije bilo u bliskoj prošlosti. Procjene u pogledu klimatskih promjena u Mediteranskom području upućuju na sve veću opasnost širenja dezertifikacije<sup>3</sup>. Degradacija tla rezultat je kombiniranih učinaka klime, erozijskih procesa i primijenjenih praksi korištenja tla<sup>2</sup> (Slika 1).

Gubitak plodnog tla zbog različitih oblika degradacije podrazumijeva manju sigurnost i mogućnost u proizvodnji hrane. Degradirana tla slabije su plodnosti i manje su pogodna za poljoprivrednu proizvodnju. Poljoprivreda se suočava s velikim izazovom kako zadovoljiti sve veću potražnju za hranom, a pritom ograničiti degradaciju tla, onečišćenje zraka i vode, uz prilagodbu klimatskim promjenama. Održive poljoprivredne prakse nužne su za ublažavanje degradacijskih procesa i klimatskih promjena. One mogu uključivati smanjenu obradu tla, korištenje pokrovnih usjeva, povećanje organske tvari, održavanje strukture tla, smanjenje erozije, selekciju sorti usjeva otpornijih na sušu, povećanje bioraznolikosti tla i uvođenje u plodored usjeva koje vežu dušik kako bi se smanjio unos gnojiva.

Zbog klimatskih promjena i degradacije tla očekuje se smanjenje prinosa uzgajanih usjeva što bi moglo rezultirati povećanjem cijene hrane. Globalno zatopljenje utjecat će na vlažnost tla i razinu podzemnih voda. Prinos usjeva ograničen je klimatskim uvjetima, dostupnošću vode tijekom vegetacije, sortama, površinama i degradacijom tla. Porast temperature, ekstremne količine i raspored oborina, smanjiti će u budućnosti dostupnost vode biljkama. Ako se prošire navodnjavane površine, povećat će se ukupni prinos usjeva, međutim, kvaliteta hrane i okoliša može se pogoršati. S klimatskim promjenama

promijenit će se evaporacija i transpiracija biljaka, stoga bi se mogla smanjiti učinkovitost korištenja vode.



*Slika 1. Interakcija dezertifikacije i suše s erozijom tla, krčenjem šuma, prenamjenom zemljišta i klimatskim promjenama*

Literatura:

1. <sup>1</sup>Kevin E. Trenberth (2011.). Changes in precipitation with climate change. *Climate research*, 47: 123–138.
2. <sup>2</sup>Lal, R. (2012.). Climate Change and Soil Degradation Mitigation by Sustainable Management of Soils and Other Natural Resources. *Agric Res*, 1/3:199–212.
3. <sup>3</sup><http://www.desire-his.eu/en/assessment-with-indicators/related-sitesthematicmenu-277/204-desertifi>

Dr. sc. Ivka Kvaternjak



## Značajke Stagnosola

Stagnosoli su u Svjetskoj referentnoj bazi tala (*World Reference Base for Soil Resources*) referentna grupa tla (RGT) s izraženom mramorizacijom (Slika 1.), kao posljedicom redukcijskih procesa zbog zadržavanja površinske vode, najčešće oborinske.

Naziv *Stagnosols* potječe od latinske riječi *stagnare*, koja asocira na poplavljeno tlo. U većini nacionalnih klasifikacija uobičajen naziv je pseudoglej. Stagnosoli u svijetu zauzimaju oko 150 – 200 milijuna ha, a u Hrvatskoj oko 600 000 ha, od čega se u poljoprivrednoj proizvodnji koristi oko 55%.

Tlo nastaje u područjima s preko 650 mm oborina godišnje na nizinskim terasama i valovitim reljefnim oblicima blagih nagiba. Geološka podloga su duboki rastresiti sedimenti eolskog, fluvijalnog ili koluvijalnog porijekla s prirodnim pokrovom hrastovo-grabovih šuma.



Slika 1. Stagnosol

U Stagnosolima se ispod relativno propusnog površinskog sloja na dubini od 25 cm ili više pojavljuje horizont nepropustan za vodu. Njegov nastanak posljedica je prirodnih procesa ispiranja gline, humusa i seskvi oksida (eluvijacija) oborinskom vodom te nakupljanja istih u dubljim slojevima (iluvijacija).

U vodnom režimu Stagnosola mogu se razlikovati mokra, vlažna i suha faza. U mokroj fazi tlo je zasićeno vodom u zimsko-proljetnom periodu. Odvijaju se redukcijski procesi pa reducirani  $Fe^{2+}$  i  $Mn^{2+}$  spojevi postaju pokretljiviji te migriraju u dublje dijelove profila.

U vlažnoj fazi vlažnost tla je povoljnija i kreće se između poljskog vodnog kapaciteta i točke uvenuća.

U trećoj, suhoj fazi javlja se nedostatak biljkama raspoložive vode. Uslijed oksidacije reducirane forme željeza i mangana prelaze u oksidirane te se talože u vidu konkrecija tamnosmeđe do crne boje (Slika 1.).

U Stagnosolu uslijed "stagnic" svojstava nije izražena oštra podjela na oksidacijski i redukcijski horizont već nastaje specifični horizont mramoriranog izgleda kao

posljedica naizmjeničnog smjenjivanja mokre i suhe faze.

Tekstura u površinskom horizontu je praškasta ilovača s više od 40% praha, a u iluvijalnom glinasta ilovača. Zbog slabo izražene strukture i puno praha površinski sloj se vrlo često u mokroj fazi pretvara u kašastu masu, koja isušivanjem postaje tvrda i vrlo kompaktna. Najbolji vodno zračni odnosi su u površinskom horizontu, a iluvijalni je praktično nepropustan za vodu s niskim kapacitetom za zrak (3 - 6%).

Sadržaj humusa je 1 - 3% i naglo opada s dubinom. Ukupnog dušika ima malo (~ 0,1%) jer su procesi fiksacije dušika, amonifikacije i nitrifikacije vrlo slabi, a i znatne količine nitrata gube se iz tla denitrifikacijom. C/N odnos je 10 - 15. Reakcija tla je slabo do umjereno kisela ( $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) = 5 - 6$ ). KIK je nizak u površinskom sloju ( $10 - 20 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) dok u iluvijalnom zbog povišenog sadržaja gline može biti i do  $30 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ . Zasićenost bazama je ispod 50% što takva tla čini lošim izborom za uzgoj pojedinih usjeva, npr. šećerne repe, lucerne itd. Stagnosoli su siromašni fosforom jer slobodni fosfati grade aluminijske i željezove fosfate zato što je humat efekt slabo izražen (nizak sadržaj, uglavnom kiselog humusa slabog kelatizirajućeg potencijala). Opskrbljenost kalijem ( $\text{AL-K}_2\text{O}$ ) je različita, često ispod  $10 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$  tla.

Proizvodna sposobnost neuređenih Stagnogleja je niska zbog ograničenja, od kojih su najvažnija:

- stagniranje oborinske vode,
- nestabilna struktura s puno praha u površinskim i eluvijalnim horizontima
- koherentna struktura iluvijalnog horizonta,
- slabo propustan i jako zbijen iluvijalni horizont,
- kisela reakcija,
- vrlo slaba biološka aktivnost.

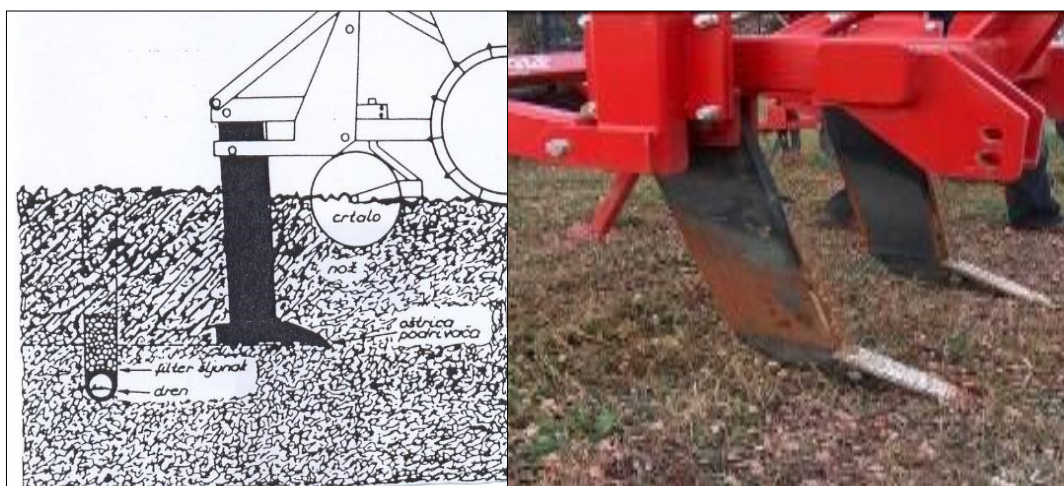
Obično se kao takvi koriste u ratarskoj proizvodnji, ali daju vrlo promjenjive prinose, koji uvelike ovise o količini i rasporedu oborina te primijenjenoj agrotehnici. Međutim, u intenzivnoj proizvodnji, naročito voćarstvu i vinogradarstvu, uz melioracijsku gnojidbu i druge popravke pred zasnivanje nasada, pseudogleji mogu imati zadovoljavajuću do visoku produktivnost.

Prof. dr. sc. Vesna Vukadinović

## "Gleysoli" – značajke, mjere popravka

Kako su "gleysoli" tla s visokom razinom podzemne vode i često nepovoljnim fizikalnim, kemijskim i biološkim značajkama, potrebno je, s ciljem njihovog privođenja kulturi, provesti odgovarajuće hidro i agromelioracijske mjere uređenja. Jedan manji dio ovih tala u istočnom dijelu naše zemlje, u dolinama velikih rijeka, izložen je povremeno poplavnim vodama. Ova tla imaju dubok humusno akumulativni horizont specifične tamne boje čija se tvorba odvija u mokrom i suhom razdoblju. Zbog toga su procesi razgradnje organske tvari suzdržani pa nastaje barski humus kojeg može biti od 3 do 6%, a kod onih jedinica koje imaju veći sadržaj gline i do 8%. Kod njih pH vrijednost tla ovisi o nazočnosti karbonata u površinskom dijelu profila. Nekarbonatne jedinice imaju pH vrijednost izmjerenu u vodi između 6 i 7, karbonatne od 7 do 8,5, a alkalizirane više od 8,5. Kapacitet za adsorpciju kationa iznosi od 30 do 40 mmol ekv., a stupanj zasićenosti koloidnog kompleksa tla bazama je visok. Većinom su ova tla težeg mehaničkog sastava, odnosno s većim udjelom minerala gline smektitnog tipa. Tla ovih značajki, prema važećoj klasifikaciji tala Hrvatske, nazivaju se ritske crnice ili humogleji (Husnjak, 2014.; Špoljar, 2015.). Iz navedenoga proizlazi kako ta tla imaju nepovoljne fizikalne značajke, a kemijske su uglavnom povoljnije. S ciljem postizanja stabilnih i održivih prinosa poljoprivrednih kultura njih je potrebno popraviti melioracijskim mjerama uređenja.

U melioracijskoj praksi tla ovih značajki potrebno je obraniti od poplavnih i podzemnih voda izgradnjom nasipa i primjenom kombinirane odvodnje. Kombinirana odvodnja se provodi kod teških tala s hidrauličkom provodljivošću manjom od 16 cm/dan, a obuhvaća: spuštanje razine podzemne vode izgradnjom kanalske mreže i drenaže, primjenu dodatnih mjera, ugradnju filter materijala i kemijske melioracije. Kako ne bi došlo do zamuljenja drenskih cijevi, preporuča ih se zaštititi mehaničkim filtrom, a nužno je omogućiti i bolje procjeđivanje vode ugradnjom hidrauličkog filter materijala u drenski rov. Osim ovih mjera odvodnje također se, ovisno o sadržaju minerala gline smektitnog tipa, preporuča i provođenje dodatnih mjera. Ako je sadržaj ovog tipa gline veći od 35% trebalo bi provesti krtičenje plugovima krtičnjacima, što se najčešće izvodi koso na izvedenu drenažu. Ovako izvedena bez cijevna bušotina omogućit će dovođenje vode do drenskog rova i dalje u kanale četvrtoga reda. Kod sadržaja gline manjeg od 35% može se preporučiti izvođenje podrivanja. Podrivačima će se razbiti slabo propusni horizont i omogućit će se bolja perkolacija vode do drenskih cijevi (Slika 1).



Slika 1. Shema podrivača i slika radnih tijela podrivača (Šimunić i Špoljar, 2007.)



U praksi se ova mjera najčešće provodi pod nekim kutom u odnosu na postavljene drenske cijevi. Najbolji učinak podrivanja postiže se ako se ono provodi kod granice krutosti, kada je tlo dovoljno prosušeno. Kako većina ovih tala ima povoljne kemijske značajke, kemijske mjere uređenja neće biti potrebne, osim kod nekarbonatnih jedinica gdje se preporuča korekcija pH vrijednosti izvođenjem kalcifikacije. Budući da su ova tla pretežno dobre opskrbljenosti fiziološki aktivnim fosforom i kalijem, melioracijsku gnojidbu s povećanim količinama ovih gnojiva nije potrebno provoditi.

Najveće površine "gleysola" nalaze se u dolinama rijeka i potoka u nizinskom području kontinentalne Hrvatske. Ta tla su povremeno izložena visokoj razini podzemnih voda, koje ograničavaju biljnu proizvodnju. U važećoj klasifikaciji tala Hrvatske ona pripadaju razredu hipoglejnih tala, a na razini tipa tla također se nazivaju hipoglejima. Njihove fizikalne, kemijske i biološke značajke su vrlo raznolike. Najveći dio ovih tala je slabo kisele do kisele reakcije, a sadržaj fiziološki aktivnog fosfora i kalija je u granicama osrednje opskrbljenosti. Sadržaj humusa varira od svega nekoliko postotaka pa do 30%. Ova tla se pojavljuju na pjeskovitim, ilovastim i glinastim matičnim supstratima pa je njihova tekstura vrlo raznolika, praškasto ilovasta do glinasto ilovasta. Struktura u humusno akumulativnom horizontu je mrvičasta do graškasta, a u dubljim horizontima najčešće je slabije izražena (Špoljar, 2015.).

Tla ovih značajki zahtijevaju hidro i agromelioracijske mjere uređenja. Preporuča se izgraditi kanalsku mrežu i položiti drenske cijevi kako bi se odstranile sufitne podzemne vode. Za uzgoj ratarskih kultura drenovi se postavljaju na dubinu od 80 do 110 cm, a najčešće nisu potrebne dodatne mjere uređenja. Kako tlo ima manje od 30% gline, može se preporučiti izvođenje podrivanja, a ako je njen sadržaj manji od 17%, tada se ova mjera ne provodi (Petošić, 2015.). Kemijske melioracije zahtijevaju nekarbonatne jedinice s manjim pH vrijednostima. Kod njih se preporuča provođenje kalcifikacije kojom će se popraviti nepovoljna pH vrijednost tla, što će se povoljno odraziti na pristupačnost hraniva, poglavito nepristupačnog fosfora u kiselim tlima. Provedena kalcifikacija povoljno će utjecati i na primanje mikroelemenata, koji se u kiselim tlima pojavljuju u toksičnim koncentracijama, pri čemu je izuzetak molibden. Kako provođenje ove mjere ima pozitivan utjecaj i na strukturu tla, nakon njenog provođenja očekuje se popravljavanje gotovo svih fizikalnih značajki tla. Podizanjem pH vrijednosti tla povećat će se i mikrobiološka aktivnost tla. Osim provođenja kalcifikacije, kod slabije opskrbljenosti tla fiziološki aktivnim fosforom i kalijem preporuča se provođenje melioracijske gnojidbe ovim hranivima.

Melioracijama uređeni "gleysoli" imaju visok proizvodni potencijal, a nakon njihovog privođenja kulturi ovim tlima treba gospodariti na održiv način. Pri tome se preporuča primjenjivati metode konzervacijske poljoprivrede, koja obuhvaća reduciranu obradu, uzgoj kultura u plodoredu i stalnu pokrivenost tla.

#### Literatura:

1. Husnjak, S. (2014): Sistematika tala Hrvatske. Udžbenik, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 373. str.
2. Petošić, D. (2015): Drenaža. Udžbenik, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, 217 str.
3. Špoljar, A. (2015): Pedologija. Udžbenik, Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, Križevci, 223 str.

Dr. sc. Andrija Špoljar

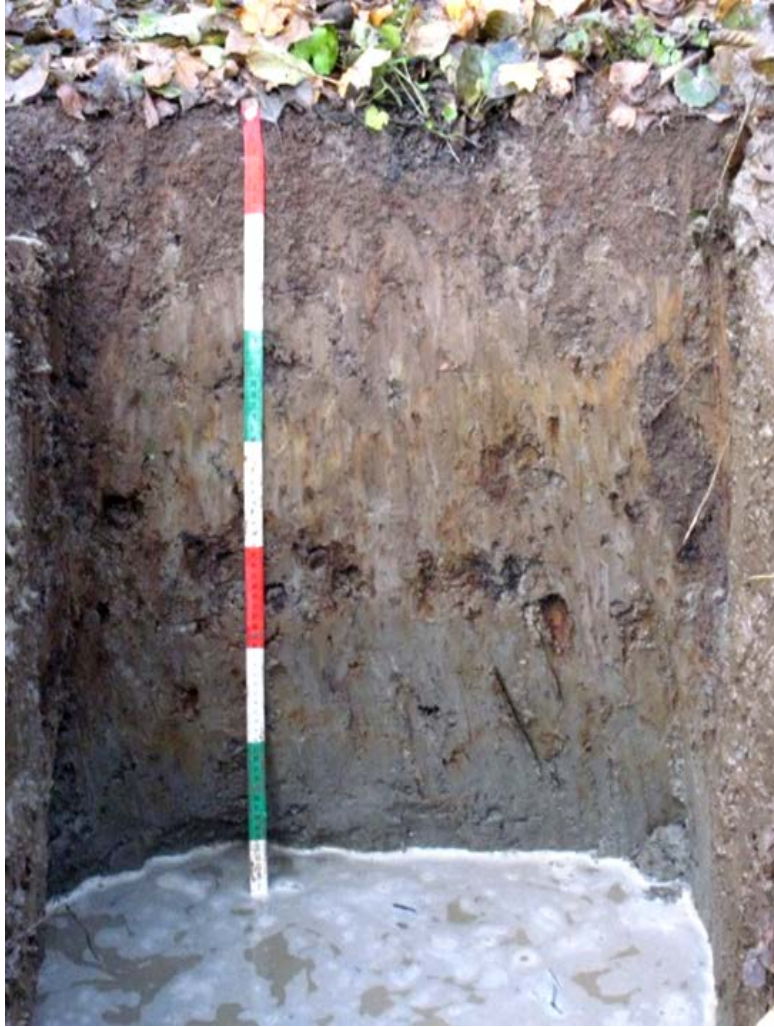
## "Gleysoli": rasprostranjenost, nastanak tla, značajke, proizvodni potencijal

"Gleysoli" su prema WRB klasifikaciji referentna skupina tala koja su prekomjerno zasićena podzemnom vodom unutar 50 cm dubine s karakterističnim hrđastim mazotinama i konkrecijama u kombinaciji sa sivkastim i plavkastim zonama nastalim uslijed naizmjeničnih oksidacijskih i redukcijskih procesa. U nacionalnim klasifikacijskim sustavima dolaze pod različitim nazivima. U ruskoj klasifikaciji tala nazivaju se "Glezyems" i "livadska" tla, a u američkoj ih raspoznajemo kao "Inceptisols" i "Mollisols". U Njemačkoj nacionalnoj klasifikaciji tala nazivaju se podvodnim (engl. "groundwater soils") i hidromorfnim tlima (FAO, 2014.). Prema našoj nacionalnoj klasifikaciji ova tla pripadaju redu hidromorfnih tala s podzemnom vodom koja se pojavljuje unutar 75 cm dubine, odnosno to je razred hipoglejnih tala, a na razini tipa također se razvrstavaju kao hipogleji (Husnjak, 2014; Špoljar, 2015.). U gleysole se mogu ubrojiti i ritske crnice (humogleji) iz važeće klasifikacije tala Hrvatske. Dakako da bi se tu mogle izdvojiti i one jedinice tla kod kojih je dominantno prisutan hipoglejni način vlaženja.

"Gleysoli" su azonalna tla i javljaju se širom svijeta od aridnih do perhumidnih klimatskih prilika. U svijetu zauzimaju oko 720 milijuna hektara, a u Hrvatskoj oko 370 000 ha. Ranije su u ovu skupinu tala prema FAO klasifikaciji tala iz 1998. ubrajana sva močvarno-glejna tla, a njihova ukupna površina prema podacima koje iznosi Husnjak (2014.), iznosi 560 338 ha. Najveće površine u svijetu su u subarktičkom području sjeverne Rusije, Sibira, Kanade i Aljaske te u vlažnim umjerenim i subtropskim područjima, na primjer u Kini i Bangladešu (FAO, 2014.). U Hrvatskoj se ova tla mogu pojaviti od istoka pa do zapada na zaravnjenim reljefnim formama i u depresijama s visokom razinom podzemne vode, a u istočnom dijelu naše zemlje u dolinama velikih rijeka izloženih poplavama. Matični supstrati na kojima nastaju ova tla su stariji fluvijalni nanosi, pretaloženi prapor i eolski pijesci. Prirodnu vegetaciju čine hidrofilne i mezofilne travne biljne zajednice, topole i vrbe te hrast lužnjak. Iz izloženoga proizlazi kako se ova tla mogu pojaviti širom Hrvatske, odnosno tamo gdje postoje navedeni uvjeti. Najveće površine izdvojene su u kontinentalnoj Hrvatskoj u dolinama naših velikih rijeka, ali i manjih rijeka i potoka, odnosno njihovih užih riječnih i potočnih dolina.

Nastanak "gleysola", kako je već ranije istaknuto, u svezi je s visokom razinom podzemne vode koja se pojavljuje unutar 50 cm dubine tla u nekom dijelu ili tijekom čitave godine. Niski redoks potencijal kojem je uzrok sufitna voda, uzrokuje redukcijske procese, pri čemu više valentni spojevi željeza i mangana prelaze u niže valentne i postaju pokretni. Zbog toga, stalno zasićeni dijelovi profila vodom imaju sivkaste ili plavkaste do zelenkaste boje. Spojevi željeza su pokretni i isprani, a prema Munssellovom atlasu boja crvene je manje od 2.5 Y. Redukcija oksida željeza i mangana u dvovalentne dogodit će se samo ako je tlo povremeno zasićeno vodom koja sadrži produkte otopljene i razgrađene organske tvari. Sekundarno se može dogoditi oksidacija dvovalentnih spojeva željeza i mangana u više valentne, uz prisustvo kisika u pukotinama tla i u pukotinama uzduž korijena biljke gdje je nazočan kisik. Iz navedenog proizlazi kako je sklop pedološkog profila gleysola A-(Bg)-Cr ili H-(Bg)-Cr. Slika 1. prikazuje molični "gleysol" sa sklopom profila: A-(Bg)-Cr. Preliminarnim istraživanjem na pokusnoj površini predviđenoj za izvođenje pokusa u Križevcima utvrđeno je da tlo ima značajke oglejavanja unutar 50 cm dubine i molični dijagnostički horizont. Isto tako, tlo nema značajnije promjene teksture unutar 100 cm od površine. Temeljem navedenoga, prema WRB referentnoj osnovici za tlo, ovo tlo se može razvrstati u molične "gleysole" (FAO, 2014.). Na proizvodnim površinama Visokog gospodarskog učilišta u Križevcima "gleysoli" zauzimaju oko 20 ha i pojavljuju se na najnižim reljefnim formama.





*Slika 1. Molični "gleysol" (Đurđevac, 2007.)*

Fizikalne i kemijske značajke ovih tala vrlo su raznolike, a glavni ograničavajući čimbenik u biljnoj proizvodnji je suficitna podzemna voda, koja se u dijelu godine može podići i do same površine. Ova tla, uz suvišnu podzemnu vodu, mogu biti izložena i poplavnim vodama pa se preporuča izvođenje hidro i agromelioracijskih mjera uređenja. Nakon provedenih melioracijskih mjera "gleysoli" mogu imati visok proizvodni potencijal.

Literatura:

1. FAO (2014): World reference base for soil resources. World soil resources reports, No 106, Rome.
2. Husnjak, S. (2014): Sistematika tala Hrvatske. Udžbenik, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 373. str.
3. Špoljar, A. (2015): Pedologija. Udžbenik, Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, Križevci, 223 str.

Dr. sc. Andrija Špoljar

## Kvarenje strukture tla – antropogeno zbijanje, pokorica

Mehanički elementi nakupljeni u strukturne agregate i njihov odnos s porama nazivaju se strukturom tla. Sa stanovišta biljne proizvodnje najpovoljnija je mrvičasta do graškasta struktura s agregatima veličine od 0,5 do 10,0 mm. Takva tla imaju najpovoljniji odnos vode i zraka, što povoljno utječe na primanje hraniva i vode te na toplinske značajke. U tlima stabilne mrvičaste do graškaste strukture velika je i biološka aktivnost, a korijenov sustav biljaka dobro se razvija. Takvo se tlo lagano obrađuje, manji su gubici vode i veća je otpornost prema eroziji. Nestabilna struktura djeluje suprotno. Nepravovremenom obradom, gaženjem tla teškim strojevima, učestalim prohodima kroz proizvodnu površinu, prevelikim obrocima navodnjavanja i nepravilnom gnojidbom kvari se struktura. Nepravovremena i intenzivna obrada uzroci su antropogenog zbijanja te se tako kvare vodozračni, toplinski i hranidbeni odnosi u tlu.

Zbijanje tla dovodi do pogoršanja većine fizikalnih značajki tla poput strukture i upijanja vode u tlo, a smanjuje se i njegova propusnost za vodu. Time se pospješuju procesi hidromorfizma i nastaje hidromorfni humus slabije kvalitete. Zbijanjem tla ubrzavaju se procesi erozije i stvara se pokorica. Kvarenju strukture doprinosi i smanjena količina organske tvari u tlu. Špoljar (2019.) navodi kako u tlima u kojima prevladavaju čestice praha i gline s malo organske tvari postoje uvjeti za nastanak pokorice. To je tanki zbijeni sloj od nekoliko milimetara do nekoliko centimetara koji ograničava disanje tla i može oštetiti tek niknule biljke, Slika 1. Poželjnu mrvičastu strukturu s povoljnim vodozračnim, toplinskim i hranidbenim odnosima prikazuje Slika 2.



Slika 1. Pokorica tla

Izvor: <https://www.fieldcropnews.com>



Slika 2. Mrvičasta struktura tla

Izvor: <https://www.eco-gem.com>

Kišne kapi uzrok su raspadanja strukturnih agregata, a nakon toga dolazi do disperzije čestica tla i zatvaranja pora tzv. brtvljenja tla. Ovako nastala kora na površini tla višestruko je štetna jer povećava evaporaciju vlage iz tla, smanjuje infiltraciju vode, povećava površinsko otjecanje i eroziju, otežava disanje, nepovoljno utječe na toplinski režim tla i rad mikroorganizama koji razgrađuju organsku tvar. Nastanak pokorice nakon sjetve dovodi do propadanja klice, biljka se ne može razviti i primati hraniva pa, u trenutku kad iscrpi sve rezerve, dolazi do njenog ugibanja. Najpovoljniji uvjeti za stvaranje pokorice tla, kako navodi Shreeja (2022a) su u aridnom i semiaridnom klimatskom području, gdje je

njen nastanak vezan uz udaranje kišnih kapi ili je može prouzročiti navodnjavanje. Može se formirati, kako navodi autor na svim tlima, osim na pijescima.

Posljedice antropogenog zbijanja tla mogu se ublažiti na sljedeći način: pravovremenom obradom i smanjenjem broja prohoda primjenom reducirane obrade, smanjenjem osovinskog pritiska mehanizacije, organskom gnojdbom i kombiniranom organskom i mineralnom gnojdbom, uzgojem usjeva u plodoredu u kojem su zastupljene leguminoze i djetelinsko travne smjese, malčiranjem i upotrebom kondicionera (strukturoformatora). Problem zbijenosti tla može se riješiti na zadovoljavajući način provođenjem podrivanja na dubinu od 35 do 75 cm. Ovom mjerom dobivaju se dobri rezultati, međutim oni su kratkotrajni. Vrlo učinkovita mjera za rješavanje ovog problema je reducirana obrada tla kod koje se u jednom prohodu mehanizacije obavlja više zahvata obrade. Povećanjem sadržaja organske tvari u tlu poboljšava se struktura, smanjuje se volumna gustoća i povećava poroznost. Organska tvar smanjuje zbijanje i konsolidaciju tla. Također treba istaknuti kako su nekalcificirana tla sklonija stvaranju pokorice u odnosu na kalcificirana.

Shreeja (2022b) navodi kako malčevi štite tlo od nepovoljnog utjecaja kišnih kapi i minimiziraju stvaranje pokorice. Povećanje sadržaja organske tvari u tlu ima povoljan utjecaj na stvaranje stabilnih strukturnih agregata i na taj se način umanjuje njihova disperzija. Autor preporuča upotrebu umjetnih sredstava za kondicioniranje tla poput hidroliziranog poliakrilo-nitrila (HPAN), kopolimera vinil acetata maleinske kiseline (VAMA) i neionskog kondicionera polivinil alkohola (PVA). U alkalnim tlima smanjenje postotnog udjela natrija u adsorpcijskom kompleksu, kako ističe autor, upotrebom piritita ili gipsa umanjit će stvaranje pokorice.

Špoljar (2019.) navodi kako postoje tri učinkovite metode rješavanja problema kojima je uzrok pokorica: uzgoj usjeva u plodoredu, konzervacijski sustavi uzgoja poljoprivrednih kultura te reducirana i izostavljena obrada tla. Ove se metode mogu koristiti zasebno ili u kombinaciji. Izmjenom proizvodnih površina pri uzgoju kultura u plodoredu smanjuje se rizik od stvaranja pokorice i disperzije strukturnih agregata. Konzervacijski sustavi uzgoja poljoprivrednih kultura poput malčiranja ili reducirane obrade učinkovito umanjuju stvaranje pokorice. Problem pokorice može se riješiti na zadovoljavajući način organskom gnojdbom i dopunskom obradom, na primjer provođenjem blanjanja i drljanja. Na kraju treba još jednom istaknuti kako su tla s manjim sadržajem čestica praha i gline i većim sadržajem organske tvari manje sklona stvaranju pokorice.

#### Literatura:

1. Špoljar, A. (2019): Konzervacija i remedijacija tla. Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, udžbenik, 209. str., Križevci
2. Shreeja, D. (2022a): Soil Crust: Formation, Kinds and Control. Soil Management, <https://www.soilmanagementindia.com>.
3. Shreeja, D. (2022b): Important Physical Constraints of Soil. Soil Management, <https://www.soilmanagementindia.com>.
4. \*\*\* <https://www.fieldcropnews.com>
5. \*\*\* <https://www.eco-gem.com>

Dr. sc. Andrija Špoljar



## Struktura tla

Struktura tla vrlo je važna značajka, koja utječe na mnoge procese u tlu. Čine ju nakupine mehaničkih elemenata u strukturne agregate. Strukturni agregati razlikuju se po sastavu, obliku, veličini i stabilnosti. Veličina i kontinuitet pora u tlu koje okružuju agregate utječe na sadržaj zraka, zadržavanje i kretanje vode, prodiranje korijenovog sustava, mikrobiološku aktivnost, pristupačnost hraniva i osjetljivost tla na eroziju. Tla dobre strukture imaju povoljan omjer pora koje omogućuju procjeđivanje vode, slobodno kretanje zraka i neograničeni razvoj korijenovog sustava. Za poljoprivrednu proizvodnju najpovoljnija je mrvičasta do graškasta struktura tla. Optimalna veličina strukturnih agregata i njihova stabilnost predstavlja dobre uvjete u tlu za rast biljaka i održavanje plodnosti tla.

U konvencionalnoj poljoprivrednoj proizvodnji, neodgovarajuće mjere gospodarenja, uzak plodored, intenzivna obrada, gnojidba samo mineralnim gnojivima, mogu pogoršati strukturu tla, a time i povoljne uvjete za rast usjeva. Raspodjela, veličina i stabilnost strukturnih agregata može se utvrditi analizama tla u laboratoriju. Međutim, strukturu tla je moguće vrlo jednostavno vizualno procijeniti u polju.

Za procjenu veličine i oblika strukturnih agregata u polju postoji više sličnih metoda. Mueller i sur. 2009. utvrđuju da su rezultati vizualne procjene strukture većine metoda vrlo slični a utvrđene razlike u procjeni, u značajnoj su korelaciji s drugim fizikalnim značajkama i prinosom usjeva. Shepherd 2009. opisuje metodu vizualne procjene strukture tla u polju. Prema autoru uzima se površinski sloj tla. Tlo se najviše tri puta spušta s visine od cca 1 m na tvrdi plastični podlogu veličine 50 x 70 cm. Ako se tlo raspadne na male strukturne jedinice nakon prvog ili drugog ispuštanja, ne treba se postupak ponavljati treći puta. Pjeskovito ilovasto tlo spušta se samo jedanput s visine 50 cm. Raspadnuti agregati sortiraju se po veličini od najmanjih do najvećih, a struktura se procjenjuje prema udjelu pojedinih agregata u masi tla (slika 1).



Dobra struktura

Srednja struktura

Bestrukturno tlo

Slika 1. Ispitivanje raspodjele agregata u tlu (Izvor: Shepherd, 2009.)

U tlu dobre strukture dominantni su mrvičasti agregati (oko 90%), a u bez strukturnim tlima prevladavaju čvrsti, uglati agregati, većih dimenzija s vrlo malo ili bez pora. U tlima srednje strukture podjednaka je zastupljenost mrvičastih i čvrstih agregata većih dimenzija. Važno je napomenuti da uz oblik i veličinu strukturnih agregata važna je njihova stabilnost. Tla dobre strukture imaju stabilne strukturne agregate, manje su osjetljiva na pojavu eroziju imaju poboljšanu infiltraciju vode i manje su sklona stvaranju pokorice što doprinosi boljem nicanju biljaka.

Strukturni se agregati mogu povremeno formirati i degradirati. U tlima pod prirodnom vegetacijom struktura tla se može mijenjati zbog klimatskih uvjeta, odnosno vlaženja, sušenja, smrzavanja i odmrzavanja. Na obradivim poljoprivrednim površinama poboljšanje ili pogoršanje strukture ovisi i o načina korištenja tla te biljno uzgojnim mjerama gospodarenja. U konvencionalnoj proizvodnji uglavnom se koriste mineralna gnojiva, a veći intenzitet obrade potiče mineralizaciju humusa što može dovesti do male stabilnosti strukturnih agregata.

Stabilnost agregata povećava se sa sadržajem organske tvari u tlu, a može se poboljšati primjenom organske gnojidbe, zelene gnojidbe, zaoravanja žetvenih ostataka i smanjenjem ili izostavljanjem obrade tla.

Promjena strukture tla nema direktni učinak na prinos usjeva, već preko promjena drugih značajki kao što su zadržavanje vlage, aeracija, dostupnost hraniva, mikrobiološka aktivnost, razvoj korijenovog sustava, infiltracija vode itd.

S obzirom na važnost strukture tla u poljoprivrednoj proizvodnji, zaštitu od degradacije, poglavito erozije i stvaranja pokorice, procjena strukture u polju može biti pomoć za donošenje racionalnih odluka o eventualno potrebnim mjerama radi popravka i poboljšanja plodnosti tla i prinosa uzgajanih usjeva.

#### Literatura:

1. Mueller, L., Beu D., Kay, B.D., Hu, C., Li, Y., Schindler, U., Behrendt, A., Graham, T., Shepherd G, Bruce C. Ball, C. (2009.): Visual assessment of soil structure: Evaluation of methodologies on sites in Canada, China and Germany, Part I: Comparing visual methods and linking them with soil physical data and grain yield of cereals. *Soil & Tillage Research* 178-187.
2. Shepherd, G. (2009.) *Visual Soil Assessment, Volume 1. Field guide for pastoral grazing and cropping on flat to rolling country.* 2nd ed. Horizons Regional Council, Palmerston North, 119 p.

Dr. sc. Ivka Kvaternjak



## Značaj analize tla u sprječavanju njegove degradacije – I

Tlo je važan prirodni resurs, nastaje dugotrajnim složenim procesima pedogeneze, a njegove važne funkcije u vrlo kratkom vremenskom razdoblju mogu biti onesposobljene. Degradacija tala u poljoprivrednoj proizvodnji globalni je problem uzrokovan različitim prirodnim i antropogenim čimbenicima. Zbog nepravilnog načina korištenja i gospodarenja tлом dolazi do pogoršanja fizikalnih, kemijskih i bioloških značajki, što ima značajnog utjecaja na agronomsku produktivnost, sigurnost hrane i okoliš.

Degradacijski procesi tala u poljoprivrednoj proizvodnji su gubitak organske tvari, pogoršanje strukture, zbijanje površinskog i podpovršinskog sloja tla, erozija, zaslanjivanje, zakiseljavanje, onečišćenje teškim metalima, smanjenje biološke raznolikosti u tlu te općenito smanjenje plodnosti. Kako navodi Montanarella (2003.), u Hrvatskoj 49,9% tala sadrži 2% i manje od 2% organskog ugljika, a 47,9% više od 2%. Posljedice degradacije tla očituju se kroz smanjenje plodnosti, prinosa uzgajanih usjeva i povećane osjetljivosti na sušu koja je u posljednje vrijeme sve učestalija zbog klimatskih promjena.

Da bi se zadovoljile potrebe za hranom, smanjila antropogena degradacija, neophodno je prepoznati i utvrditi stanje tla u cilju primjene održivih praksi gospodarenja i primjene najboljih rješenja za ublažavanje i sprečavanje trendova njegove degradacije. Ispravne odluke glede sprečavanja i zaustavljanja degradacije te poboljšanja plodnosti mogu se donositi na temelju rezultata analize tla.

Analizom tla dobiju se podaci na temelju kojih se donose odluke za optimalnu primjenu gnojiva, mjera popravka ili očuvanja plodnosti te sprečavanja ili ublažavanja degradacije u cilju ostvarenja održivih prinosa i isplative poljoprivredne proizvodnje.

*Uzimanje uzoraka* prvi je i vrlo odgovoran posao u sklopu analize tla. Način uzorkovanja ovisi o cilju istraživanja. Uzorak tla treba biti reprezentativan za parcelu jer se na temelju rezultata analiza donose odluke za mjere popravka.

*Određivanje pH vrijednosti tla* obuhvaća trenutnu pH vrijednost u H<sub>2</sub>O i izmjenjivu u 1MKCl-u. U tlima kisele reakcije pojavljuje se gubitak bazičnih kationa, povećava zasićenje mobilnim aluminijem što uzrokuje pad prinosa. Kako navodi Goulding (2016.) ozbiljno zakiseljavanje može uzrokovati nepovratno otapanje minerala gline i smanjenje kapaciteta izmjene kationa te pogoršanje strukture tla.

*Hidrolitička kiselost* određuje se tretiranjem tla Na-ili Ca-acetatom (CH<sub>3</sub>COONa) pri čemu dolazi do izmjene vodikovih ion (H<sup>+</sup>) i iona aluminija (Al<sup>3+</sup>) na adsorpcijskom kompleksu tla, izdvaja se octena kiselina (CH<sub>3</sub>COOH) čija se količina utvrđuje titracijom s 0,1 M NaOH. Vrijednosti hidrolitičke kiselosti koriste se za izračunavanje stupnja zasićenosti tla bazama, stupnja zakiseljavanja adsorpcijskog kompleksa i kapaciteta adsorpcije kationa te za određivanje količine materijala za kalcizaciju. Na temelju dobivenih rezultata primjenjuju se optimalne količine materijala za kalcizaciju i sprječava se zakiseljavanje tla koje je također uočeno kao problem degradacije tala u Hrvatskoj (Bašić 2003.).

*Sadržaj humusa i organskog ugljika u tlu* određuje se najčešće mokrim spaljivanjem s kalijevim bikromatom u sumporno kiselom mediju. Humus ima niz pozitivnih učinaka na fizikalne, kemijske i biološke značajke tla pa je njegov sadržaj u tlu od izuzetne važnosti. Doprinosi formiranju stabilnih agregata, strukturi tla, aeraciji, poboljšanju infiltracije i povećanju kapaciteta zadržavanja vode. Budući

da je u Hrvatskoj veliki udio tala siromašan organskim ugljikom neophodna je primjena dobrih praksi kao što su konzervacijska obrada, unošenje žetvenih ostataka i organskih gnojiva te kontrola njegovog sadržaja.

Tla siromašna humusom podložna su zbijanju. Zbijenost tla kao nevidljivi oblik degradacije ograničava razvoj korijenovog sustava, smanjuje infiltraciju a povećava gustoću tla i površinsko otjecanje vode koje može uzorkovati eroziju. Zbijanje tla može se procijeniti vađenjem dijela tla s korijenom biljke. Na zbijenim tlima razvoj korjenovog sustava ograničen je na malu površinu. Razinu zbijenosti tla kvantitativno se određuje mjerenjem otpora tla penetrometrom s metalnom šipkom koja je na vrhu u obliku konusa. Budući da se isušivanjem tla povećava otpor, najtočniji podaci mjerenja se dobiju ako je vlažnost tla prilikom mjerenja u razini retencijskog kapaciteta. Na površini tla od 1 ha potrebno je izvršiti najmanje 20 mjerenja otpora i izračunati prosjek. Za normalan razvoj korijenovog sustava većine poljoprivrednih kultura otpor tla ne bi smio biti veći od 2 MPa (Aase i sur. 2001.). Mjerenje otpora tla daje informaciju o opsegu i dubini zbijenosti tla te pomaže u provođenju mjera ublažavanja ili otklanjanja.

Kontinuirana kontrola, analize tla, mjerenja i opažanja u polju pomažu u donošenju ispravnih zaključaka za primjenu postupaka ublažavanja ili smanja degradacije što će rezultirati povećanjem prinosa uzgajanih usjeva.

#### Literatura:

1. Aase, J., D. Bjorneberg, and R. Sojka. (2001.): Zone-subsoiling relationships to bulk density and cone index on a furrow-irrigated soil. *Transactions of the ASAE*, 44/3: 577–583.
2. Bašić, F. (2003): Land degradation in Croatia, International Workshop, "Land degradation", Ispra, Italy,
3. Goulding, K.W.T. (2016): Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom, *Soil Use and Management*, 32:390–399.
4. Montanarella, L. (2003.): The EU Thematic Strategy on Soil Protection, International Workshop, "Land degradation", Ispra, Italy,

Dr. sc. Ivka Kvaternjak

## Značaj analize tla u sprječavanju njegove degradacije – II

Tlo predstavlja najvažniji neobnovljivi resurs te njegova degradacija ovisi o brojnim interakcijama različitih čimbenika u prostoru i vremenu. Iako je degradacija tla prirodan proces, brzina kojom se trenutno odvija na svim kontinentima uvelike je posljedica negativnog antropogenog djelovanja kao što je intenzivna poljoprivreda, sječa šuma, prekomjerna ispaša, šumski požari te urbanizacija.

U razdoblju od 1950. do 2010. godine usluge ekosustava tla su se globalno smanjile za čak 60%, te je na oko 33% zemljine površine tlo degradirano. Proces koji značajno doprinose njegovoj degradaciji su pojačana erozija, smanjenje količine organskog ugljika i biološke raznolikosti, smanjenje plodnosti i neravnoteža nutrijenata te zakiseljavanje i zaslanjivanje tla. Degradacija tla može biti fizikalna (kod koje se primjerice narušava struktura i poroznost), kemijska (pri čemu dolazi primjerice do zakiseljavanja i zaslanjivanja tla, te njegove kontaminacije), biološka (npr. smanjenje organskog ugljika i biološke raznolikosti) i ekološka (koja ovisi o interakcijama sva tri navedena tipa degradacije, a očituje se u poremećaju kruženja pojedinih elemenata i hidrološkog ciklusa, smanjenju produktivnosti tla...). Proces degradacije vrlo često funkcionira po principu povratne sprege te kada jednom započne, nekontrolirano se ubrzava.

Obzirom da je tlo izuzetno kompleksan sustav, prilikom istraživanja njegove kvalitete, također se treba ispitati i njegova "elastičnost", odnosno sposobnost tla da se samo obnovi i neutralizira degradacijsko djelovanje. Što je tlo "elastičnije", to je veća njegova mogućnost povratka u početno stanje, a najčešće se prikazuje pomoću eko-fiziološkog indeksa.

Kako bi što učinkovitije spriječili degradaciju tla, od izuzetne je važnosti utvrditi njegovu kvalitetu te na temelju dobivenih podataka primijeniti najprikladnije metode za njegovo poboljšavanje. U tu svrhu se već dugi niz godina provode i razvijaju različite metode analize tla, od kojih su najčešće primijenjivane metode za određivanje kemijskog sastava tla (odnosno količine pojedinih elemenata). Još od 40-tih godina prošlog stoljeća, najvažnije je bilo određivanje količine fosfora i kalija, te ostalih nutrijenata poput kalcija, magnezija, bora, sumpora, bakra, željeza, molibdena i cinka, s ciljem što učinkovitije primjene gnojiva. Iako je dušik jedan od ključnih elemenata u tlu važnih za poljoprivrednu proizvodnju, on može biti vrlo mobilan u tlu te se njegova količina ne koristi u rutinskim testovima analize tla.

No, u današnje vrijeme, tradicionalne analize nisu dostatne te se intenzivno istražuju nove metode. Obzirom da je tlo kompleksan matriks, različitog sastava i strukture, o njima će ovisiti i način provođenja testova. Jedna od metoda uključuje određivanje količine neželjenih tvari koje se raspršuju na tlo kao što su teški metali (bakar, cink, arsen, kadmij, nikal, olovo, živa i selen) koji se s vremenom akumuliraju u tlu te mogu dugoročno utjecati na njegovu kvalitetu.

Interpretacija rezultata ispitivanja svojstava tla je od iznimne važnosti te je jedan od najvažnijih koraka u cijelom procesu. Većina rezultata nam ne govori točno koliko je čega dostupno biljkama u tlu, već to ovisi o brojnim čimbenicima. Da bismo mogli pravilno tumačiti dobivene rezultate, bitno je razumijeti cijeli proces; od metoda uzorkovanja tla, pripreme i čuvanja uzoraka, ekstraktanata korištenih za analize (čija primjena ovisi o svojstvima tla, poput pH, količini organske tvari...) kao i svrhe pojedinog testa. Na primjer, analiza istog uzorka primjenom različitih ekstraktanata može pokazati različitu količinu neke tvari, te ukupna količina neke tvari u tlu ne mora nužno značiti i da je to količina koja je dostupna biljkama.

Analiza tla se najčešće koristi u poljoprivredi kako bi se optimizirala primjena različitih sredstava s ciljem povećanja uroda uz najmanje gubitke te radi utvrđivanja stanja u okolišu. Kvaliteta pojedinog tla može se izraziti pomoću brojnih indeksa, ovisno o svojstvima tla koje nas zanimaju. Najvažniji pokazatelj je svakako količina organskog ugljika, a osim toga može se još prikazati i njegova distribucija ovisno o dubini tla. Fizikalni pokazatelji između ostalog uključuju količinu i stabilnost agregiranih čestica tla, podložnost stvaranja kore i nabijenost tla, geometriju pora, sposobnost retencije vode, prozračnost i izmjenu plinova, toplinski kapacitet tla. Od kemijskih pokazatelja važni su pH vrijednost, dostupnost nutrijenata, te prisutnost/odsutnost toksikanata. Od bioloških pokazatelja važna je biomasa mikroorganizama, aktivnost i raznolikost flore i faune tla, odsutstvo patogena i štetnika. Mikrobiološka aktivnost tla može se izraziti pomoću nekoliko indeksa, a ostali važni parametri uključuju respiraciju, enzimatsku aktivnost, aktivnost dehidrogenaze i drugih hidrolaza (npr. ureaza, proteaza, fosfataza i  $\beta$ -glukozidaza). Važno je napomenuti da se indikatori kvalitete tla razlikuju ovisno o vrsti tla, klimi i načinu njegovog korištenja. U posljednje vrijeme primijenjuje se i spektralni indeks kvalitete tla koji nam govori o fizikalnim, kemijskim i biološkim značajkama pojedinog tla, čija zajednička interpretacija pokazuje koliko je tlo funkcionalno za određenu primjenu.

Danas je erozija najvažniji uzročnik degradacije tla, te se najviše pažnje poklanja upravo rješavanju ovog problema koji je svakim danom sve izraženiji. Iako je dijelom neovisna o prisutnosti čovjeka, današnji razmjeri daleko premašuju prirodne procese. Jedan od novih načina istraživanja erozije se temelji na analizama zračnih i satelitskih snimki pomoću multispektralnih i hiperspektralnih kamera koje omogućuju istraživanje većih razmjera. Rezultati ovih istraživanja su pokazali veliku učinkovitost te služe kao osnova za daljnje djelovanje.

Iz svega navedenog se vidi da sprječavanje degradacije tla uvelike ovisi upravo o različitim pristupima i analizi tla jer nam kroz kvantitativne i kvalitativne podatke ukazuje na uzroke degradacije, a samim time nam omogućava i djelovanje u pravom smjeru kako bismo što učinkovitije neutralizirali čimbenike koji su i doveli do narušavanja ravnoteže.

Doc. dr. sc. Olga Jovanović Glavaš

## Laboratorijske procedure od zaprimanja uzoraka do gotovog rezultata

Od trenutka zaprimanja uzoraka tla i/ili biljnog materijala pa sve do konačnog rezultata, potrebno je provesti niz mjera i postupaka koji su propisani određenom metodikom. Svaki uzorak zaprimljen u analitičkom laboratoriju mora proći određenu proceduru pripreme (uvođenje, čišćenje, sušenje, usitnjavanje, homogeniziranje, skladištenje) kako bi se mogla provesti određena analitička metoda u svrhu dobivanja traženih podataka o uzorku. Samo kvalitetna i pravilna priprema uzorka može u konačnici dati točan rezultat.

U analitičkom laboratoriju, nakon zaprimanja uzoraka, provodi se niz različitih vrsta analiza i mjerenja u svrhu dobivanja različitih podataka koji se dalje po potrebi obrađuju. Uobičajeni postupci koji se obavljaju u analitičkom laboratoriju započinju zaprimanjem pravilno uzetih uzoraka tla i/ili biljnog materijala. Svaki uzorak koji je zaprimljen u laboratorij mora se uvesti u bazu uzoraka ("knjiga uzoraka") pod jedinstvenim brojem pod kojim će se voditi tijekom cijelog analitičkog postupka. Baza uzoraka mora sadržavati minimalan set podataka o vrsti uzorka, dubini uzimanja uzorka (ako je riječ o tlu), lokaciji, datumu uzimanja uzorka i vrstama analiza koje je potrebno napraviti u tom uzorku i tek onda može ići na daljnju obradu.

Nakon evidentiranja uzorka u bazi, započinje se sa procesom pripreme uzorka. Proces pripreme uzorka ovisi o tome analizira li se tlo ili biljni materijal. Priprema tla za analizu sastoji se od: čišćenja od primjesa koje su pomiješane sa uzorkom (kamenje, korijenje, zaostali biljni materijali...), sušenja i usitnjavanja/meljave uzorka. Sušenje uzorka obavlja se u specijaliziranim sušionicima s ventilacijom na temperaturi do 50°C oko 24 sata. Uzorak tla također možemo sušiti i na zraku (temperaturi prostorije) ali tada će proces sušenja potrajati duže. Nakon sušenja svaki uzorak ide na meljavu/usitnjavanje u specijaliziranim mlinovima za tlo. Samljeveno tlo se zatim prosijava kroz sita različitih veličina otvora (primjerice promjeri sita 2, 4, 6 mm) i odlaže se u kutije sa pripadajućim brojem uzorka.

Priprema uzorka biljnog materijala sastoji se od čišćenja uzorka od vidljivih nečistoća, sušenja biljnog materijala u sušionicima gdje temperatura sušenja ovisi o vrsti analize koju je potrebno napraviti (različite su temperature sušenja za npr. određivanje elementarnog sastava ili za određivanje enzimske aktivnosti). Nakon što je uzorak potpuno suh, obavlja se usitnjavanje istoga u specijalnim mlinovima. Nakon usitnjavanja uzorak se skladišti ili se direktno prosljeđuje na daljnju analizu.

Ovako pripremljeni uzorci tla i/ili biljnog materijala odlaze u analitički laboratorij na daljnju obradu (analitički dio).

### *Primjeri kemijskih analiza u uzorcima tla*

U uzorcima tla se za potrebe determiniranja kemijskih svojstava tla obavljaju slijedeće analize:

- određivanje pH vrijednosti tla: elektrokemijskim postupkom prema ISO10390 standardu u 1:5 otopini tla u deioniziranoj vodi ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) i 1M KCl-u ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ). Mjerenje se vrši na pH metru koji je prethodno kalibriran odgovarajućim puferima- pH4, pH7 i pH9
- određivanje hidrolitičke kiselosti tla titracijskom metodom: ova analiza se radi ukoliko je pH izmjeren u  $\text{H}_2\text{O}$  < 6.5 i u KCl-u < 5.5
- određivanje sadržaja karbonata u tlu volumetrijskom metodom prema ISO 10693 standardu: ovu analizu radimo onda kada je pH izmjeren u  $\text{H}_2\text{O}$  > 6.5 i u KCl-u > 5.5



- određivanje električnog konduktiviteta tla (EC): elektrokemijskim postupkom prema ISO 11265 standardu
- određivanje oksido-redukcijskog potencijala (Eh): elektrokemijskim postupkom prema ISO 11271 standardu
- određivanje organskog ugljika tla (SOC): analiza se radi mokrim spaljivanjem organske tvari (sulfokloridna oksidacija) prema ISO 14235 standardu
- određivanje sadržaja raspoloživog fosfora i kalija AL metodom koja se temelji na ekstrakciji fosfora i kalija (AL-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i AL-K<sub>2</sub>O) iz tla pufernom otopinom amonijevog laktata
- određivanje koncentracije mikroelemenata u tlu ekstrakcijskom metodom primjene etilen-diamin-tetra octene kiseline (EDTA)
- određivanje kationsko izmjenjivačkog kapaciteta tla (KIK)

#### *Primjeri fizikalnih analiza u uzorcima tla*

U uzorcima tla se za potrebe utvrđivanja fizikalnih svojstava tla obavljaju slijedeće analize:

- određivanje trenutačne vlage tla, retencijskog kapaciteta tla za vodu i volumna gustoća tla: u uzorcima uzetim u fizički neizmijenjenom stanju (Kopecky cilindri)
- određivanje fizikalno-mehaničko-kemijskih analiza u uzorcima tla uzetim u izmijenjenom stanju prema ISO11464 standardu
- određivanje teksture tla metodom prosijavanja i sedimentacije prema ISO 11277 standardu
- određivanje vlažnosti tla u uzorcima u fizički izmijenjenom stanju prema ISO 11465 i fizički neizmijenjenom stanju prema 11461 standardu
- određivanje gustoće čvrste faze tla prema ISO 11508 standardu
- određivanje volumne gustoće tla prema ISO 11272 standardu

#### *Primjeri analiza u uzorcima biljnog materijala*

Kako bi se u uzorcima biljnog materijala utvrdio elementarni sastav potrebno je obaviti mokro spaljivanje (smjesom kiselina) te iz matične otopine daljnjim metodama odrediti potreban elementarni sastav.

- Iz dobivene matične otopine određuje se koncentracija dušika destilacijom po Kjeldahl-u,
- koncentracija fosfora određuje se spektrofotometrijski,
- koncentracija ostalih mikro i makro elemenata određuje se na atomskom apsorpcijskom spektrofotometrijom.

Nakon završetka analize dobiveni gotovi rezultati uzorka tla ili biljnog materijala upisuju se u "knjigu uzoraka" i u bazu podataka. Baze podataka se slažu po grupama uzoraka ovisno o vrstama analiza koje je potrebno napraviti za svaki uzorak.

Larisa Bertić, mag. ing. agr.

## Laboratorijske analize u održivoj poljoprivrednoj proizvodnji

U posljednje vrijeme sve veća pozornost istraživača usmjerena je na održivo intenziviranje poljoprivredne proizvodnje bez štetnog utjecaja na okoliš. Izazov održivosti poljoprivredne proizvodnje zahtijeva rješenja i kompromise između proizvodnje zadovoljavajućih količina hrane, u smislu količine i kvalitete te smanjenog utjecaja na okoliš. Prije sjetve ili sadnje kultura a barem svake četvrte godine, u cilju primjene održivih količina gnojiva, preporuča se odrediti količine osnovnih biogenih makroelemenata u tlu: dušika, fosfora i kalija.

Dušik u tlu je u obliku organskih i anorganskih spojeva. Mineralni dio raspoloživ je za biljke. Vrlo je pokretan u tlu a pokretljivost ovisi najviše o teksturi i sadržaju vode. Optimalna opskrba dušikom važna je kod formiranja prinosa kultura. Rezultat analize ukupnog dušika u tlu pokazatelj je potencijalne mineralizacije i moguće dinamike raspoloživosti a stvarni pokazatelj raspoloživosti je sadržaj nitratnog i amonijskog oblika dušika kojeg ima vrlo malo. Gnojidbu dušikom potrebno je prilagoditi potrebama kulture u određenom stadiju na temelju dobivenih rezultata analize. Nedostatna i preobilna opskrbljenost dušikom dovodi redukcije prinosa. Međutim, u Hrvatskoj je ograničen godišnji unos dušika u tlo na 170 kg/ha radi zaštite pitkih voda od mogućeg onečišćenja nitratima.

Fosfor je neophodan biogeni element. Biljke ga trebaju u većim količinama. Najveće potrebe biljaka za ovim makroelementom su na početku vegetacije i na prijelazu iz vegetativnog u reproduktivni stadij razvoja. Za razliku od dušika slabo je pokretan u tlu. Kod većine tala je 20 do 40% organskog i od 60 do 80% mineralnog oblika fosfora. Vrlo malo fosfora se nalazi u vodenoj fazi tla. Pristupačnost fosfora biljkama najviše ovisi o reakciji tla. Količine biljkama pristupačnog fosfora u tlima čija je pH vrijednost manja od 7,00 određuju se najčešće AL metodom. Na temelju utvrđene količine biljkama pristupačnog fosfora u tlu i potreba kulture za formiranje prinosa određuju se održive količine hraniva i potrebnih gnojiva. Neracionalna gnojidba, unošenje velikih količina fosfata u tlo u obliku mineralnih gnojiva može izazvati probleme u okolišu vezano uz eutrofikaciju površinskih voda. Neke Europske države, npr. Danska i Nizozemska imaju ograničenja unošenja fosfata u tlo slično kao i dušika.

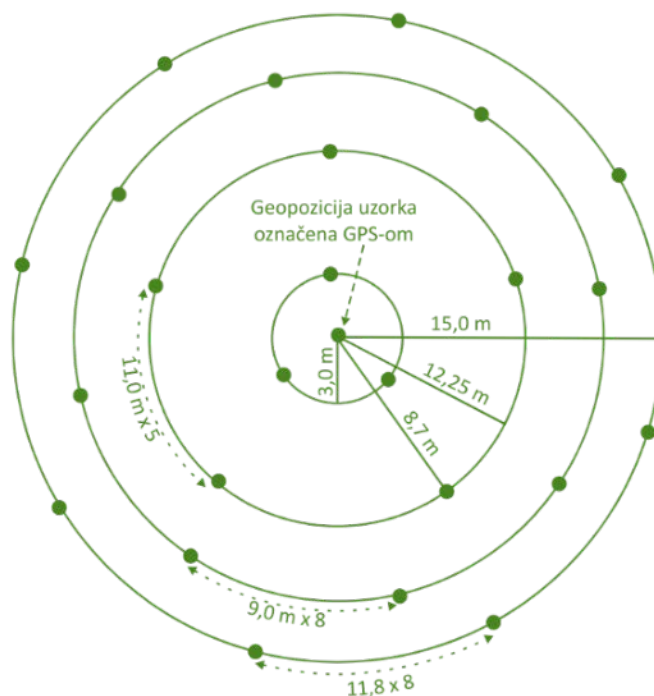
Kalij je biogeni element. Biljke ga trebaju u većim količinama a njegov sadržaj u tlu je u prosjeku između 0,04 i 3% K, a biljkama je pristupačno svega 1-2%. U tlu se nalazi u više oblika, u vodenoj fazi, izmjenjivo vezani i fiksirani kalij. Raspoloživost kalija povezana je sa sadržajem i vrstom glinenih minerala u tlu. Količinu biljkama pristupačnog kalija određuje se analizom na temelju koje se utvrđuju održive količine hraniva za primjenu u gnojidbi.

Zbog sve većih potreba za hranom, onečišćenja okoliša i klimatskih promjena, održivo upravljanje neophodnim makroelementima, dušikom i fosforom mogao bi postati izazov 21. stoljeća.

Dr. sc. Ivka Kvaternjak

## Uzorkovanje pri različitim sustavima obrade tla

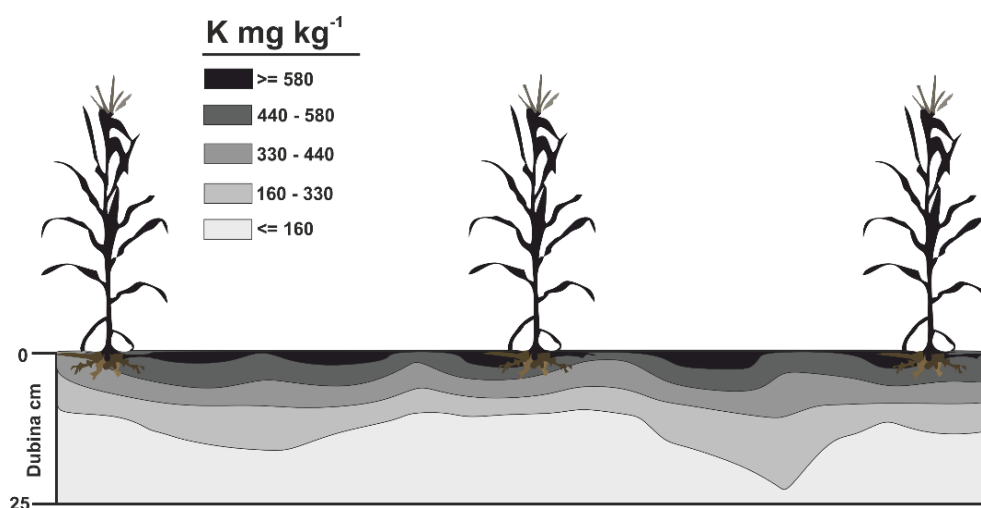
Rezultati kemijske analize presudno ovise o uzorku tla koji bi trebao predstavljati područje s kojeg je izuzet. Greške koje mogu nastati prilikom uzorkovanja tla su velike, a mogu biti i **100%** kada se uzorkuje na krivoj površini te se često kreću oko 20 do 50%. Stoga je neophodno uzorke tla uzeti pravovremeno i to primjenom odgovarajuće metodologije, a zatim provesti analizu temeljem koje će se procijeniti proizvodni potencijal određenog zemljišta. Za provedbu analize potrebna je količina od **0,5 do 1,0 kg** tla, koja predstavlja parcelu na kojoj će se odvijati proizvodnja. Često količina tla predstavlja 5 ha pa je potrebno posvetiti dodatnu pažnju kod uzorkovanja tla kako bi se ono izvelo na pravilan način. **Uzorci tla uzimaju se uvijek nakon žetve ili berbe, a nikada poslije provedene gnojidbe.** Potrebno je izbjegavati vlažne i sušne periode jer tada uzet uzorak neće biti reprezentativan. Nemogućnost prodiranja sonde na zadanu dubinu uzorkovanja u sušnom periodu može imati za posljedicu grešku u rezultatima analize, jer je koncentracija hraniva često viša bliže površini tla. Prije uzorkovanja tla za analizu treba procijeniti homogenost, odnosno heterogenost proizvodne površine, a važnu stavku uzorkovanja tla čine i alati koji moraju imati mogućnost jednostavnog prodiranja na željenu dubinu uzorkovanja tla i obvezno mogućnost izuzimanja uvijek jednakog volumena tla. Najčešće se koriste različite vrste cilindričnih sondi i svrdla, ali za uzimanje uzoraka tla koriste se i štihalice, noževi, lopatice i sličan alat. Dubina uzorkovanja za kontrolu plodnosti tla ovisi o vrsti biljne proizvodnje. Za ratarsku proizvodnju dubina je do **30 cm**, a za specifične analize (primjerice N-min analiza tla) uzorkuje se sve do dubine od **90 cm**. Metoda uzorkovanja na površini također vrlo značajno može utjecati na rezultate analize. Uzorkovanje po zadanoj shemi ("cik-cak", mreža i drugo) najbolje može prikazati nedostatke, odnosno proizvodni potencijal određenog zemljišta. Međutim, često ovaj način nije financijski isplativ zbog čega se uglavnom koristi metoda referentnog uzorka (Slika 1.).



Slika 1. Način izuzimanja referentnog uzorka tla

Ono čemu se ne pridodaje dovoljno pažnje, a značajno utječe na uzorkovanje i buduće analize je način obrade tla. Obrada tla utječe na distribuciju hraniva kroz slojeve te tijekom obrade dolazi do njegovog premještanja i miješanja uz često formiranje slojeva s većom koncentracijom (Slika 2.). Zbog toga se prilikom uzorkovanja mora obratiti pažnja na sustav obrade tla.

**Uporabom pluga u obradi tla** hranjive se tvari ravnomjerno distribuiraju cijelom dubinom oranja. Uzorkovanje tla za kontrolu plodnosti obavlja se agrokemijskom sondom do dubine oranja (najčešće do 30 cm). Prilikom **obrade tla u trake (strip tillage)** može doći do nakupljanja veće količine hraniva u određenim horizontalnim zonama, što je rijetka pojava, jer je pri optimalnoj količini vlage u tlu povećana i distribucija hraniva difuzijom. Uzorci se uzimaju na dubini od 0 do 30 cm izbjegavajući redove (trake) u koje je bilo polagano gnojivo prošle vegetacijske godine. Najviše pažnje treba posvetiti uzimanju uzoraka tla kod sustava minimalne obrade tla. Naprimjer, kod višegodišnje primjene **no-till sustava (izostavljena obrada)** uočena je nepravilna distribucija hraniva, ali i značajne razlike u reakciji tla (ne dolazi do miješanja tla prilikom obrade). Kod takvog sustava obrade za standardnu kemijsku analizu tla uzorci se mogu uzimati do 30 cm dubine, ali uz povećani oprez kako bi se izbjegle zone polaganja sjemena ili gnojiva prethodne vegetacijske godine. Nepravilna distribucija hraniva ne bi trebala značajno utjecati na usvajanje hraniva od strane uzgajanih biljnih vrsta, ali prilikom višegodišnje primjene izostavljene obrade i čestih sušnih razdoblja tijekom godine, mogu se javiti neki od simptoma deficita hraniva. Tada treba obaviti zasebno uzorkovanje tla na dubini 0 do 15 i 15 do 30 cm i izvršiti posebnu/dodatnu analizu (osobito provjeriti koncentraciju kalija i fosfora). Ako se utvrde nedostaci određenog hraniva na uzgajanoj biljnoj vrsti, tada hranivo treba položiti dublje specijaliziranim alatima ili izmiješati tlo (npr. oranjem). Također, dodatno treba obratiti pažnju prilikom provedbe mjere **kalcizacije**. Prilikom uzorkovanja za određivanje reakcije tla treba imati na umu da se kalcij (naravno zavisno od tipa tla) dosta sporo premješta. Zbog toga u kontinuiranom no-till sustavu uzgoja usjeva, gdje je kalcizacijski materijal raspodijeljen po površini, preporuke za količinu kalcizacijskog materijala, treba računati do dubine od 10 cm ili otprilike pola preporučene doze u slučaju da se obrada tla nije uzimala u obzir prilikom izračuna.



Slika 2. Kod višegodišnje primjene no-till sustava uočena je nepravilna distribucija hraniva (često P i K)

## pH reakcija poljoprivrednih tala

Matematički gledano, pH je negativan logaritam koncentracije  $H^+$  iona, a vrijednosti se kreću u skali od 0 do 14. Neutralni pH ima vrijednost 7 (odnosno jednaku koncentraciju vodikovih ( $H^+$ ) iona i hidroksilnih ( $OH^-$ ) iona), dok su otopine čiji je pH manji od 7 kisele, a otopine s pH većim od 7 lužnate (alkalne, bazične). pH tla je produkt ishodišnog materijala i okoliša, a oborine i temperature kontroliraju procese koji određuju njegovu reakciju. pH reakcija tla određena je, njegovom organskom i mineralnom komponentom, a tla se obzirom na njegovu reakciju mogu podijeliti na kisela, neutralna i alkalna. Promjena pH reakcije tla može biti uzrokovana različitim agroekološkim činiteljima (prirodnim ili antropogenim), od kojih su najznačajniji gnojidba, kalcizacija, neodgovarajuća agrotehnika (obrada tla, usjevi i sl.), blizina industrijskih objekata (kisele kiše) i dr.

pH (mjereno u KCl-u)	Reakcija tla
<4,5	Jako kisela
4,5-5,5	Kisela
5,5-6,5	Slabo kisela
6,5-7,2	Neutralna
>7,2	Alkalna

Pri postanku zemljišta, u općem smislu, i tla u poljoprivrednom, agronomskom značenju, nastaju promjene u sadržaju *alkalnih* (npr. natrij-Na i kalij-K) i *zemnoalkalnih* metala (npr. magnezij-Mg i kalcij-Ca). Udaljavanjem iz tla (ispiranjem, iznošenjem biljkama, inaktivacijom i sl.) jakih baza (kao što je npr. kalcij), dolazi do velikih promjena u kemijskim, ali i fizikalnim svojstvima tla. Općenito uzevši, tla koja su nastala i nastaju u klimatskim uvjetima s količinom oborina većom od 600 mm godišnje, izgubila su najveći dio svojih alkalnih i zemnoalkalnih metala, a na njihovom adsorpcijskom kompleksu je došlo do zamjene tih metala s vodikom ( $H^+$ ). U ovom slučaju dolazi do dugotrajnog i kontinuiranog procesa ispiranja glinenih minerala razblaženim otopinama organskih kiselina, kao što je npr. *huminska* kiselina. Budući da je  $H^+$  ion glavni "krivac" kiselosti tla, jasno je da će njegova povećana koncentracija dovesti do jačeg zakiseljavanja tla. No, vodikov ion ne djeluje samo na kiselost tla već aktivira ione aluminija i željeza, koji se adsorbiraju na mineralima gline. U klimatskim prilika, gdje je količina oborina manja od 600 mm godišnje (uvjetno rečeno), ne dolazi do ispiranja baza iz površinskih dijelova tla u podzemne vode, pa je reakcija tla alkalna. Takva tla su svjetlije boje, sadržaj organske tvari je manji i otežano je gospodarenje takvim tlima. U ovisnosti o tome je li alkalnost nastala kao posljedica djelovanja kalcijevog karbonata ili natrija, razlikujemo karbonatna i slana alkalna tla. Kod tala sa visokom pH vrijednošću izražen je problem slabe pristupačnosti željeza, fosfora, cinka mangana, bakra i bora. U takvim uvjetima dolazi do deficita ovih elemenata, a kao krajnji rezultat njihovog nedostatka je smanjenje prinosa.

pH reakcija se, obzirom na podrijetlo vodikovih iona u tlu, može podijeliti u tri kategorije: *aktualna*, *izmjenjiva* i *hidrolitička* kiselost tla.

Aktualna kiselost ili aktualna pH reakcija je posljedica prisutnosti slobodnih iona, najviše  $H^+$ ,  $Al^{3+}$  i  $OH^-$ . Oslobođanje ovih iona nastaje kao posljedica njihove zamjene na adsorpcijskom kompleksu topljivim organskim i mineralnim kiselinama ili kiselim solima.

Izmjenjiva kiselost ili izmjenjiva pH reakcija određena je prisutnošću  $H^+$  iona i dijelom iona aluminija i željeza, koji se djelovanjem neutralnih soli zamjenjuju s adsorpcijskog kompleksa tla.



Hidrolitička kiselost nastaje pri neutralizaciji tla višebaznim mineralnim kiselinama pri čemu se svi H<sup>+</sup> ioni ne zamjenjuju lužinama kod iste pH vrijednosti sredine. U ovu kategoriju kiselosti tla ulazi i izmjenjiva kiselost, koja je njen sastavni dio, pa se njenim određivanjem utvrđuje *ukupna potencijalna kiselost* tla. Hidrolitička se kiselost najčešće određuje za potrebe provedbe kalcizacije.

Tlo ima sposobnost odupiranja promjeni pH reakcije (kod npr. unošenja fiziološki kiselih ili lužnatih gnojiva), koja se naziva *puferna sposobnost tla*, a procjenjuje se njegovim *pufernim kapacitetom*. pH je jedno od temeljnih svojstava tla koje kontrolira njegova kemijska, fizikalna i biološka svojstva te utječe na: raspoloživost hraniva i učinkovitost gnojidbe, mobilnost hraniva, onečišćenje tla, stabilnost strukturnih agregata, pokretljivost vode u tlu, aeraciju tla, toksičnost iona, mikrobiološku aktivnost, rast biljaka, efikasnost pesticida, okoliš.

### **Utjecaj pH reakcije tla na biljke**

Mjerenje pH reakcije tla predstavlja jedan od osnovnih pokazatelja kvalitete tla. Svaka uobičajena kemijska analiza tla za cilj ima utvrditi osnovne kemijske pokazatelje, kao što je postotni sadržaj humusa, sadržaj lako pristupačnih fosfora (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) i kalija (K<sub>2</sub>O), postotni udio karbonata (CaCO<sub>3</sub>) te pH (u H<sub>2</sub>O i KCl). Kemijska analiza tla se radi s nakanom: eventualne popravke kemijskih svojstava tla (u ovom slučaju pH tla), primjene odgovarajuće gnojidbe i u konačnici uzgoja biljnih vrsta koje su najbolje prilagođene nepovoljnoj reakciji tla. pH djeluje na rast i razvoj biljaka dvojako; neposredno preko koncentracije H<sup>+</sup> i OH<sup>-</sup> iona i posredno izazivajući niz promjena u tlu. Direktni utjecaj svodi se na toksičnost H<sup>+</sup> i OH<sup>-</sup> iona za korijenje biljaka, ako se oni u njegovoj blizini nalaze u visokim koncentracijama, a u biljkama mijenjaju ravnotežu kationa i aniona do nepovoljnih granica. Indirektni utjecaj pH reakcije tla na biljke izražen je preko promjene topivosti biljnih hraniva u tlu i aktivnosti mikroorganizama, pojačanoj pojavi biljnih bolesti i jačem razvoju nekih korovnih vrsta i sl.

### **Utjecaj pH reakcije tla na pristupačnost biljnih hraniva**

Promjena pH reakcije tla utječe na povećanje ili smanjenje pristupačnosti pojedinih elemenata ishrane. Optimalna vrijednost pH reakcije tla u uzgoju većine ratarskih kultura kreće se od pH 6,5-7,2. Ovih je tala u RH (ali i u svijetu) manji postotak pa se kulture često uzgajaju u nepovoljnim uvjetima za njihov rast i razvoj (kisela ili alkalna tla). Stoga se preporučuje provoditi razne mjere za popravak ovakvih tala. Kalcizacija, odnosno neutralizacija kiselih tala provodi se u slučaju kada je tlo kiselo, odnosno kada je hidrolitička kiselost >4cmol kg<sup>-1</sup>. "Neutralizacija" alkalnih tala provodi se raznim metodama zakiseljavanja koje su teže izvodive i puno skuplje od postupaka popravaka kiselih tala. U aridnim područjima, kao i u uvjetima s visokom razinom podzemne vode, iz tla se slabije ispiru soli (i karbonati) te dolazi do jačeg nakupljanja natrija, kalcija i magnezija (najčešće). Velike količine natrija na adsorpcijskom kompleksu narušavaju fizikalna i kemijska svojstva tla, koja značajno smanjuju pristupačnost vode, a samim tim i pristupačnost hraniva. pH reakcija tla iznimno je važan kemijski pokazatelj koji utječe na njegova kemijska, fizikalna i biološka svojstva. pH reakcija tla često je puta prirodna datost, ali je nažalost često puta uzrokovana i neadekvatnom ljudskom, a posebice njegovom poljoprivrednom djelatnošću.

## Zašto fosfor i kalij izražavamo kao okside?

Svaki esencijalni element biljaka (osim ugljika, vodika i kisika) može se primijeniti kao mineralno gnojivo. Na Svijetu postoji veliki broj različitih vrsta i formulacija gnojiva, a pretežno dolaze u formulaciji kao tri primara makroelementa koja su biljkama potrebni u većim količinama N – dušik, P- fosfor i K- kalij (Tablica 1).

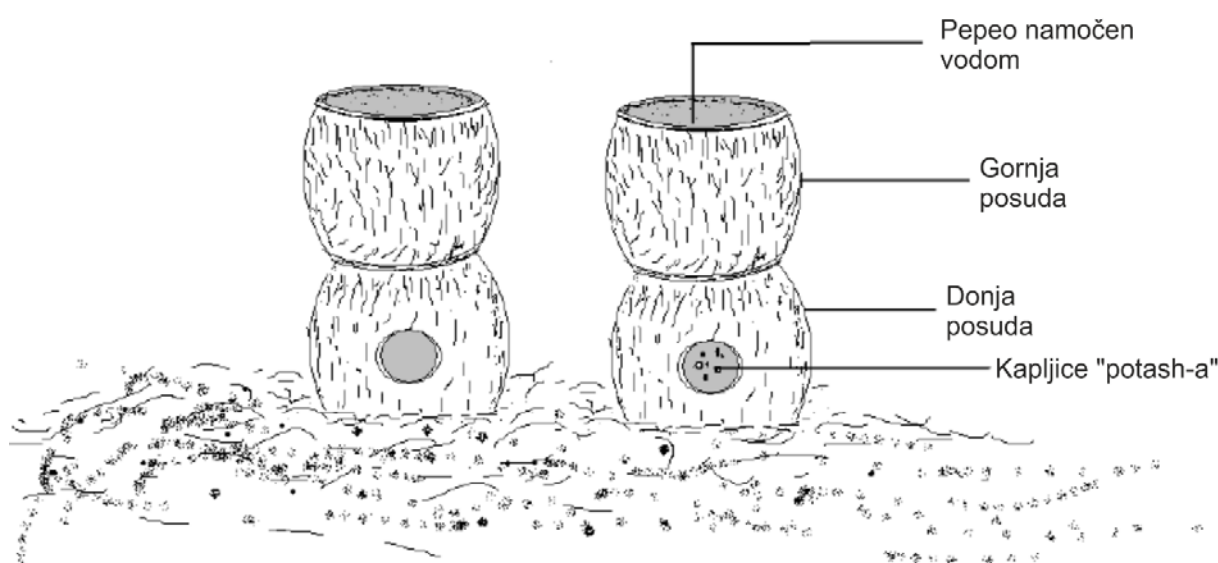
Tablica 1. Esencijalni elementi ishrane bilja

Element	Simbol	Raspoloživi oblik	Kategorija
Ugljik	C	CO <sub>2</sub>	Organski elementi koje biljke usvajaju iz zraka, vode i hranjivih tvari tla
Vodik	H	H <sub>2</sub> O	
Kisik	O	O <sub>2</sub>	
Dušik	N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Primarni makroelementi potrebni biljkama u većim količinama
Fosfor	P	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Kalij	K	K <sup>+</sup>	
Kalcij	Ca	Ca <sup>2+</sup>	Sekundarni makroelementi potrebni biljkama u manjim količinama
Magnezij	Mg	Mg <sup>2+</sup>	
Sumpor	S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	
Bor	B	BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> , H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	Mikroelementi potrebni biljkama u malim količinama
Klor	Cl	Cl <sup>-</sup>	
Bakar	Cu	Cu <sup>2+</sup>	
Željezo	Fe	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	
Mangan	Mn	Mn <sup>2+</sup>	
Molibden	Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Cink	Zn	Zn <sup>2+</sup>	
Nikal	Ni	Ni <sup>2+</sup>	

U suvremenoj agrotehnici kompleksna gnojiva su najčešći oblik gnojiva i rabe se u granulama homogenog sastava. U ovu grupu gnojiva ubrajaju se, npr. KNO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, itd., ali i kompozicije različitih soli koje sadrže dva ili tri osnovna hranjiva elementa (NP, NK, PK i NPK). Navedene kombinacije dobiju se kemijskom reakcijom nitratne, fosfatne i sulfatne kiseline s amonijakom, prirodnim fosfatima, kalijским i amonijским solima. Kompleksna gnojiva se međusobno većinom razlikuju u svom težinskom omjeru (N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O) odnosno formulaciji gnojiva, a ukupan sadržaj aktivne tvari predstavlja koncentraciju mineralnog gnojiva.

Dušik se usvaja u dva oblika  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , a njegova koncentracija u gnojivu izražena je u postotku čistog dušika N% (npr KAN – 27% N i Ureea 46% N), dok kod kalija i fosfora to nije tako. Prema konvenciji o gnojivima fosfor i kalij se izražavaju kao oksidi i to  $\text{P}_2\text{O}_5$  – fosfor pentaoksid i  $\text{K}_2\text{O}$  kalij oksid, a u takvom obliku se ne nalaze u gnojivu (previše bi gnojivo bilo reaktivno), a niti ih biljke usvajaju kao tave (fosfor se usvaja kao  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  a K kao  $\text{K}^+$  ion (Tablica 1). Prikaz sadržaja fosfora i kalija kao oksida vuče korijene od prijašnjih gravimetrijskih kemijskih analiza te su proizvođači gnojiva zadržali takvu terminologiju. Također, se često kod proizvođača gnojiva u njihovoj terminologiji upotrebljava naziv fosfati (fosfatni anion u obliku  $\text{PO}_4^{3-}$ ), a da se pri tome misli na fosfor pentaoksid  $\text{P}_2\text{O}_5$  te zbog toga može doći do pogrešnog izračuna koncentracije hraniva. Kod kalija također možemo naići na pogrešno korištenje izraza kao naprimjer,  $\text{K}_2\text{O}$  je kemijski naziv za kalij oksid dok ga u fertilizacijskoj terminologiji nazivaju eng. "potash". Taj naziv potječe iz prošlosti kada su ljudi pripremali otopine ispiranjem pepela dobivenog gorenjem drvene mase u specijalnim posudama (eng. "pot") otkud i naziv pot / ash – posuda / pepeo (Slika 1). Takvim postupkom dobivali su soli kao što je KCl i  $\text{K}_2\text{SO}_4$  koje su primjenjivali kao gnojivo, a ostatak u obliku lužine (NaOH i KOH) koristili za proizvodnju sapuna.

Zbog toga kada kupujemo gnojivo ili računamo gnojivbenu preporuku potrebno je obratiti pažnju na deklaraciju te ako želimo saznati točnu koncentraciju pojedinog elementa (fosfor i kalij) moramo postotak  $\text{P}_2\text{O}_5$  pomnožiti s 0,44 odnosno postotak  $\text{K}_2\text{O}$  pomnožiti s 0,83.



Slika 1. Ispiranje pepela dobivenog gorenjem drvene mase u posudama.

Prof. dr. sc. Boris Đurđević

## Kontrolirana i sporo djelujuća dušična gnojiva

Bez adekvatne ishrane usjeva utemeljene na znanju (analiza tla, izračun doza u skladu s ekonomskim i ekološkim zahtjevima) nema visokih i stabilnih prinosa, potrebne kvalitete proizvoda niti profitabilnosti pa se gnojidba opravdano smatra jednom od najvažnijih agrotehničkih mjera u primarnoj organskoj produkciji. Najvažnije mjesto u ishrani bilja suvereno drži dušik kao važan prinosotvorni element gdje organski i anorganski izvori N predstavljaju najvažniji izvor hraniva za optimalan rast usjeva. Učinkovito upravljanje bilancom dušika zahtijeva razumijevanje ciklusa i transformacija u tlu. Poljoprivredna proizvodnja, koja minimizira gubitke N i maksimizira dobitke dušika koji se potom može usvojiti od strane biljaka, povećat će učinkovitost i smanjiti potencijalne štetne utjecaje na okoliš. Proizvodnja mineralnih oblika dušičnih gnojiva predstavlja najvažniji izvor N za biljke. Tijekom posljednjih 30 godina svjetska potrošnja dušika porasla je sa 60 na 110 milijuna metričkih tona, a anhidrirani  $\text{NH}_3$  predstavlja osnovni građevni element za gotovo sva kemijski dobivena dušična gnojiva. Trenutno, teži se proizvodnji takvih dušična gnojiva koja će postupno oslobađati mineralni dušik, po mogućnosti prema potrebama biljaka te što manje negativno utjecati na okoliš (smanjeno ispiranje, denitrifikacija i volatilizacija). U potrazi za održivim rješenjima sve se veća pažnja posvećuje inovativnim poljoprivrednim praksama, a među njima se ističu one koje se temelje na korištenju kontroliranih i sporo djelujućih gnojiva.

Sporodjelujuća N-gnojiva pokazuju znatno niže gubitke u odnosu na konvencionalna gnojiva (zanemarivo ispiranje, smanjena denitrifikacija i volatilizacija), neznatno povećavaju osmotsku vrijednost vodene faze tla i ne oštećuju sjeme ili mlade biljke, a unose se samo jednom za čitavu vegetaciju i ne onečišćuju okoliš. Budući da je iskorištenje većine primijenjenih gnojiva  $\leq 50\%$ , počelo se intenzivno razvijati gnojiva koja minimiziraju već navedene gubitke ispiranjem, denitrifikacijom i volatilizacijom. Razvitak je išao u dva smjera i to u proizvodnju gnojiva s kontroliranim otpuštanjem (GKO) i gnojiva sa sporim otpuštanjem (GSO). Primjenom navedenih gnojiva može se višestruko poboljšati iskoristivost N u tlu, dok se istovremeno smanjuje štetan rizik na okoliš (osobito zagađenje pitkih izvora vode). U usporedbi s glavnim izvorima N koji se koriste u cijelom svijetu, upotreba GKO-a i GSO-a je mala, ali se gotovo udvostručila u posljednjem desetljeću.

Gnojivo sa sporim otpuštanjem predstavljaju proizvode kod kojih se dušik postupno otpušta u vodenoj fazi tla, dok su gnojiva s kontroliranim otpuštanjem proizvodi u kojima se može kontrolirati brzina i trajanje oslobađanja dušika.

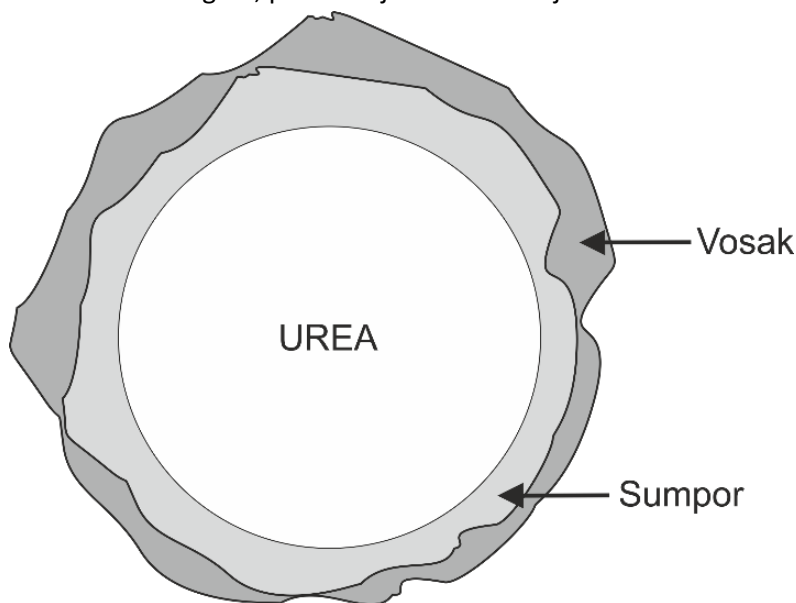
GKO i GSO gnojiva se većinom dijele na:

- organski N spojeve niske topljivosti (polako se razgrađuju biološkim (npr. urea formaldehid)) ili kemijskim (npr. izobutiliden diurea) procesima
- dušična gnojiva s fizičkom barijerom koja kontrolira oslobađanje (gnojiva sa slojem organskih polimera, smola i anorganskih materijale)
- anorganske spojeve niske topljivosti (gnojiva kao što su  $\text{Mg}/\text{NH}_4$  fosfati i djelomično zakiseljeni fosfati).

Iako ne postoji službena podjela, općenito su GSO mikrobiološki razgrađeni N proizvodi kao što su urea formaldehidi, a GKO su obično obloženi ili inkapsulirani proizvodi.

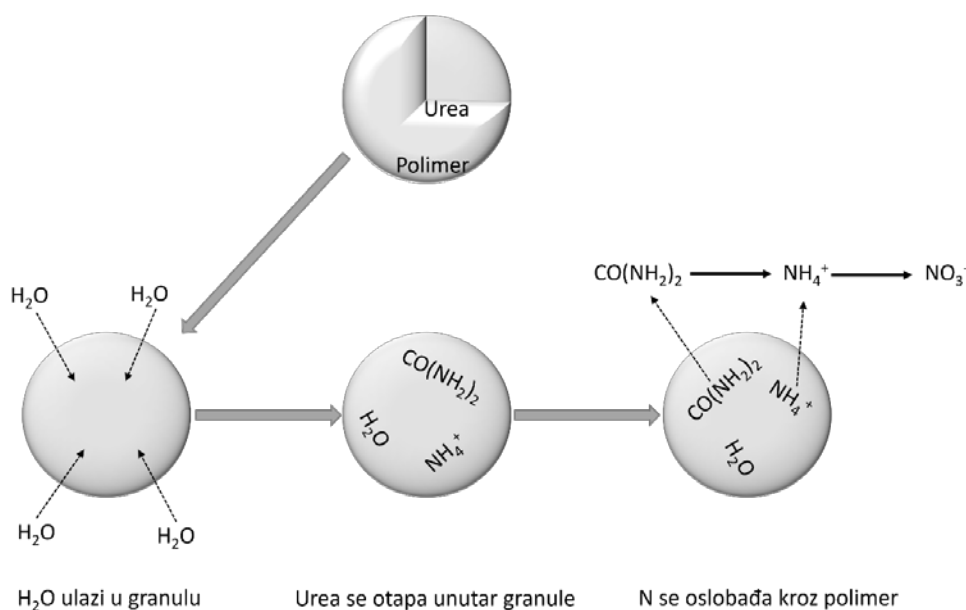
*Urea formaldehid* je jedno od najčešći GSO-a, koja sadrži 35-40% N. Urea reagira s formaldehidom, pri čemu nastaje mješavina urea-formaldehid, što gnojivu smanjuje topljivosti.

*Urea obložena sumporom* jedan je od najstarijih GKO-a koji se sastoji od ljuske S oko svake granule uree s 32-38% N i 12-22% S. Granule uree se premazuju rastaljenim sumporom, a zatim se dodaje premaz od voska kako bi se zapečatile pukotine. Može se dodati i sloj kondicionera kako bi se smanjila prašina kod manipulacije gnojivom (Slika 1.). Brzina otapanja ovisi o kvaliteti S premaza. Ovim načinom proizvodnje oko 30% granula uree bude savršeno obloženo, dok je premaz preostalih granula tanak i/ili napuknut, što ubrzava otapanje granula uree i oslobađanje N. Ako je S premaz predebeo, tada je N otpuštanje usporeno ili "zaključano" (nema oslobađanja N). Također, stopa degradacije premaza se povećava s temperaturom tla i vlagom, povećavajući oslobađanje N.



Slika 1. Primjer granule uree obložene sumporom i voskom

*GKO obloženi polimerom* najnovija je tehnologija za kontrolu oslobađanja N i smanjenje gubitaka N ispiranjem, denitrifikacijom i volatilizacijom. Oslobađanje dušika događa uslijed difuzije  $H_2O$  koja slobodno ulazi kroz sloj polimera otapa ureu unutar granule te  $NH_4^+$  izlaz kroz polimernu prevlaku (Slika 2.).



Slika 2. Proces kontroliranog otpuštanja dušika iz granule gnojiva urea/polimer



Brzina oslobađanja N kontrolira se mijenjanjem specifičnog polimera i njegove debljine. Polimeri su većinom formirani od alkidnih (poliesterskih), poliuretanskih ili poliolefinskih premaza. Otpuštanje N u vodenu fazu tla događa se kroz mikro-pore u smoli. Najveći utjecaj na brzinu otpuštanja ima temperatura tla te s povećanjem temperature dolazi do jačeg otpuštanja dušika kroz pore polimera. Vlažnost tla, pH i aktivnost mikroba imaju vrlo mali učinak brzinu otpuštanja.

Primarna svrha (GKO i GSO) tehnologije je osigurati zahtjeve određenih uzgajanih kultura za dušikom, uz istovremeno smanjenje potencijalnih gubitaka N. Njihova primjena može doprinijeti smanjenju emisija stakleničkih plinova, povećanju otpornosti usjeva na klimatske promjene i smanjenju troškova proizvodnje. Iako postoje određeni izazovi povezani s njihovom primjenom, kao što je veća početna investicija, dugoročne koristi ovih gnojiva čine ih atraktivnim rješenjem za budućnost poljoprivrede.

Prof. dr. sc. Boris Đurđević



Zakiseljavanje tla može biti uzrokovano prirodnim procesima, ali i industrijskim onečišćenjem, posebice kiselim kišama u širim područjima velikih energetske postrojenja. Smatra se da ispiranje baza s tijela adsorpcije u tlu započinje kada je količina oborina veća od 630 mm godišnje, pri čemu na adsorpcijskom kompleksu dolazi do zamjene kationa s vodikovim ionima što rezultira padom pH vrijednosti tla. Također, pH poljoprivrednih tala je u gornjih 5 cm površine često niži za 0,5 do 1,0 pH jedinice u odnosu na ostali dio rizosfere i to većinom zbog primjene dušičnih gnojiva na bazi amonijaka.

Jedna od najčešćih agrotehničkih mjera za neutralizaciju pH vrijednosti tla je kalcizacija, odnosno inkorporacija materijala koji sadrže kalcij u određenom postotku. Pozitivan utjecaj kalcizacije na plodnost i kvalitetu tla najčešće se očituje poboljšanjem mikrobiološke aktivnosti tla, fizikalnih svojstva, raspoloživosti hranjivih tvari (P i Mo) ali i reduciranjem toksičnosti Al, Fe i Mn. Najčešće korišteni materijali za kalcizaciju su karbonati (Ca – vapnenac, kalcit i Mg – dolomit), oksidi (zagrijavanjem vapnenca izdvaja se CO<sub>2</sub> i dobiva čisti CaO oksid), hidroksidi (dodavanjem vode oksidima nastaje gašeno vapno) i različiti nusproizvodi (pepel, saturacijski mulj, biougljen i drugo). Kvaliteta kalcizacijskog materijala mjeri se njegovom neutralizacijskom sposobnošću, a kao standard se uzima CaCO<sub>3</sub> odnosno njegova neutralizacijska sposobnost u tlu (Tablica 2.).

Tablica 2. Neutralizacijska sposobnost kalcizacijskih materijala u odnosu na CaCO<sub>3</sub>

Materijal	Neutralizacijska sposobnost
Kalcijev karbonat CaCO <sub>3</sub>	100
Dolomit CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	100
Magnezijev oksid MgO	250
Kalcijev oksid CaO	179
Ca hidroksid Ca(OH) <sub>2</sub>	120 -136
Saturacijski mulj	30-80
Pepel	30-50

Kalcizacija se ubraja u relativno jeftine mjere popravaka tala, čiji su pozitivni rezultati vidljivi već u sljedećoj vegetacijskoj sezoni, pri čemu treba istaknuti da se problem niskih pH vrijednosti ne rješava jednostavno i brzo. Promjena od vrlo kisele do neutralne reakcije tla radikalno mijenja uvjete u tlu. Uzimajući u obzir kako većina ekstremno kiselih tala ima nizak sadržaj organske tvari, uslijed brze promjene stanja oksidoredukcije dolazi do pojačanog razlaganja organske tvari tla, što nakon početnog porasta efektivne plodnosti neminovno vodi do pada produktivnosti tla. Pretjeranim unošenjem kalcizacijskog materijala, osobito bez potrebnih agrokemijskih analiza tla, povećava se pH što dovodi do smanjenja raspoloživosti gotovo svih mikroelemenata (izuzev Mo), a samim time i pada prinosa. Stoga, na ekstremno kiselim tlima kalcizacija mora biti provedena umjereno, više kao gnojidba kalcijem s produženim djelovanjem od nekoliko godina (3 do 5). Zbog navedenih mogućih negativnih posljedica loše provedene kalcizacije, nužno je da proračun potrebe kalcizacije bude temeljen na kemijskim analizama tla te da svaka intenzivnija kalcizacija na ekstremno i jako kiselim tlima bude popraćena humizacijom.

Prof. dr. sc. Boris Đurđević

## Pokrovni usjevi - rješenje za (gotovo) sve

Jedno od počela dobre poljoprivredne prakse koje bi poljoprivredni proizvođači trebali imati u vidu prilikom donošenja odluka o svojoj proizvodnji jest i kontinuirano "držanje tla pokrivenog" sjetvom pokrovnih usjeva.

Naknadni usjevi, postrni usjevi, pokrovni usjevi, zaštitni usjevi, akumulacijski ili "rudarski" usjevi, kako god ih zvali, svojom nadzemnom masom imaju ulogu zaštite površine tla od erozije i degradacije, a svojim korijenskim sustavom ulogu poboljšanja strukture tla. Osim što imaju utjecaj na biološka, kemijska i fizikalna svojstva tala, s druge strane, isti nam ti usjevi mogu dodatno poslužiti i za proizvodnju hrane, proizvodnju krme, zelenu gnojidbu, pčelinju ispašu, biomasu i bioplin, i još puno toga, kako na mikro- (suživot s mikroorganizmima tla), tako i na makro-razini (usvajanje stakleničkih plinova, sekvestracija ugljika, utjecaj na lokalne vremenske prilike i globalnu klimu).

Kao još jedan razlog zašto nam polja ne bi trebala ostati "gola" valja uzeti u obzir i pozitivni biološki efekti pokrovnih usjeva u borba protiv korova, štetočina i bolesti jer ove naknadne kulture troše iste prirodne resursa korova pa ih tako "guše", "zasjenjuju", "izgladnjuju" i "iscrpljuju", a svojom alelopatijom odnosno trovanjem ili odbijanjem nepoželjnih biljnih i životinjskih vrsta vode i svojevrsni kemijski rat protiv štetočina. Bitno je istaći da naknadi usjevi potiču bioraznolikost, koja je usput rečeno obuhvaćena u "zelenim" politikama Europske unije, pa su i pogodan okoliš za predatorne, korisne vrste kukaca, koji svojim životom u za njih povoljnom okolišu pomažu smanjivati brojnost nepoželjnih kukaca, održavajući tako biološku ravnotežu i u prirodi i u agrobiocenozi.

Glede globalnog zatopljenja, praćenja meteoroloških podataka pokazuju da od 10 godina, karikirano, šest je prevlažnih, a šest presušnih, budući da se u pojedinim godina preklapaju oba ekstrema u vidu proljetnih poplava i ljetnih suša u istoj godini. Obzirom da su rijetke dobre godine, agronomi se bore protiv viška vode u tlu pa tako i protiv erozije, a s druge strane i protiv nedostatka oborina u ljetnim mjesecima, odnosno moraju iznaći rješenje kako spriječiti eroziju i u isto vrijeme konzervirati raspoloživu vodu u tlu, a pametan izbor postrnih usjeva je upravo jedan od najboljih načina kako spriječiti destruktivno djelovanje oborina na strukturu tla te "sakriti" tu vodu u tlu od isparavanja, te ju na taj način konzervirati za ljetni rast i razvoj poljoprivrednih kultura.

U kemiji tla ne treba zanemariti ni dodatnu organsku tvar koju daju ove naknadne kulture u samoj tvorbi humusa, ali i u sprječavanju poslije-žetvenog ispiranja hranjiva, kao i prenošenje hranjiva u narednu vegetacijsku sezonu, te simbiotsko i asimbiotsko usvajanje hranjiva odnosno dušika, fosfora, kalija, makro i mikroelementa.

Nisu zanemarivi i ekonomski efekti ovakvog gospodarenja poljoprivrednim prostorom, a koji imaju potencijal polučiti dodatnu zaradu, veću održivost i diverzifikaciju proizvodnje, kao i dodatno znanje poljoprivrednika kroz praćenje tržišta za pažljiv odabir usjeva i tehnologije proizvodnje pokrovnih usjeva.

Najčešći argumenti protiv ove prakse jest navođenje dodatnog troška sjemena, sjetve i gnojiva. No, da li su to uistinu valjani argumenti? Treba istaći da je Hrvatska početkom 2000-tih imala oko 300.000 krupnih grla, a uobičajena razina humusa u tlu bila je manja od 1-2%. Sto godina ranije, Hrvatska je početkom 1900-tih imala oko 900.000 krupnih grla a uobičajena razina humusa u tlu je bila nešto viša od 3-4%!!! Koliko nas košta taj gubitak humusa!? Jer, bez organske komponente tla, praktički kroničnog

nedostatka organske tvari u tlu, "ruše se domine" za cijeli sustav uzgoja bilja na tom i takvom tlu, jer se mineralno gnojivo nema za što vezati u tlu, mikro i makrofauna u tlu gladuje, pa je upitno i zadržavanje vlage u tlu i, naravno, mogućnost "samoopskrbe hranivima". To pokazuje da održivost, samoobnovljivost i okoliš nemaju cijenu kad je poremećena prirodna ravnoteža te da u budućnosti treba iznaći načina te u ekonomiju uvrstiti i cijenu koštanja zdravog i samoodrživog okoliša, čime će poljoprivreda od velikog zagađivača postati alat za smanjenje svakovrsnih problema onečišćenja životne sredine.

Neke od pokrovnih usjeva, kao primjerice ozima grahorica, zahvaljujući kvržičnim bakterijama imaju mogućnost fiksacije dušika. Tako su rezultati pokusa u našim uvjetima pokazali da ova kultura može ostaviti iza sebe 120-180 kg čistog dušika u tlu, što je praktično dovoljno za uzgoj većine ratarskih i povrtlarskih usjeva koji slijede u plodoredu. Budući da je taj dušik dobiven biološkim procesima, a ne djelovanjem industrije, nema ni pratećih troškova energije, zagađenja, potreba za dugačkim lancima transporta od tvornice do njive i sl., a što se sve želi smanjiti u ubrzo dolazećim novim okvirima zelene i pametne politike upravljanja ruralnim prostorom Europske unije, a koji će svakako slijediti i ostale zemlje u Svijetu. Naknadni usjevi kao takvi pružaju i mogućnost visoko profitabilne sjemenske proizvodnje pa ako s jednog hektara dobijemo dovoljno sjemena za 20-100 hektara, a tržište je "gladno" takvog sjemena, plasman ne bi trebao biti problem. Nadalje, pokrovni usjevi, koliko god se čine "čudnom" praksom, mogu biti korišteni i ciljano za, osim simbiotskog usvajanja dušika iz atmosfere, "rudarenje" nedostupnih elemente iz tla, kao što će fitosiderofore, molekule koje korijen trava, a u koje spadaju i pšenica i raž i ječam, čijeg sjemena uvijek ima "pri ruci", luči da poboljša usvajanje hranjiva iz tla, "iščupati" fosfor za kojim lucerna pati ako ga ne može sama usvojiti iz za nju nepovoljnog okoliša. U slučaju izbora cvjetnica, kao što su suncokret, heljda i brojne druge, plodored se obogaćuje i pčelinjom ispašom, u vrijeme kad ništa drugo ne cvate u prirodi te se time direktno potiče pčelarstvo, koje osim "glavnog" pčelinjeg proizvoda, tj. meda, ima višestruko značajniju korist u oprašivanju mnogobrojnih biljnih vrsta, kako jednogodišnjih, tako i višegodišnjih. Osim što su medonosne biljke, neki pokrovni usjevi imaju nematocidno djelovanje, čime se osigurava "biološko čišćenje" tla od nematoda, jednog od glavnih uzroka "umornosti tla" te se time može smanjiti "karantenska" kontribucija plodorednog učinka za neke važne industrijske biljke, kao što je šećerna repa, koja se onda može češće sijati te time osigurati bolje višegodišnje učinke kroz nadovezujuće industrije. Sanitarni učinak pokrovnih usjeva na nepoželjne organizme može se ispoljiti i u borbi protiv korova, jer neki od njih mogu alelopatijom suzbiti vrlo neugodne korove kao što su abutilon i ambrozija, protiv kojih nema dovoljno učinkovitih herbicida, a potonja, ambrozija, problem je i za zdravlje ljudi, budući da je izrazito alergena biljna vrsta.

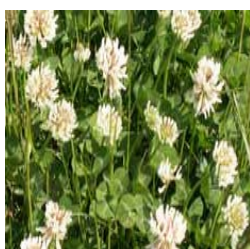
Ciljanim promišljanjem i sjetvom pokrovnih usjeva može se dobiti i "druga žetva" (paradoksalno, zahvaljujući baš globalnom zatopljenju) te time "popraviti" prihodovnu stranu cijele priče uporabe pokrovnih usjeva. Dobar primjer je heljda, ne samo izuzetna pčelinja ispaša, nego i pseudožitarica koja ne sadrži gluten pa je izuzetno zanimljiva u proizvodnju brašna, kolača (čak i piva) za osobe koje su alergične na gluten. Također, treba istaći da se može dobro zaraditi i na "otpadu" ove zanemarene hraniteljice, jer su heljdine ljuspice, kojih se prilikom obrade/ljuštenja sjemena prilično nakupi, može odlično iskoristiti kao punjenje za anti-alergene jastuke, zahvaljujući tome što ne podržavaju razvoj grinja, uzročnika ozbiljnih alergija.



## Zelena gnojidba i pokrovni usjevi

Zelena gnojidba ili sideracija praksa je uzgoja i unošenje u tlo različitih biljnih vrsta u svježem stanju s namjenom održavanja organske tvari i plodnosti tla. Bolja prozračnost tla, smanjenje zbijenosti, poboljšanje strukture, povećanje organske tvari, sprečavanje ispiranja topivih hraniva i bolja mikrobiološka aktivnost dobrobiti su zelene gnojidbe prepoznate u agronomskoj struci i praksi. Usjevi za zelenu gnojidbu u kratkom razdoblju razvijaju veliku nadzemnu masu koja sprečava rast i razvoj korova. Međutim, najveća korist leguminoznih usjeva je u opskrbi tla dušikom jer leguminoze simbiotski vežu molekularni dušik iz atmosfere.

Leguminizni usjevi koji se najviše siju za zelenu gnojidbu su grahorica, lupina (bijela i žuta), grašak, lucerna, bijela i crvene djetelina, smiljkita, inkarnatka i bob. Od neleguminiznih usjeva za zelenu gnojidbu mogu se sijati facelija, repica, rauola, ogrštica i drugi. Neke usjeve za zelenu gnojidbu prikazuju slike 1-8. U novije vrijeme sve više se za zelenu gnojidbu siju smjese različitih biljnih vrsta, leguminoza i neleguminoza.



Slika 1. Bijela djetelina



Slika 2. Smiljkita



Slika 3. Grahorica



Slika 4. Lupina



Slika 5. Lucerna



Slika 6. Inkarnatka



Slika 7. Facelija



Slika 8. Rauola

Tijekom vegetacije dolazi do promjena u sastavu biljaka (siderata). Mlađe biljke sadrže više dušika, a manje celuloze i lignina, brže se razgrađuju u tlu. Međutim, teže razgradivi spojevi (celuluoza i lignin) nakupljaju se u starijim biljkama a sadržaj dušika se u njima smanjuje. Zbog optimalnog omjera ugljika i dušika, lakše razgradnje zelene mase, obično se usjevi za zelenu gnojidbu unose u tlo, u vrijeme cvatnje. Usitnjavanje nadzemne mase za zelenu gnojidbu prije unošenje u tlo pospješuje njezinu razgradnju. Općenito, unošenjem siderata u tlo vraćaju se akumulirana biljna hraniva i organska tvar.

Pokrovni usjevi mogu imati različite namjene. Uzgajaju se bez obzira da li će se unositi u tlo ili neće. Vincent and Schlathölter (2023.) navode da je razlika između pokrovnih usjeva i usjeva za zelenu gnojidbu, njihova konačna upotreba. Oni se prvenstveno uzgajaju na tlu koje bi inače bilo golo, sa

svrhom zaštite od erozije i sprečavanja gubitka hranjivih tvari, osobito nitrata. Pokrovni usjevi mogu se uzgajati između redova višegodišnjih nasada (voćnjaka, vinograda) kao "živi malč", a mogu biti jednogodišnji, dvogodišnji i višegodišnji (slika 9). Ako su pokrovni usjevi leguminoze, osim što pokrivaju tlo oni također fiksiraju molekularni dušik iz atmosfere i njime obogaćuju tlo. Uzgoj pokrovnih usjeva neizbježan je u konzervacijskoj poljoprivredi. Pokrovni usjevi ovisno o načinu uzgoja, također se mogu koristiti kao krma, ako se ostave na tlu djeluju kao prirodni malč, a njihovo unošenje u tlo ima učinak zelene gnojidbe.



Slika 9. Pokrovni usjevi između redova u voćnjaku

Novija istraživanja pokazuju da pokrovni usjevi, uz sve navedene dobrobiti, imaju veliki potencijal za smanjenje emisije stakleničkih plinova. Utvrđeno je da bi uzgoj pokrovnih usjeva na svim poljoprivrednim površinama u Europi, prije sjetve kukuruza, mogao smanjiti emisiju stakleničkih plinova za 13% (Schön i sur. 2024.).

Učinak zelene gnojidbe i uzgoja pokrovnih usjeva treba promatrati kroz podizanje plodnosti i obogaćivanje tla hranivima, sprječavanje erozije i onečišćenja podzemnih voda, smanjenje razvoja korova i zadržavanje hraniva. Međutim, uzgoj pokrovnih usjeva također sastavni je dio održive poljoprivredne proizvodnje za smanjivanje emisije ugljikovog dioksida i učinka na klimatske promjene.

Zbog rastućih problema s kojima se suočava konvencionalna poljoprivreda, intenzivna obrada tla, gnojidba samo mineralnim gnojivima, uključujući klimatske promjene, ekstremne vremenske prilike, uzgoj usjeva za zelenu gnojidbu i pokrovnih usjeva održivo je rješenje za očuvanje kvalitete tla i okoliša.

Može se zaključiti da je zelena gnojidba i uzgoj pokrovnih usjeva alternativa su za postizanje ekološke i agronomске održivosti, što u konačnici pridonosi povećanju prinosa.

#### Literatura:

1. Schön, J., Gentsch, N., Breuni, P. (2024.). Cover crops support the climate change mitigation potential of agroecosystems, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302139> , 1-20.
2. Vincent M. and Schlathölter, M. (2023.). Green manures & cover crops: Practical information, EIP-AGRI minipaper.

Dr. sc. Ivka Kvaternjak

## Uzgoj postrnih usjeva

Najvažniji agrotehnički zahvat tijekom ljeta je zasigurno žetva ozimih usjeva, a u našim agroekološkim uvjetima najčešće je to žetva ječma i pšenice, odnosno "ubiranje ljetine". Upravo zbog ove činjenice nerijetko se, svjesno ili nesvjesno, "zaboravlja" na obradu strništa, odnosno obrada tla se prepušta i ostavlja za "neko drugo vrijeme" jer "sada nema vremena" ili "sada se ionako ništa ne uzgaja". Pri ovakvim postavkama i odnosu prema tlu nekoliko je mogućih opcija, a dvije su najizglednije (s više različitih varijacija): tlo se nakon žetve u potpunosti ostavlja sve do jeseni kada se obavlja jesenska / zimska obrada tla (još uvijek najčešće oranje), obavlja se "prašenje" strništa (ponegdje još uvijek i nažalost plugom!) i tlo se ostavlja golo sve do jeseni. Navedeno znači da su poljoprivredne površine prazne 3-4-5 mjeseci, ako se ponovo uzgaja neki ozimi usjev, ili čak 9-10 mjeseci ako se planira uzgoj jarog usjeva sljedeće godine. Ovakav pristup nije održiv iz više različitih razloga, a ekonomski i ekološki razlozi su najčešći i najizraženiji. Činjenica je kako se pravilnim pristupom tlu / proizvodnoj površini nakon žetve ozimih usjeva ono počinje pripremati za uzgoj sljedećeg usjeva, a ovdje je svakako dobro podsjetiti i na značaj različitih pristupa obradi tla, ali i važnost uzgoja postrnih usjeva u ovoj pripremi.

Jedno od najvažnijih zakonitosti u provedbi agrotehničkih mjera je činjenica kako priprema tla za uzgoj usjeva slijedeće kalendarske godine, a time i vegetacijske godine (misli se na uzgoj jarih usjeva) započinje upravo odmah nakon žetve predusjeva, odnosno najčešće ozimih usjeva ječma i pšenice.

U problematici gospodarenja poljoprivrednom proizvodnom površinom nakon žetve ozimih usjeva isprepliće se više važnih pitanja, a najvažnija od njih su: pravilno gospodarenje biljnim ostacima, sustav obrade tla, gnojidba i kondicioniranje tla, uzgoj postrnih usjeva i dr.

### Biljni ostaci

Upotrebna vrijednost žetvenih ostataka je vrlo velika i višestruka, a način njihovog korištenja ovisi o mnogim faktorima, kao i aspiracijama samih poljoprivrednih proizvođača. Obično se ugrubo računa kako je odnos zrna i slame 1:1, odnosno, uz požetih 6 t/ha zrna pšenice, može se računati kako je na površini tla ostala ista tolika masa slame (6 t/ha). Vrijednost žetvenih ostataka, pored visokog sadržaja organskih tvari, ogleda se i u visokom sadržaju mineralnih (biogenih) tvari. Različite strne žitarice sadržavaju i različitu količinu tih tvari, a vrijednosti se okvirno za dušik, fosfor i kalij najčešće kreću od 0,2-0,8% N, 0,09-0,2% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i 0,4-1,7% K<sub>2</sub>O.

Općenito, značaj organske tvari u tlu ogleda se u nekoliko slijedećih činjenica:

- 1) Izvor je biljnih hraniva
- 2) Osnovni je činitelj strukture tla,
  - stabilnost strukturnih agregata tla,
  - faktor kultivacije tla,
  - potpomaže kretanju vode i zraka u tlu,
  - retencija (zadržavanje) vode,
  - sprječava eroziju



- "puferira" nepovoljne utjecaje u tlu (hraniva, pesticidi itd.)
- sprječavanje ispiranje hraniva
- daje boju tlu (zagrijavanje)
- pozitivno utječe na biogenizaciju i bioraznolikost

S aspekta konvencionalne obrade tla, dobra poljoprivredna praksa podrazumijeva i pravilno gospodarenje žetvenim ostacima. U samom planiranju žetve valja voditi računa o načinu korištenja žetvenih ostataka nakon provedbe žetve. Tako na primjer, ako će se slama koristiti za baliranje, dakle odnošenje s tla, žetvu treba obaviti kombajnom koji će slamu ostavljati na primjeren način, kako bi se laše balirala i kako ne bi bilo suvišnih prohoda strojevima i oruđima po površini tla. Ako se planira obaviti inkorporaciju žetvenih ostataka u tlo, kombajn mora imati sječkalice za usitnjavanje i ravnomjerno raspoređivanje slame po površini.

Ako je odlučeno nakon žetve strnih žitarica obaviti prašenje strništa, odnosno plitku inkorporaciju žetvenih ostataka u tlo, treba voditi računa da se ono obavi na pravilan način. Obradivanje strništa je prva operacija u pripremi površine za slijedeći usjev, i od njenog pravilnog izvođenja zavisi uspjeh ostalih agrotehničkih mjera. Budući da prašenje strništa pripada zahvatima plitke obrade tla, ono se najčešće obavlja do maksimalne dubine 10-15 cm. Više je različitih oruđa za obavljanje prašenja strništa, i to od pluga (arhaično oruđe danas vrlo rijetko u upotrebi za ovu namjenu), razne vrste tanjurača kao i različiti oblici rahljača (Slika 1.).



*Slika 1. Primjena rahljača za obradu tla za postrnu sjetvu*

Što se vremena obrade strništa tiče, treba naglasiti kao je prašenje strništa najbolje obavi neposredno nakon žetve strnih žitarica, a po mogućnosti odmah. Ostavljanje strništa neobrađenim gubi se značajna količina vlaga, a to za posljedicu može imati povećani vučni otpor, a samim tim i više utrošenog goriva u kasnijoj obradi. Brojni su pozitivni razlozi zbog čega prašenje strništa treba provoditi kao redovnu agrotehničku mjeru. Ono utječe na očuvanje vlage tla, borbu protiv korova, a žetveni ostaci se podvrgavaju mineralizaciji. Tlo je nakon žetve, u većem broju slučajeva dosta zbijeno i prosušeno u površinskom sloju, dok su dublji slojevi vlažniji. Obradom strništa i inkorporiranjem žetvenih ostataka, sačuvat će se najveći dio te dubinske vlage u tla. Ovo je važno iz razloga što se obradom strništa prekida

kapilaritet tla, odnosno kapilarni uspon i gubitak vode isparavanjem, stvaranjem površinskog rastresitog sloja tla, koji služi kao izolacija. Sačuvana vlaga tla, kao i "novopridošla" količina kišenjem, omogućit će povoljne uvjete za klijanje i nicanje korova (tzv. "provociranje korova"). Ti se korovi vrlo lako mogu uništiti mehanički naknadnom obradom tla. Ovo "provociranje korova" je vrlo važno jer se na vrlo jednostavan način možemo riješiti velikog broja sjemena korova. Također, i mikroorganizmi bolje obavljaju mineralizaciju i razlaganje žetvenih ostataka u prisustvu vlage.

Ljetno vrijeme (uz uvjet dobre prosušenosti tla) uobičajeno je idealno vrijeme za obavljanje podrivanja s ciljem "razbijanja" i prorahljivanja zbijenog sloja tla (tzv. taban obrade ili taban pluga)

Positivna poljoprivredna praksa ima i svoje izuzetke, pa se tako još uvijek ponegdje umjesto pravilnog gospodarenja žetvenim ostacima vidi i njeno naličje, odnosno paljenje strništa. Prema Pravilniku o agrotehničkim mjerama paljenje strništa ne smije biti uobičajena praksa i to iz više razloga (primjerice, nepovratno se gube organske tvari (dušik i dio sumpora), dok P, K, Ca, Mg, Fe i drugi mikro elementi ostaju u tlu u vidu pepela). Mjera paljenja žetvenih ostataka negativno djeluje i na degradaciju mikro- i makrofaune tla, što može izrazito negativno utjecati na prirodnu bioraznolikost.

Postoji nekoliko razloga za odstupanje od pravila primjene prašenja strništa, a jedan od njih i rješavanje problematike zaraze tla rizomnim korovima (pirika, sirak i dr.), a za taj zahvat upravo je idealno vrijeme nakon žetve strnih žitarica. Ova mjera se provodi vrlo jednostavno, odnosno, nakon žetve žitarica, na površini tla, odnosno strništu, se ništa ne radi, već se čeka da se razviju korovi skoro do fenofaze formiranja cvati (sirak visine cca 30- 40 cm). Tada se pristupa tretiranju površine tla na mjestima zaraze ili cjelokupne površine (ovisno o zarazi), totalnim neselektivnim herbicidima. Nakon potpunog sušenja korova (2-3 tjedna nakon tretiranja), može se provesti daljnja obrada tla.

Kako bi se izbjegao negativan učinak uobičajeno visokog C:N odnosa (odnos ugljika i dušika), zbog veće količine biljnih ostataka, a koji može iznositi 50-150:1, uz obradu strništa je potrebno primijeniti i određenu količinu dušičnih gnojiva, kako bi se taj odnos smanjio i ubrzala mineralizacija. Uz preveliki C:N odnos mikroorganizmi privremeno vežu dušik zbog razgradnje, iako on poslije ponovo postane dostupan. Ovaj trenutni nedostatak dušika naziva se "dušična depresija", a jednostavno se može izbjeći uz dodavanje dušičnih gnojiva.

Pri konzervacijskoj obradi tla, problematika gospodarenja žetvenim ostacima nešto se razlikuje u usporedbi s konvencionalnom obradom tla. Osnovna razlika je u tome što se ne provodi inkorporacija žetvenih ostataka u tlo, već se oni ostavljaju na površini tla ili se miješaju s površinskim slojem tla vrlo plitko.

### **Golo tlo ili postrni usjevi?**

Osim činjenice kako se uzgojem postrnih usjeva može se obaviti druga žetva, što posebno dolazi do izražaja na poljoprivrednim gospodarstvima koja "oskudijevaju" u veličini svojih obradivih površina, ovim se pristupom ostvaruje snažan pozitivan agroekološki, a jednako tako i ekonomski učinak na poljoprivrednoj proizvodnoj površini.



Uzgojem postrnih usjeva se osim povoljnog ekonomskog, može ostvariti i vrlo povoljan ekološki učinak (što u stvari predstavlja i neizravno značajno ekonomsko ulaganje "za nadolazeće vegetacije"). Odnosno, vrlo uspješno se može premostiti "prazno" razdoblje tijekom kojeg se događaju izrazito nepovoljni utjecaji na golo tlo. Pozitivan efekt uzgoja postrnih usjeva posebice dolazi do izražaja ako se primijeni neki oblik reducirane ili još bolje konzervacijske obrada tla. Kao što je prethodno rečeno, nakon žetve strnih žitarica u konvencionalnim sustavima obrade obavlja se prašenje strništa i ljetno oranje te površina tla ostaje gola sve do jesenske obrade i njegove pripreme za uzgoj sljedeće kulture. Takvo golo tlo izloženo je nepovoljnom djelovanju sunca (insolacija, snažna zračenja, negativan fizikalno-kemijsko-biološki utjecaj na površinski sloj tla), vjetra (dodatno sušenje tla), kiše (negativan utjecaj na strukturu tla), podložnije je eroziji vodom i vjetrom, i sl., koji izravno i neizravno nepovoljno djeluju na kvalitativna i proizvodna svojstva tla. Od fizikalnih degradacijskih procesa koji se događaju na golom tlu, bez ili s premalo žetvenih ostataka na njegovoj površini, najčešći i najvažniji su: degradacija strukturnih agregata tla, proces zbijanja i slijeganja tla, odnošenje površinskih čestica tla vodom i vjetrom (erozija), fomiranje pokorice, itd. S aspekta kemijskih svojstava tla vrlo je važno spomenuti kako nakon žetve u tlu ostaje često puta vrlo velika količina neiskorištenog dušika, što znači njegov čisti gubitak, ali i onečišćavanje podzemnih voda uslijed njegovog ispiranja. Također, uslijed nesmetane erozije dolazi do odnošenja površinskog najkvalitetnijeg humusno akumulativnog sloja. Sunčeva insolacija na golo tlo izrazito negativno djeluje na mikroorganizme na površini tla, gujavice se zbog isušivanja površine spuštaju dublje u tlo, a također im se smanjuje i brojnost.

### Izbor postrnih usjeva

Izbor kulture koja će se koristiti kao postrni usjev ovisi prvenstveno o njenoj namjeni, npr.: proizvodnja zrna, silaže, zelena krma, sideracija (zelena gnojidba), medna ispaša. Primjerice, u našim se agroekološkim uvjetima u postrnoj sjetvi može uzgajati kukuruz, koji se može uzgajati za zrno, za silažu, ali i za zelenu krmu. Zatim soja za zrno i kao usjev za zelenu gnojidbu. Još se mogu uzgajati sirak, stočni kelj, podzemna koraba, krmna repica, krmni sljez, uljana rotkva, uljana repica, sudanska trava, proso, heljada, facelija, mrkva i dr. U postrnoj sjetvi kukuruza najčešće se koristi kukuruz iz FAO skupina 100 i 200, a skupina 300 iznimno u vlažnim godinama ili ako je osigurano navodnjavanje. U postrnoj sjetvi soje koriste se grupe zrenja "00" i "0", čija vegetacija završava za 60-80 dana.

Drugi kriterij kod odabira kulture za postrni usjev je njena otpornost, izdržljivost na visoke ljetne temperature i manju količinu dostupne vode tijekom najtoplijeg i najsušeg dijela godine. Prema ovom se kriteriju među najotpornije ubrajaju sirak, sudanska trava, krmni sljez i proso.

Treći kriterij pri odabiru postrnih kultura je cijena sjemena, što nije nebitna stavka, a posebice ako se uzme u obzir pojačani rizik ovakvog uzgoja kultura. Ovo je vrlo bitan kriterij, a naročito kod postrnih usjeva korištenih za zelenu gnojidbu (sideraciju). Nije rijetkost da se sjeme za postrnu sjetvu ne kupuje, već se koristi sjeme iz "domaće proizvodnje", odnosno merkantilno sjeme. Takvo je sjeme često veliki krivac loših rezultata u porastu kultura, a naročito je to izraženo kod uzgoja kukuruza. Ovaj se "nedostatak" nerijetko nadoknađuje velikom količinom sjemena u sjetvi, a kulture se najčešće koriste u relativno ranom vegetacijskom porastu. Zadnjih se godina sve više počinju koristiti različite smjese postrnih kultura, a ovisno o namjeni one se mogu sastojati od minimalno dvije do preko deset kultura u smjesi. Također, vrlo uspješno se mogu kombinirati leguminozne s travnatim kulturama, kao i kulture koje dobro prezimljavaju s kulturama čija se vegetacija prekida nastupom hladnog zimskog razdoblja.

Dakle, postoji velika mogućnost odabira usjeva za postrnu sjetvu, samo je stvar pravilnog odabira za odgovarajuću namjenu.

### **Agrotehnika uzgoja postrnih usjeva**

Uzgoj postrnih usjeva nije nova stvar i nije nepoznanica, ali se redovno kao najvažniji ograničavajući faktor u njihovom uzgoju (između drugih objektivnih ali i neobjektivnih), najčešće izdvaja mala ili nedovoljna količina oborina u pojedinim godinama, uslijed čega ovakva proizvodnja postaje rizična. Poznato je da dnevni gubitak vode iz tla evaporacijom na neobrađenom strništu može iznositi čak 0,5-2 l vode po četvornom metru u jednom danu (5-20 t vode/ha/dan). Osnovno pravilo ovakve proizvodnje je da se u što kraćem roku nakon žetve strnih žitarica provede obrada tla, gnojidba i sjetva kako bi se gubici vode sveli na minimum. Rizik ovakve proizvodnje, a posebice u istočnim krajevima naše zemlje (manja količina oborina negoli na zapadu zemlje), vrlo jednostavno bi se mogao riješiti kada bi postojali sustavi za navodnjavanje. Uzgoj postrnih usjeva moguć je u svim krajevima naše zemlje, ali samo uz uvjet dostatne količine oborina u razdoblju nakon žetve strnih žitarica, a koja će biti potrebna i dostatna ne samo za inicijalno klijanje i nicanje već i za početni rani porast usjeva.

Obradu i pripremu tla za sjetvu najbolje / optimalno bi bilo pripremiti u jednom proходу, kako bi se ekonomski izdaci, ali i dodatni gubici vode iz tla sveli na minimum (Slika 2.).



*Slika 2. Primjer uzgoja postrnog usjeva: 1-neobrađeno tlo; 2-obrađeno tlo rahljačem; 3-obavljena sjetva*

Ako se uzgoj postrnih usjeva obavlja nekim od sustava konzervacijske, odnosno reducirane obrade tla, onda je osnovni uvjet da na površini nakon obrade tla ostane što veća masa žetvenih ostataka (Slika 3.). Pitanja konzervacijske obrade tla od ove godine posebno su zanimljiva poljoprivrednicima zbog Mjera potpore vezane uz Eko sheme. Budući da se u postrnom uzgoju usjeva realno očekuju relativno niski ili niži prinosi u usporedbi s prinosom istih tih usjeva uzgajanih kao glavni usjev, adekvatno tome iznošenje hraniva postrnim usjevima daleko je manje te je potrebna i znatno slabija gnojidba.

*Slika 3. Primjer obrađenog tla za sjetvu postrnog usjeva*

Gnojidba dušikom, kao najvažnijim makrohranivom, ponekad može u potpunosti izostati (pretkultura leguminoza, npr. krmni i jari grašak), a inače se njegova količina kreće u rasponu od 30-60 kg/ha, ovisno o kojoj se kulturi radi. Ovdje do izražaja dolazi velika prednost uzgoja postrnih usjeva jer mogu "pokupiti" preostali dušik, ali i druga hraniva koja su ostala "nepotrošena" nakon žetve glavne kulture, što predstavlja vrlo važan ekonomski i ekološki aspekt. U gnojidbi se također može primijeniti i gnojovka, što dakako isključuje primjenu mineralnih gnojiva. Količina sjemena za sjetvu postrnih usjeva obično je preporučena od strane proizvođača sjemena, ali principijelno ona se obavlja se na gornju granicu uobičajenog nicanja, budući da je površina tla gotovo redovno suha te bi sjeme bilo u nepovoljnim uvjetima za klijanje i nicanje ili bi ono izostalo do prve značajnije kiše. Upravo zbog nepovoljnih uvjeta za klijanje i nicanje, norma sjetve, odnosno količina sjetve, redovno mora biti veća od uobičajene i to najčešće od 10-30%, ali ponekada (ovisno naravno i o vrsti i namjeni kulture u uzgoju) i 25-100%.

### **Agroekološki uvjeti uzgoja siderata**

Sideracija ili zelena gnojidba (Slika 4.) je mjera koja se može provoditi u svim agroekološkim uvjetima, a koju kulturu zasijati ovisi o zemljišnim (tip tla), klimatskim (količina oborina) i biološko-uzgojnim svojstvima pojedinog agroekološkog uzgojnog područja (sustav biljne proizvodnje). Kada je riječ o klimatskim prilikama nekog uzgojnog područja valja poznavati dužinu vegetacijskog razdoblja te količinu i raspored oborina. Obično se uzima kako je minimalna količina oborina za uzgoj siderata 400-500 mm/godini, ali je puno značajniji pokazatelj raspored, odnosno distribucija oborina tijekom godine. Obzirom na tlo, na srednje teškim tlima mogu se uzgajati sve kulture, uz uvjet da je ono dobrih fizikalno-kemijsko-bioloških svojstava. Na teškim tlima najbolji će se rezultati ostvariti sjetvom boba, stočnog graška i bijele djeteline. Na laganim tlima najbolje uspijevaju žuta lupina, heljda i seradela. Na tlima bogatim kalcijem najbolje je sijati kupusnjače i leguminoze, dok kisela tla podnosi jedino lupina. Prema sustavima biljne proizvodnje, tada treba reći kako siderati u pravilu dolaze između glavnih usjeva, ali se oni u privođenju tla kulturi mogu uzgajati cijele godine. Međutim, kulture za zelenu gnojidbu mogu se uzgajati i kao podusjev, ali se to kod nas provodi iznimno rijetko.





*Slika 4. a) postrno posijana soja; b) smjesa postrnih kultura nakon žetve ječma; c) smjesa postrnih kultura nakon žetve ozime pšenice*

### **Zaključno**

Iako su prvotna predviđanja bila da će ovo biti još jedna u nizu sušnih godina, na sreću to se nije obistinilo. Čak štoviše, razdoblje nakon žetve ozimih žitarica je bio znatno kišovitiije od višegodišnjeg prosjeka, što nije zanemariva činjenica, a upravo ova godina, barem za sada i barem za najkritičniji početni porast postrnih usjeva, dosta obećava. No, i pored naše velike ovisnosti o klimatskim prilikama, u prvom redu količini kiše u ljetnom, toplom dijelu godine, kod nas ipak postoje veliki izgledi za uzgoj postrnih usjeva. Na proizvođačima je da se odvaže na taj korak te da pronađu optimalno rješenje za uzgoj postrnih usjeva u svom agroekološkom uzgojnom prostoru.

Prof. dr. sc. Irena Jug

## Upotreba pokrovnih usjeva - živih malčeva u konzervacijskoj poljoprivredi u funkciji kontrole zakorovljenosti

Pokrovni usjevi su biljne vrste koje se uvode u plodored zbog svojeg povoljnog utjecaja na agroekosustav. Neke od najvažnijih funkcija pokrovnih usjeva uključuju zaštitu tla od erozije, sprečavanje ispiranja hraniva, povećanje sadržaja organske tvari u tlu, a samim time i poboljšanje fizikalnih i kemijskih svojstava tla. Pokrovni usjevi pozitivno utječu na temperaturni režim tla te povećavaju biološku raznolikost uz istodobno smanjenje pojavnosti štetnika i korova. Upotreba različitih biljnih vrsta kao pokrovnih usjeva neizostavan je dio konzervacijske poljoprivrede koja podrazumijeva permanentnu pokrovnost tla, pravilan plodored i minimalno narušavanje tla obradom. Kao pokrovni usjevi mogu se upotrebljavati jednogodišnje biljne vrste koje se uzgajaju u razdoblju bez glavne kulture kada se njihova vegetacija prekida netom prije sjetve glavnog usjeva. U ovom slučaju pokrovni usjevi imaju zaštitnu ulogu prekrivajući tlo koje bi inače bilo nezaštićeno i izloženo negativnim utjecajima (erozija vjetrom i vodom, izravno sunčevo zračenje, povećana zakorovljenost). Pokrovni usjevi mogu se koristiti i kao živi malčevi pri čemu rastu zajedno s glavnim usjevom dijelomično ili tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja. Primarni cilj uzgoja pokrovnih usjeva kao živih malčeva je njihov pozitivan utjecaj na agroekosustav (zaštita tla od erozije, poboljšanje plodnosti tla, smanjenje pojavnosti štetnika, smanjenje zakorovljenosti). Kontrola zakorovljenosti često predstavlja izazov u konzervacijskim sustavima obrade tla zbog smanjenog intenziteta obrade tla koji predstavlja važan čimbenik u kontroli zakorovljenosti. Iz tog razloga kontrola zakorovljenosti u konzervacijskoj poljoprivredi zahtijeva kompleksniji pristup koji osim primjene herbicida uključuje i brojne druge preventivne i održive mjere što uključuje i primjenu živih malčeva.

### Živi malčevi

Živi malčevi predstavljaju pokrovne usjeve koji se uzgajaju zajedno s glavnom kulturom. Za žive malčeve obično se odabiru kulture koje su habitusom niže od glavnog usjeva kako bi se izbjegla moguća kompeticija za svjetlo i vegetacijski prostor (zasjenjivanje). Najčešće se kao biljne vrste koriste leguminoze i trave (krmne vrste) jer su zbog svog niskog rasta pogodne za živi malč, a njihovo zasnivanje i kasnija manipulacija je relativno nezahtjevna. Uspostava živog malča štiti glavni usjev formirajući fizičku barijeru za razvoj korova. Također, značajna je i njihova uloga u povećanju bioraznolikosti jer time smanjuju pritisak štetnika na glavni usjev privlačeći prirodne neprijatelje i stvarajući uvjete koji onemogućuju razvoj štetnika preko kritične granice štetnosti za usjeve i njihov nesmetani prelazak na glavni usjev.

Negativan utjecaj živih malčeva na glavni usjev može se javiti u vidu kompeticije za vodu i hraniva. U obzir treba uzeti količinu oborina određenog agroekološkog područja, a kao granična vrijednost za dostatnu količinu oborina za uzgoj živih malčeva smatra se prosječna godišnja količina oborina od 700 mm. U proizvodnim uvjetima s neravnomjernom količinom oborina u vegetacijskom razdoblju i sve češćim nepogodnim vremenskim uvjetima uslijed klimatskih promjena (nedostatak oborina) posebnu pozornost treba obratiti na raspoložive količine vode u tlu kako živi malč ne bi štetio glavnom usjevu. Upotrebom leguminoza kao živih malčeva tlo se obogaćuje dušikom, a uz optimalnu i balansiranu gnojidbu izbjeci će se moguća kompeticija za hraniva.



### **Suzbijanje korova živim malčevima**

Primarni cilj upotrebe živih malčeva je zamjena neželjenih korovnih biljaka kulturnim usjevima. Živi malčevi koji rastu zajedno s glavnom kulturom korove suzbijaju direktnom kompeticijom za svjetlost, vodu, hraniva i vegetacijski prostor, kao i alelopatskim utjecajem na korove tijekom cijele vegetacije glavnog usjeva. Ukoliko živi malč bude zasijan zajedno s glavnim usjevom, prije pojave korova, negativno će utjecati na klijanje, nicanje i rast korovnih biljaka. Ovisno o korovnim vrstama, živi malčevi mogu utjecati na otežani prekid dormantnosti sjemena korova u tlu, osobito onih koji za prekid dormantnosti zahtijevaju izraženije dnevne promjene temperature tla i svjetlost budući da prisutnost živog malča utječe na smanjeno kolebanje temperature tla, a samo tlo je prekriveno i nije izloženo direktnoj sunčevoj svjetlosti koja nekim korovnim vrstama pogoduje za klijanje. Prilikom uspostave živih malčeva treba obratiti pozornost na uvjete sjetve kako bi nicanje bilo što optimalnije i ujednačeno što u kasnijim fazama razvoja živog malča rezultira visokim postotkom pokrovnosti tla. U protivnom, ako ostvarena pokrovnost nije ujednačena i dovoljno visoka može doći do povećanog razvoja zakorovljenosti na mjestima koja nisu prekrivena.

Živi malčevi mogu biti sijani i prije sjetve glavnog usjeva ili "usijavani" u glavni usjev. Ako se malčevi siju nakon nicanja glavnog usjeva tada se smatraju usjevima koji "zagušuju" korove. Ovakvi usjevi trebali bi imati intenzivniji početni porast i razvoj u odnosu na korovne vrste kako bi kompeticija bila što izraženija. Suzbijanje korova živim malčevima biti će najučinkovitije ukoliko kompeticija bude najizraženija u kritičnom razdoblju zakorovljenosti u kojem korovne biljke nanose najviše štete glavnom usjevu što u konačnici dovodi do smanjenja prinosa. Vrlo je važan odabir odgovarajućeg usjeva koji će se koristiti kao živi malč, a podrazumjeva odabir habitusom niskih biljaka, brzorastućih i kraćeg vegetacijskog razdoblja u odnosu na glavni usjev. Prilikom odabira živih malčeva u obzir treba uzeti njihovu selektivost (korov/glavni usjev) kako ne bi došlo do usporavanja rasta i razvoja glavnog usjeva i smanjenja prinosa. Biljne vrste odabrane za žive malčeve moraju biti niskog habitusa i kompetitivni za svjetlo, a njihov najintenzivniji porast mora odgovarati kritičnom periodu zakorovljenosti bez utjecaja na glavni usjev uz mogućnost prekida vegetacije i suzbijanja živog malča kako bi se izbjegla kompeticija s glavnim usjevom.

Izv. prof. dr. sc. Bojana Brozović

## Pokrovni usjevi kao metoda kontrole zakorovljenosti u konzervacijskoj obradi tla

Pokrovni usjevi sastavni su dio konzervacijske poljoprivrede jer se svojim pozitivnim efektima na cjelokupan agroekosustav uklapaju u sve tri temeljne postavke konzervacijskih sustava biljne proizvodnje. Osnovna uloga pokrovnih usjeva je prekrivanje i zaštita tla što čini temelj konzervacijske poljoprivrede kojom štite tlo od erozije vodom i vjetrom i ostalih negativnih čimbenika kojima je "golo" tlo izloženo. Uvođenje pokrovnih usjeva u plodored značajno doprinosi konzervaciji vode i hraniva u tlu, a neizostavan je i pozitivan utjecaj na smanjenje zakorovljenosti. Konzervacijski sustavi obrade podrazumijevaju smanjeni intenzitet obrade tla kao važnog čimbenika u kontroli zakorovljenosti te zahtijevaju dodatne metode u zaštiti od korova, a upotreba pokrovnih usjeva moguća je između ostalih pozitivnih djelovanja i u tu svrhu. Pokrovni usjevi u konzervacijskim sustavima obrade tla mogu se koristiti kao živi i mrtvi malčevi te na taj način djeluju suzbijajuće na pojavnost korova, a njihovom inkorporacijom također se na određeni način djeluje na smanjenje zakorovljenosti. Terminacijom pokrovnih usjeva, odnosno namjernim prekidom njihove vegetacije koja se obično obavlja prije sjetve glavnog usjeva, biljni rezidui pokrovnih usjeva na tlu ostaju kao malč ili je moguća njihova inkorporacija u tlo.

### Suzbijajuće djelovanje inkorporiranih rezidua pokrovnih usjeva na korove

U slučaju inkorporacije rezidua pokrovnih usjeva u tlo glavni mehanizam kojim djeluju na kontrolu zakorovljenosti odnosi se na suzbijanje i usporavanje klijanja korova. Inkorporirani rezidui pokrovnih usjeva usporavat će nicanje klijanaca i rani porast korova. Do negativnog utjecaja na rane faze rasta i razvoja korova dolazi zbog pojave otpuštanja alelokemikalija uslijed procesa razgradnje rezidua pokrovnih usjeva. Otpuštanjem alelokemikalija dolazi do inhibicije ili usporavanja klijanja i daljnjeg razvoja korova. Uz otpuštanje alelokemikalija prilikom razgradnje rezidua pokrovnih usjeva u tlu također može doći i do pojave različitih patogena koji mogu negativno utjecati na klijanje i nicanje korova. Inkorporacija rezidua pokrovnih usjeva preko negativnog utjecaja na klijanje i nicanje korova u konačnici može rezultirati manjim ukupnim brojem korova kasnije u vegetaciji, ali kao mjera u kontroli zakorovljenosti sama po sebi nije dovoljna te podrazumijeva odabir pokrovnih usjeva za koje je dokazana relativno visoka razina alelopatije. Brzina kojom se odvija razgradnja rezidua također je važan čimbenik u uspješnosti smanjenja zakorovljenosti inkorporacijom. Poželjna je što brža razgradnja kako bi i otpuštanje alelokemikalija bilo učinkovitije što ovisi o kvaliteti, količini, C:N odnosu, načinu usitnjavanja i inkorporaciji, ali i o okolišnim čimbenicima kao što su temperatura, sadržaj vode u tlu te mikrobiološka aktivnost. U obzir treba uzeti i vremensko ograničenje, odnosno kratak period u kojem je prisutan inhibitorski utjecaj alelokemikalija na korove, a obično traje oko dva tjedna te nakon toga na raspolaganju moraju biti druge mjere zaštite. U obzir se mora uzeti i mogućnost negativnog djelovanja alelokemikalija na glavni usjev te birati kultivare koji nisu osjetljivi na alelokemikalije.

### Djelovanje mrtvog malča pokrovnih usjeva na suzbijanje korova

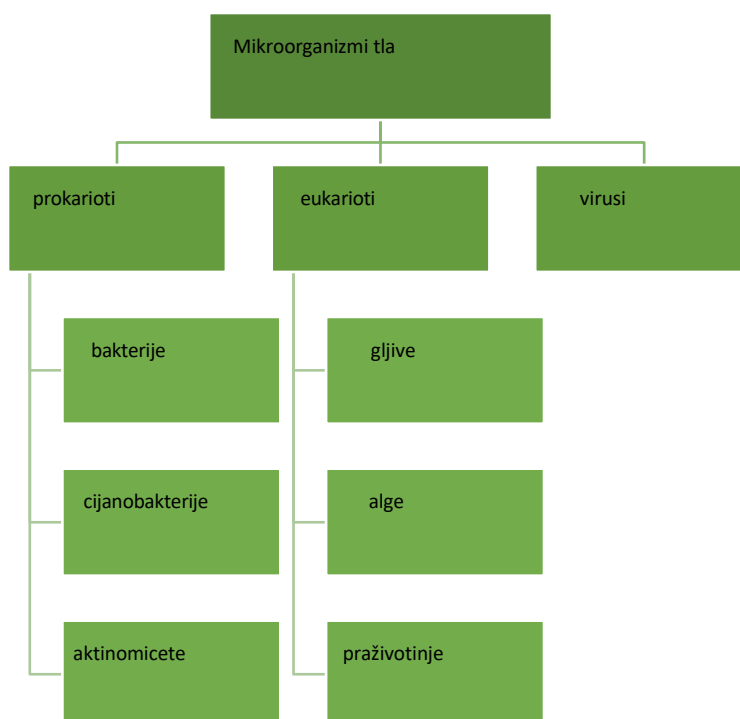
Ako se nakon terminacije pokrovnih usjeva njihovi ostaci ostave na površini tla kao mrtvi malč kao takvi mogu poslužiti na učinkovit način u smanjenju zakorovljenosti u sustavima konzervacijske obrade tla. Neovisno o načinu obrade tla ili stupnju reduciranja obrade, moguće je izravno smanjivanje zakorovljenosti pokrovnim usjevima korištenim kao mrtvi malč. Uspješnost suzbijanja korova mrtvim malčem pokrovnih usjeva najviše ovisi o samoj količini i ravnomjernoj raspodijeljenosti biljne mase na površini tla. Veća biomasa pokrovnih usjeva i ujednačena pokrovnost tla reziduima uvjet su za učinkovitije suzbijanje korova. Količina ostvarene biomase pokrovnih usjeva ovisit će o samoj biljnoj vrsti i agroekološkim uvjetima tijekom vegetacije. Uz optimalno ostvarenu biomasu pokrovnih usjeva moguće je suzbijanje nicanja korova čak do 90%. Prekrivanjem tla i sprečavanjem dopiranja svjetlosti do površine rezidui pokrovnih usjeva djeluju na smanjenje intenziteta klijanja i ranog rasta i razvoja korova. Površinski malč najučinkovitije će suzbijati jednogodišnje korove sitnog sjemena kojima je za klijanje potrebna svjetlost. Osim što smanjuju intenzitet svjetlosti koja dopire do površine tla rezidui pokrovnih usjeva i fizički otežavaju tek prokljalim korovima daljnji rast i razvoj zbog barijere koju kao mrtvi malč tvore na površini tla te tako djeluju na smanjenje zakorovljenosti.

Prisutnost malča na površini mijenja temperaturni režim tla smanjujući kolebanje temperature, ali i utječe na stanje vlažnosti u tlu. U područjima umjerenog klimata rezidui pokrovnih usjeva mogu smanjiti maksimalnu i povećati minimalnu temperaturu tla što za posljedicu ima smanjenje dnevnog kolebanja temperature tla. Brojnim korovnim vrstama za klijanje je potrebno veće temperaturno kolebanje jer na taj način dolazi do prekida dormantnosti sjemena i stoga rezidui na površini mogu dovesti do smanjenja klijanja korova i na ovaj način. Ovisno o zahtjevima pojedinih korovnih vrsta, do smanjene klijavosti može doći i zbog povećanog sadržaja vlage u tlu što je posljedica smanjene evaporacije i povećane infiltracije oborina zbog prisutnosti površinskog malča. Općenito će uspješnost suzbijanja korova mrtvim malčem pokrovnih usjeva ovisiti i o sastavu korovne populacije. Višegodišnji korovi kao i korovi krupnijeg sjemena s većom energijom klijanja i manjim zahtjevima za prekid dormantnosti vjerojatno neće biti učinkovito suzbijeni mrtvim malčem. Pokrovni usjevi važna su komponenta konzervacijskih sustava biljne proizvodnje, a njihovu istodobnu ulogu u kontroli zakorovljenosti potrebno je uklopiti u već postojeće mjere zaštite.

Izv. prof. dr. sc. Bojana Brozović

## Tlo - stanište mikroorganizama

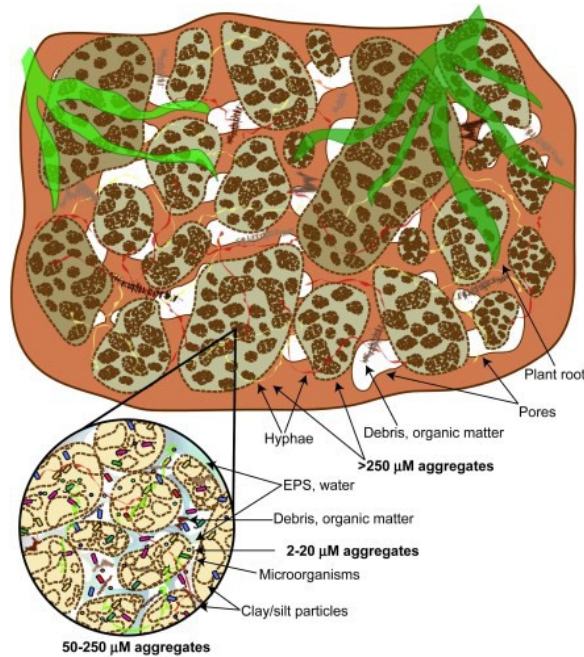
Mikroorganizme susrećemo u svim sferama koje nas okružuju: pedosferi, atmosferi, hidrosferi i biosferi. Tlo kao organsko-mineralni kompleks, uz vodenu i zračnu fazu tla, koje ispunjavaju pore tla, predstavlja idealno stanište za život različitih kategorija mikroorganizama. Organizmi tla su heterogena i raznovrsna populacija jedinki. Biotu tla čine mikro i makroorganizmi, a njen sastav je pod utjecajem svojstava tla i okolišnih uvjeta u tlu. U makrobiotu ubrajamo npr. gujavice, u mezobiotu grinje i skokunce, a u mikrobiotu praživotinje. Različite skupine mikroorganizma tla poput bakterija, cijanobakterija, aktinomiceta, gljiva, algi, praživotinja i virusa su redovni stanovnici različitih tipova tala. Mikroorganizmi tla se međusobno razlikuju po tipu stanice te mogu biti prokarioti ili eukarioti, jednostanični ili višestanični oblici (Slika 1.).



Slika 1. Kategorije mikroorganizama tla

Mikroorganizmi se razlikuju se po izvorima energije koju iskorištavaju te mogu biti na autotrofi ili heterotrofi. Osim toga u tlu su prisutni i aerobni i anaerobni mikroorganizmi kao i svi prijelazni oblici s obzirom na izvor kisika. Isto tako mikroorganizmi su prisutni i u acidofilnim, neutrofilnim i alkalofilnim uvjetima. Odnosno unatoč različitim ekološkim uvjetima u tlu mikroorganizmi su uvijek prisutni posebice u rizosferi tj. zoni korijena gdje iskorištavaju eksudate korijene, gdje su najbrojniji i imaju koristan utjecaj na rast i razvoj biljaka.

Najzastupljeniji mikroorganizmi tla su bakterije i gljive. Bakterije su prokariotski jednostanični organizmi koji dolaze u različitim morfološkim oblicima: okruglim, štapićastim, izvijenim, zvjezdastim, četvrtastim, dok su gljive eukariotski organizmi čije hife prodiru kroz pore tla opskrbljujući se s organskom tvari i vodom.



Slika 2. Distribucija mikroorganizama u čestici tla (Izvor: Costa et al. 2018. *Microbial Extracellular Polymeric Substances: Ecological Function and Impact on Soil Aggregation. Frontiers in Microbiology* 9)

Mikrobna biomasa čini do 5% ukupne organske tvari tla. Nadalje, brojnost mikroorganizama tla varira i iznosi u prosjeku nevjerojatnih  $10^3$  -  $10^9$  i do  $10^{11}$  mikrobnih stanica po gramu tla odnosno korijena. Brojnost mikroorganizama je najveća je u površinskom sloju tla od 10 do 30 cm dubine gdje je količina organske tvari najveća dok njihova brojnost opada dubinom tla.

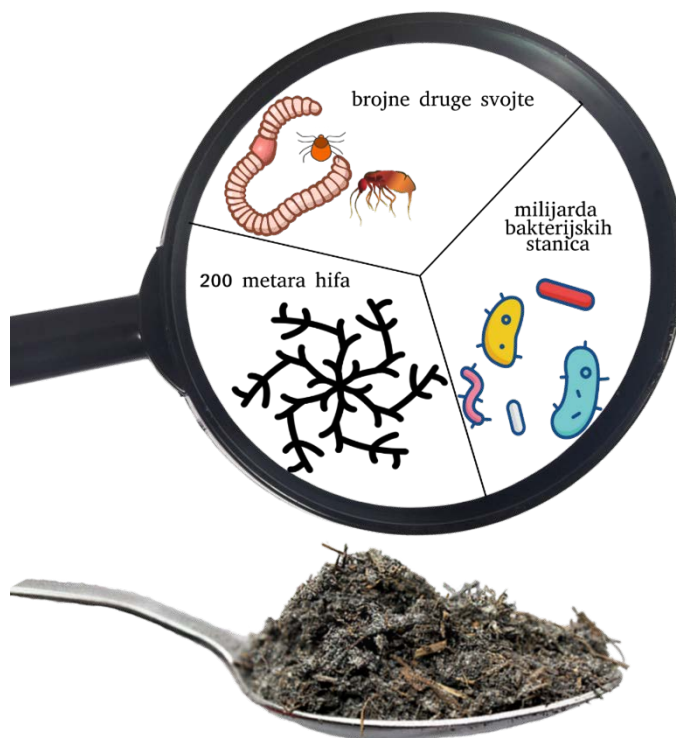
Uloga mikroorganizama u plodnosti i strukturi tla je nezamjenjiva. Mikroorganizmi pridonose pristupačnosti nutrijenata kroz sudjelovanje u biogeokemijskim ciklusima elemenata te imaju značajnu ulogu procesima humifikacije i dehumifikacije tla. Humifikacija se definira kao proces razlaganja organske tvari tla u humus i humusne tvari dok se u dehumifikaciji humus mineralizira do mineralnih biljnih asimilata. Odnosno mikroorganizmi transformiraju složene organske molekule u jednostavne anorganske forme koje koriste biljke za svoju ishranu. Oba navedena procesa se dešavaju istovremeno djelovanjem mikroorganizama tla. Mikroorganizmi izlučuju hormone rasta poput indol - octene kiseline, siderofore, antibiotike koji stimulativno djeluju na rast biljaka. Osim navedenog, pojedini mikroorganizmi mogu degradirati polutante poput pesticida ili teških metala te se koriste u bioremedijaciji tla. Koristi korisnih mikroorganizama tla za život biljaka su brojne stoga se pojedini rodovi i vrste čistih kultura mikroorganizama sve više koriste kao inokulanti te se primjenjuju na sjeme, biljku ili tlo kao biopesticidi ili biofertilizatori odnosno kao alternativa kemijskim sredstvima s ciljem očuvanja prirode i okoliša, povećanja bioraznolikost i plodnosti tla. Mikroorganizmi su nezamjenjivi u očuvanju zdravlja svakog tla.

Prof. dr. sc. Gabriella Kanižai Šarić



## Bioraznolikost tla

Egzistencija i razvoj ljudskog društva uvelike ovise o bioraznolikosti kao i uslugama ekosustava koje ona pruža. Stoga je nužno razumijevanje posljedica gubitka bioraznolikosti zbog različitih globalnih izazova s kojima se trenutno suočavamo. Agenda 2030 za održivi razvoj postavlja transformativni pristup za postizanje društveno-ekonomskog razvoja uz očuvanje okoliša. Iako se sve veća pažnja usmjerava na važnost bioraznolikosti za sigurnost hrane i prehranu, bioraznolikost ispod naših nogu – u tlu je još uvijek zanemarena. No, bogata raznolikost organizama u tlu pokreće brojne procese koji utječu na proizvodnju hrane ili pročišćavaju tlo i vodu. Kako bi se ukazalo na važnost bioraznolikosti tla FAO je prošle godine izdao publikaciju namijenjenu donosiocima odluka koja uključuje pregled trenutnog statusa i prijedloga promjena u bliskoj budućnosti.



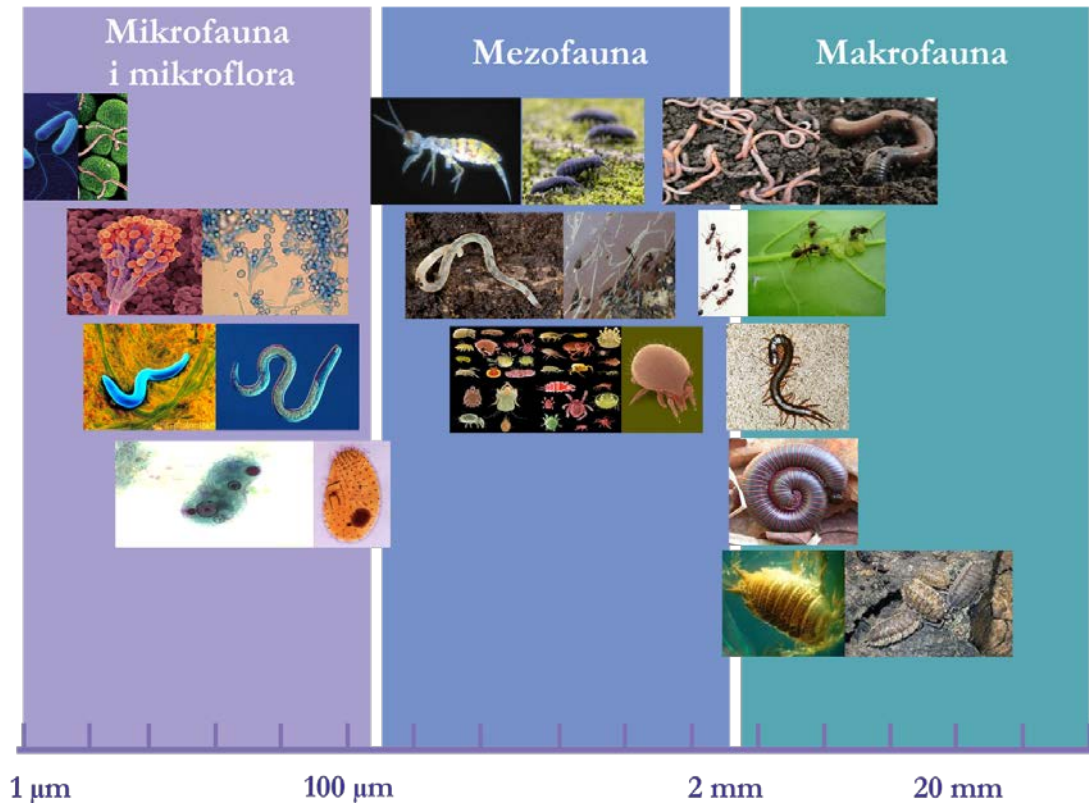
Slika 1. Život u žličici tla

Procijenjeno je kako u tlu živi jedna četvrtina svih vrsta na Zemlji te da u jednoj čajnoj žličici vrtnog tla može biti tisuće vrsta, milijuni jedinki i stotine metara hifa. Biomasa bakterija u tlu je osobito impresivna te može dostići i do pola tone po hektaru.

Beskralježnjaci imaju važnu ulogu u zajednicama tla. Oni utječu na brzinu razgradnje organskih ostataka, aeraciju tla, mineralizaciju hranjivih tvari, primarnu produkciju te druge usluge ekosustava. Fauna tla može snažno utjecati na sekvestraciju CO<sub>2</sub> tla i njegovo otpuštanje te ima kritičnu ulogu u mobilnosti toksičnih kemijskih tvari i metala. Zbog toga je važna i za remedijaciju jer izravno utječe na oporavak i restoraciju ekoloških sustava. Naravno, važna je i uloga faune tla u hranidbenim lancima. Bioraznolikost je kritična u reguliranju najvažnijih procesa u ekološkim sustavima kao što je recikliranje

organske tvari nastale na površini kao i održavanje strukture tla omogućujući prodiranje vode i hranjivih tvari.

Organizmi tla su obično kategorizirani u tri grupe s obzirom na veličinu tijela (mikroflora i mikrofauna, mezofauna te makrofauna).



Slika 2. Podjela faune tla s obzirom na veličinu tijela

### Mikroflora tla

Najbrojniji i najraznovrsniji članovi hranidbene mreže tla su bakterije i gljive, koje se često nazivaju mikroflora tla (uključuju još i viruse, aktinomicete i alge). Ova grupa se nadalje može podijeliti s obzirom na funkcionalne uloge. Na primjer, bakterije uključuju oksidanse i reducente mikronutrijenata (npr., dušika, fosfora i sumpora), dok se gljivice mogu klasificirati ovisno o uključenosti u postupnu razgradnju šećera, celuloze, lignina i sekundarnih metabolita. Zadovoljavajuća procjena brojnosti mikroorganizama u tlu dugo je vremena bila limitirana nedostatkom pouzdanih tehnika. Trenutno su dostupne poboljšane tehnike, a bolje razumijevanje oblika raspodjele i biologije mikroorganizama pomaže određivanju odgovarajućeg dizajna uzorkovanja. Bakterije i gljive su glavne komponente mikrobne zajednice te se većina biomase mikrofaune odnosi na njih. Aktinomicete su često pridružene bakterijama, a povremeno mogu činiti i 30-50% ukupne brojnosti. Brojnost mikroorganizama može se odrediti (A) izravnim metodama kao što je brojanje stanica ili analiziranje tla u potrazi za specifičnim sastojinama njihovih stanica te (B) neizravnim ili "fiziološkim" metodama koje se preferiraju jer zahtijevaju manje vremena i pružaju vrijedan indeks procjene mikrobne funkcije u tlima.

Prostorna raspodjela i brojnost mikroorganizama tla je izrazito fragmetirana te je određivanje njihove prosječne brojnosti vrlo teško. Mikroorganizmi su većinom agregirani oko korijenja, ekskremenata i ostalih nakupina organske tvari te npr. u mukusu kojim su obloženi hodnici gujavica.

### **Mikrofauna tla**

Nematode (neki ih uključuju u mezofaunu) i protozoe imaju tijelo veličine manje od 0.1 mm. One su primarni predatori mikroflore i mogu se podijeliti po tome hrane li se na bakterijama ili gljivama. Slobodnoživuće protozoe listinca i tala klasificirana su u dva koljena: Sarcomastigophora i Ciliophora. Mogu se promatrati kao četiri ekološke grupe: bičaši, amebe, testacea i trepetljikaši. Protozoa i druga mikrofauna tla prilično je osjetljiva na degradaciju okoliša, pa su promjene u raspodjeli i aktivnostima upotrebljavaju kao indikator promjena zdravlja tala.

### **Mezofauna tla**

Predstavnici mezofaune imaju tijelo širine 0.1-2.0 mm te uključuje mikroartropode (skokune (Collembola) i Symphyla)), grinje (Acari), te enhitreje (Enchytraeidae). Mezofauna se može dodatno podijeliti ovisno o hranidbenim strategijama na bakterivorne, fungivorne i predatorske (hrane se mikrofaunom ili mezofaunom). No, mnogi predstavnici mezofaune su sposobni hraniti se različitom vrstom hrane, ovisno o njenoj dostupnosti, tako da te podjele nisu strogo definirane. Mikroartropode su stalni stanovnici prostora između listinca i površine tla te većinom funkcioniraju kao epigejni razlagači. Brojčano, ali i po udjelu u biomasi dominantni su Apterygota, Collembola i Acari. Apterygota (Protura, Diplura i Thysanura), Micromyriapoda (Symphyla, Pauropoda i Polyxenidae) ili ličinke malih Diptera i Coleoptera mogu imati iznimnu lokalnu važnost.

### **Makrofauna tla**

Makrofauna su organizmi sa širinom tijela većom od 2 mm koja uključuje različite vrste člankonožaca, gujavica i mekušaca koji zauzimaju različite trofičke razine: od glavnih konzumenata površinskih organskih ostataka (dvojenoge i ličinke kukaca), konzumenata organske tvari u tlu u uznapređovalom stupnju razgradnje (npr. gujavice), do predatora (podzemni ili površinski pauci, kukci). U smislu njihove brojnosti te bioloških i pedogenetskih uloga u tlima, gujavice, termiti i mravi su najvažniji predstavnici zajednica makrofaune tla. Važnost njihovih aktivnosti donijela im je naziv inženjera ekoloških sustava. Makroartropode i mekušci su stalni stanovnici listinca i u manjem obimu tla, no oni općenito imaju specifičnije ekološke uloge.

Mikro-, mezo- i makrofauna se pojavljuje zajedno s mikroflorom na kojoj se hrane, gdje se hrane međusobno ili na organskoj tvari tla. Ovi organizmi su primarni konzumenti u hranidbenoj mreži tla te su u velikoj mjeri odgovorni za razgradnju i mineralizaciju organske tvari. Najvažnija funkcionalna razlika između makrofaune u odnosu na mikro- i mezofaune je sposobnost velikih fizičkih promjena (bioturbacija) u tlu.

Izv. prof. dr. sc. Davorka K. Hackenberger

## Gujavice – nevidljivi inženjeri stabilnosti ekosustava tla

Gujavice značajno utječu na strukturu tla svojim kretanjem i hranidbenim navikama. Kroz svoje stalno kretanje u tlu, gujavice stvaraju kompleksnu mrežu tunela koja poboljšava agregaciju tla. Tuneli koje gujavice ostavljaju za sobom stvaraju makroporozne strukture, omogućujući bolju cirkulaciju zraka, vode i korijena biljaka kroz tlo (Edwards & Bohlen, 1996). Ovaj proces se naziva bioturbacija, i ona doprinosi miješanju različitih slojeva tla, ravnomjernoj raspodjeli organskih i anorganskih materijala te poboljšava strukturu tla (Lavelle i sur., 1997). Također, kako gujavice konzumiraju organsku tvar, poput lišća i drugih biljnih ostataka, one je miješaju s mineralnim česticama tla koje se tijekom probave prekrivaju sa sluzi što poboljšava sposobnost tla da zadržava vodu i hranjive tvari (Brown i sur., 2000). Stvaranje stabilnih agregata tla od strane gujavica povećava njegovu otpornost na eroziju te sprječava gubitak hranjivih tvari iz tla.

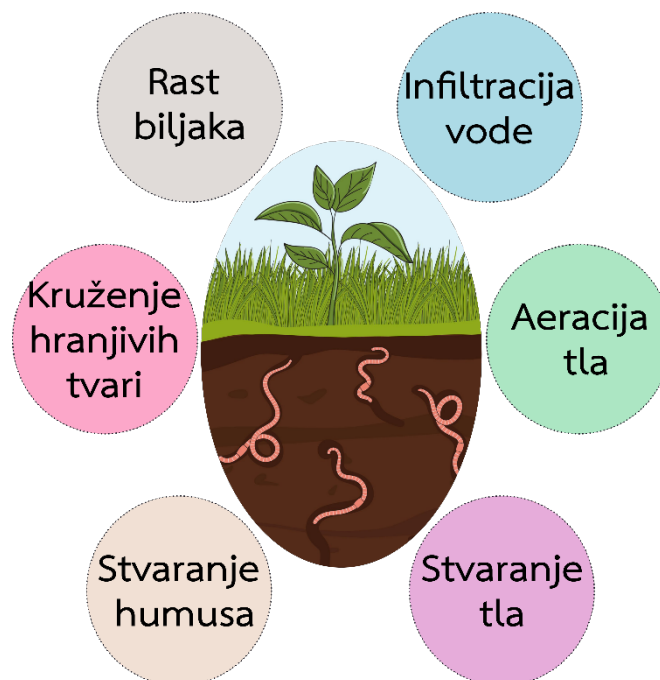
Jedna od najvažnijih uloga gujavica u tlu je stvaranje kanala i tunela koji značajno poboljšavaju aeraciju tla. Kretanjem kroz tlo, gujavice formiraju šupljine koje omogućuju protok zraka i vode do dubljih slojeva tla što je važno za zdravlje biljaka jer osigurava dotok kisika korijenju i istovremeni odljev viška vode iz tla (Lee, 1985). Bolja aeracija također stvara povoljne uvjete za rast mikroorganizama i bakterija ključnima za razgradnju organske tvari i dostupnost hranjivih tvari biljkama (Lavelle & Spain, 2001). Proces aeracije tla koji provode gujavice olakšava infiltraciju vode, smanjujući tako rizik od poplava i zadržavanja vode na površini tla. Istraživanja su pokazala kako prisutnost gujavica može povećati infiltraciju vode u tlo i do deset puta u usporedbi s tlom bez gujavica (Blouin i sur., 2013). Time gujavice znatno pridonose smanjenju erozije tla, što je osobito važno u poljoprivrednim područjima gdje je tlo podložnije degradaciji.

Gujavice imaju ključnu ulogu u recikliranju i razgradnji organskih tvari, čime osiguravaju dostupnost hranjivih tvari biljkama. Dok se gujavice hrane organskim materijalom poput lišća, trave i korijenskih ostataka, one ga razgrađuju u sitne čestice i vraćaju u tlo u obliku izmeta poznatog kao "ekskrement" (Scheu, 1987). Tijekom probave, gujavice također obogaćuju organsku tvar enzimima i mikroorganizmima, povećavajući dostupnost hranjivih tvari biljkama. Proces probave gujavica dodatno razgrađuje organske materijale, a rezultat je obogaćivanje već postojećeg humusa hranjivim tvarima koji ima visoku sposobnost zadržavanja vlage (Lavelle i sur., 1998) pa biljke mogu lakše pristupiti hranjivim tvarima i koristiti ih za svoj rast i razvoj. Gujavice također pridonose mineralizaciji organskih tvari, odnosno pretvaranja organskog dušika u oblik koji biljke mogu apsorbirati. Ovim procesom gujavice održavaju plodnost tla i osiguravaju stalan izvor hranjivih tvari za biljke (Domínguez, 2004).

Gujavice igraju ključnu ulogu u procesu razgradnje organskog materijala i stvaranja vermikomposta bogatog hranjivim tvarima i bitan za plodnost tla. Organski materijal, poput biljnih ostataka, lišća, korijena i drugih oblika mrtve organske tvari, prolazi kroz probavni sustav gujavica. Tijekom ovog procesa, gujavice razgrađuju materijal na sitne čestice, čime ga pretvaraju pogodnim za daljnjom pretvorbom u humus – tamnu, bogatu tvar koja poboljšava strukturu tla i zadržava vlagu (Edwards & Bohlen, 1996). Humus djeluje kao "spremnik" hranjivih tvari, polako ih otpuštajući u tlo, čime se osigurava dugotrajna plodnost tla. Ovaj proces značajno povećava kapacitet tla da zadrži vlagu, smanjujući potrebu za navodnjavanjem i dodatnim gnojivima (Lavelle i sur., 1998).

Gujavice su od presudne važnosti za recikliranje hranjivih tvari poput dušika (N), fosfora (P) i kalija (K), koji su ključni za rast biljaka. Dok se gujavice hrane organskim materijalom, one razgrađuju složene organske molekule, oslobađajući pritom hranjive tvari koje postaju dostupne biljkama (Blouin i sur., 2013). Dušik, jedan od najvažnijih hranjivih elemenata za biljke, često je ograničen u tlu. Gujavice ubrzavaju ciklus dušika razgrađujući organski materijal i pretvarajući organske oblike dušika u mineralne oblike, poput amonijaka i nitrata, koje biljke mogu lako apsorbirati (Lavelle & Spain, 2001). Proces probave gujavica također obogaćuje tlo fosforom, jednim od ključnih elemenata za razvoj korijenskog sustava i cvjetanje biljaka (Brown i sur., 2000). Istraživanja su pokazala da tlo koje sadrži gujavice ima višu koncentraciju dušika, fosfora i kalija u usporedbi s tlom bez gujavica, što potvrđuje njihovu važnu ulogu u recikliranju hranjivih tvari i održavanju plodnosti tla (Scheu, 1987).

Jedan od ključnih učinaka gujavica na plodnost tla je i povećanje mikrobiološke aktivnosti. Prolaz tla kroz probavni sustav gujavica obogaćuje ga enzimima, mikroorganizmima i hranjivim tvarima, što stvara idealne uvjete za rast i razvoj mikroorganizama u tlu (Edwards, 2004). Ovi mikroorganizmi, uključujući bakterije i gljivice, igraju ključnu ulogu u razgradnji organske tvari, oslobađanju hranjivih tvari i održavanju plodnosti tla. Mikroorganizmi u probavnom sustavu gujavica također razgrađuju složene organske molekule, poput celuloze i lignina, koje su inače teško razgradive. Kao rezultat toga, gujavice povećavaju biodostupnost hranjivih tvari i stvaraju povoljne uvjete za rast biljaka (Brown, 1995). Dodatno, istraživanja su pokazala da tlo bogato gujavicama ima veću mikrobiološku raznolikost i aktivnost, što pridonosi bržoj razgradnji organske tvari i povećava ukupnu plodnost tla (Lavelle i sur., 2006). Zahvaljujući ovom povećanju mikrobiološke aktivnosti, tlo postaje bogatije hranjivim tvarima, što doprinosi zdravijem rastu biljaka.



Slika 1. Uloge gujavica u ekosustavima tla.

### Gujavice i stabilnost ekosustava

Gujavice značajno doprinose bioraznolikosti tla stvarajući povoljne uvjete za razvoj drugih organizama. Njihovo stalno kretanje kroz tlo i stvaranje tunela povećava mikroporoznost tla, što omogućuje bolji prodor zraka, vode i hranjivih tvari do dubljih slojeva (Lavelle i Spain, 2001). Ovi tuneli postaju staništa



za mnoge druge organizme, uključujući bakterije, gljivice, protozoe i sitne beskralješnjake, koji čine bitan dio tla. Razgradnjom organskog materijala gujavice također obogaćuju tlo hranjivim tvarima, što povećava aktivnost mikroorganizama i potiče razvoj mikrobiološke raznolikosti. Bioraznolikost tla igra ključnu ulogu u održavanju ekosustava jer poboljšava kruženje hranjivih tvari, stabilizira strukturu tla i povećava otpornost ekosustava na stresove poput suše, erozije ili zagađenja (Brown i sur., 2000). Gujavice također potiču rast biljaka, poboljšavajući njihovu dostupnost hranjivim tvarima i stvarajući simbiotske odnose s mikoriznim gljivicama, što zauzvrat pozitivno utječe na bioraznolikost nadzemnih organizama (Blouin i sur., 2013). S obzirom na ove čimbenike, gujavice se često nazivaju "inženjerima ekosustava" jer svojim djelovanjem stvaraju uvjete pogodne za različite organizme.

Jedna od najvažnijih uloga gujavica u tlu je smanjenje erozije, što pridonosi stabilnosti ekosustava. Kretanjem kroz tlo, gujavice stvaraju mrežu tunela koja poboljšava infiltraciju vode u tlo, sprječavajući nakupljanje površinske vode koja bi mogla uzrokovati eroziju (Edwards & Bohlen, 1996). Tuneli gujavica također poboljšavaju strukturu tla, povećavajući njegovu stabilnost i otpornost na erozijske procese.



Slika 2. Tuneli vrste *Octodrilus istrianus*.

Izmet gujavica (engl. *castings*) koji ostaje na površini tla ima veću sposobnost zadržavanja vode nego okolno tlo, što pomaže u smanjenju površinskog otjecanja vode tijekom kišnih razdoblja (Shuster i sur., 2002). Gujavice također pomažu u stvaranju agregata tla, što dodatno smanjuje rizik od erozije jer agregati povećavaju koheziju čestica tla. Studije su pokazale da područja bogata gujavicama imaju znatno niže stope erozije u usporedbi s područjima bez njih, što ukazuje na njihovu ključnu ulogu u održavanju strukture tla i prevenciji gubitka tla (Le Bayon & Binet, 2006).

Gujavice služe kao most između "podzemnih" i "nadzemnih" ekosustava, utječući na zdravlje biljaka, što zauzvrat utječe na druge životinjske vrste. Kroz razgradnju organskog materijala i stvaranje humusa, gujavice poboljšavaju plodnost tla, što omogućuje biljkama da rastu zdravije i snažnije. Zdrave biljke pružaju hranu i stanište za razne kukce, ptice i sisavce, čime se gujavice indirektno uključuju u održavanje bioraznolikosti "nadzemnih" ekosustava (Lavelle i sur., 1997). Gujavice također utječu na dinamiku hranidbenih lanaca u tlu, jer su izvor hrane za mnoge predatore, uključujući ptice, sisavce i kukce. Na ovaj način, gujavice predstavljaju ključnu poveznicu između različitih ekoloških niša i igraju vitalnu ulogu u održavanju ekosustava (Wallwork, 1983).

Studije su pokazale da prisutnost gujavica može značajno povećati produktivnost biljaka, što utječe na brojnost i raznolikost životinjskih vrsta koje ovise o tim biljkama za hranu i sklonište (Scheu, 2003). Na

taj način, gujavice doprinose stvaranju složenih interakcija između tla i nadzemnih ekosustava, osiguravajući stabilnost i održivost cijelog ekosustava.

### **Gujavice i klimatske promjene**

Gujavice igraju značajnu ulogu u procesu sekvestracije ugljika, što je ključni mehanizam u borbi protiv klimatskih promjena. Sekvestracija ugljika odnosi se na proces uklanjanja ugljika iz atmosfere i pohranjivanja u tlo u obliku organskog ugljika, čime se smanjuje koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi (Lal, 2004). Kroz svoju aktivnost u tlu, gujavice razgrađuju organske materijale, poput lišća, korijenja i biljnog otpada, i miješaju ih s mineralnim česticama tla. Tijekom probave, gujavice pretvaraju organske materijale u stabilne oblike koji mogu postati sastavnim dijelom humusa i koji sadrži visoku koncentraciju organskog ugljika (Lavelle i sur., 1997). Ovaj humus je otporan na razgradnju i može ostati u tlu desetljećima ili čak stoljećima, čime se učinkovito pohranjuje ugljik i smanjuje njegov povratak u atmosferu (Don i sur., 2008).

Područja bogata gujavicama imaju znatno veću razinu organskog ugljika u tlu u usporedbi s područjima bez gujavica (Fonte i sur., 2009). Na taj način gujavice poboljšavaju kapacitet tla da pohranjuje ugljik i pridonose ublažavanju klimatskih promjena. Osim toga, gujavice potiču rast mikroorganizama koji sudjeluju u razgradnji organskog materijala, čime se ubrzava proces sekvestracije ugljika (Brown i sur., 2000). Time gujavice djeluju kao katalizatori u ciklusu ugljika u tlu, omogućujući bržu i učinkovitiju pohranu ugljika.

Gujavice igraju ključnu ulogu u povećanju otpornosti tla na ekstremne vremenske uvjete, poput suša i poplava, što je od velike važnosti u kontekstu klimatskih promjena. Kroz svoj rad u tlu, gujavice stvaraju mrežu tunela i kanala, čime poboljšavaju strukturu tla i omogućuju bolji protok vode i zraka (Edwards & Bohlen, 1996). Prisutnost ovih tunela olakšava infiltraciju vode tijekom kišnih razdoblja, smanjujući površinski otjecanje vode i rizik od poplava (Blouin i sur., 2013). To znači da tla koja sadrže gujavice mogu upiti i zadržati veće količine vode, što povećava njihovu sposobnost da se nose s intenzivnim padalinama.

S druge strane, tijekom sušnih razdoblja, gujavice pomažu u zadržavanju vlage u tlu. Izmet gujavica ima visoku sposobnost zadržavanja vode, što omogućava biljkama pristup vodi i u sušnim uvjetima (Shipitalo & Le Bayon, 2004). Na taj način gujavice čine tlo otpornijim na sušu i pomažu biljkama da prežive u uvjetima ograničene dostupnosti vode. Dodatno, gujavice poboljšavaju kapacitet tla za zadržavanje hranjivih tvari, čime omogućuju biljkama da bolje apsorbiraju hranjive tvari čak i u stresnim uvjetima. Zahvaljujući ovim procesima, tla bogata gujavicama imaju veću otpornost na promjene okoliša i pružaju stabilnije uvjete za rast biljaka, čime se povećava otpornost ekosustava na klimatske promjene (Lavelle i sur., 2006).

### **Zaštita gujavica**

Jedna od najvećih prijetnji populaciji gujavica je intenzivna poljoprivreda i upotreba kemikalija poput pesticida i umjetnih gnojiva. Poljoprivredne prakse, uključujući oranje, duboku obradu tla i upotrebu kemikalija, negativno utječu na gujavice na različite načine (Edwards & Bohlen, 1996).

Pesticidi, posebice insekticidi i herbicidi, mogu biti toksični za gujavice, uzrokujući izravnu smrtnost ili narušavanje njihovih tjelesnih funkcija, što može smanjiti njihovu sposobnost razmnožavanja i

preživljavanja (Pelosi i sur., 2013). Umjetna gnojiva, posebno ona koja sadrže visoke koncentracije amonijaka i nitrata, mogu negativno utjecati na populaciju gujavica jer narušavaju kemijsku ravnotežu tla i mijenjaju mikrobiološku zajednicu tla, čime se smanjuje dostupnost hrane za gujavice (Lowe & Butt, 2005). Osim toga, intenzivna poljoprivredna obrada tla uništava tunnelske sustave koje gujavice stvaraju, smanjujući njihovu sposobnost kretanja, hranjenja i razmnožavanja. Istraživanja su pokazala da se populacija gujavica može smanjiti i do 90% na područjima gdje se intenzivno primjenjuju poljoprivredne prakse (Fragoso i sur., 1997).

Urbanizacija i promjene u korištenju zemljišta također predstavljaju ozbiljnu prijetnju staništima gujavica. Kako se područja urbaniziraju i prirodni krajolici transformiraju u poljoprivredna zemljišta ili građevinske zone, staništa gujavica se uništavaju ili mijenjaju, smanjujući njihovu populaciju (Hendrix & Bohlen, 2002). Izgradnja cesta, zgrada i druge infrastrukturne aktivnosti mogu fizički uništiti staništa gujavica i ograničiti njihovo kretanje i pristup hrani. Degradacija tla, zbijanje i gubitak organske tvari također smanjuju mogućnost preživljavanja gujavica, budući da se ovi uvjeti odražavaju na njihov izvor hrane i stanište (Decaëns i sur., 2008). Monokulture i prekomjerna ispaša stoke mogu dodatno smanjiti bioraznolikost tla i prisutnost gujavica, što dovodi do gubitka njihove uloge u održavanju zdravlja tla i stabilnosti ekosustava. Klimatske promjene također utječu na staništa gujavica, jer promjene u temperaturi i vlažnosti tla mogu smanjiti dostupnost prikladnih uvjeta za njihov život (Jones i sur., 2009).

Za zaštitu gujavica i njihovih staništa, potrebno je provesti niz mjera koje će smanjiti negativne utjecaje poljoprivrede i urbanizacije. Jedan od najučinkovitijih načina je promicanje organske poljoprivrede, koja uključuje korištenje prirodnih gnojiva i metoda kontrole štetnika umjesto kemikalija. Organska poljoprivreda omogućuje stvaranje povoljnijih uvjeta za život gujavica, što rezultira većom bioraznolikošću i plodnošću tla (Pfiffner & Mäder, 1997). Smanjenje upotrebe pesticida i gnojiva može također pomoći u očuvanju gujavica. Poljoprivrednici mogu koristiti alternativne metode, poput biološke kontrole štetnika, integrirane zaštite bilja i korištenja komposta umjesto kemijskih gnojiva, kako bi smanjili štetne učinke na gujavice (House & Parmelee, 1985).

Očuvanje prirodnih staništa i obnavljanje degradiranih područja također su ključne mjere za zaštitu gujavica. Zasijavanje tla pokrovnim kulturama, održavanje šumskih rubova, te stvaranje zelenih koridora može pomoći gujavicama da se kreću i šire unutar svojih staništa (Eijsackers, 2011). Osim toga, edukacija i podizanje svijesti o važnosti gujavica za ekosustave može potaknuti donošenje odluka koje će pridonijeti njihovoj zaštiti. Istraživanja i praćenje populacija gujavica također su važni koraci kako bi se osiguralo bolje razumijevanje njihovih staništa i potreba te kako bi se razvile učinkovite mjere zaštite.

#### Literatura:

1. Blouin, M., Hodson, M. E., Delgado, E. A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K. R., & Brun, J. J. (2013). A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science*, 64(2), 161-182. <https://doi.org/10.1111/ejss.12025>
2. Brown, G. G. (1995). How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity? *Plant and Soil*, 170(1), 209-231. <https://doi.org/10.1007/BF00010477>
3. Brown, G. G., Barois, I., & Lavelle, P. (2000). Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional

- domains. *European Journal of Soil Biology*, 36(3-4), 177-198. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(00\)01062-1](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(00)01062-1)
4. Decaëns, T., Jiménez, J. J., Gioia, C., Measey, G. J., & Lavelle, P. (2008). The values of soil animals for conservation biology. *European Journal of Soil Biology*, 44(1), 23-38. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.09.001>
  5. Domínguez, J. (2004). State-of-the-art and new perspectives on vermicomposting research. *European Journal of Soil Biology*, 40(4), 529-535. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2004.09.004>
  6. Don, A., Schumacher, J., & Freibauer, A. (2008). Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis. *Global Change Biology*, 17(4), 1658-1670. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x>
  7. Edwards, C. A. (2004). *Earthworm ecology* (2nd ed.). CRC Press.
  8. Edwards, C. A., & Bohlen, P. J. (1996). *Biology and ecology of earthworms* (3rd ed.). Springer Science & Business Media.
  9. Eijsackers, H. (2011). Earthworms as colonizers of natural and cultivated soil environments. *Applied Soil Ecology*, 50(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.08.002>
  10. Fonte, S. J., Winsome, T., & Six, J. (2009). Earthworm populations in relation to soil organic matter dynamics and management in California cropping systems. *Soil and Tillage Research*, 104(1), 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.11.002>
  11. Fragoso, C., Lavelle, P., Blanchart, E., Senapati, B., Jiménez, J. J., Martínez, M. A., ... & Kanaujia, S. (1997). Earthworm communities of tropical agroecosystems: Effects of soil and crop management. In P. Lavelle, L. Brussaard, & P. Hendrix (Eds.), *Earthworm management in tropical agroecosystems* (pp. 27-55). CABI Publishing.
  12. Hendrix, P. F., & Bohlen, P. J. (2002). Exotic earthworm invasions in North America: Ecological and policy implications. *BioScience*, 52(9), 801-811. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0801:EEIINA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0801:EEIINA]2.0.CO;2)
  13. House, G. J., & Parmelee, R. W. (1985). Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems. *Soil and Tillage Research*, 5(4), 351-360. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(85\)90023-X](https://doi.org/10.1016/0167-1987(85)90023-X)
  14. Jones, C. G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (2009). Organisms as ecosystem engineers. In C. G. Jones & J. H. Lawton (Eds.), *Linking species and ecosystems* (pp. 37-49). Springer.
  15. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
  16. Lavelle, P., & Spain, A. V. (2001). *Soil ecology*. Kluwer Academic Publishers.
  17. Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Martin, S., Spain, A., Toutain, F., & Barois, I. (1997). Impact of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics. In A. P. Gupta (Ed.), *Management of biological nitrogen fixation for the development of more productive and sustainable agricultural systems* (pp. 173-199). Springer.

18. Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., ... & Rossi, J. P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42(Supplement 1), S3-S15. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.10.002>
19. Lavelle, P., Spain, A. V., Blanchart, E., Martin, A., & Martin, S. (1998). Soil fauna and ecosystem function in the tropics: scaling down to see the big picture. In M. Lal (Ed.), *Management of Soil Organic Matter and Organic Carbon Sequestration in Soils* (pp. 93–126). Springer.
20. Le Bayon, R. C., & Binet, F. (2006). Earthworm cast influence on soil structure and microbial activity. *Soil Biology & Biochemistry*, 38(9), 2069-2077. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.01.013>
21. Lee, K. E. (1985). *Earthworms: Their ecology and relationships with soils and land use*. Academic Press.
22. Lowe, C. N., & Butt, K. R. (2005). Culture techniques for soil dwelling earthworms: A review. *Pedobiologia*, 49(5), 401-413. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.05.001>
23. Pelosi, C., Barot, S., Capowiez, Y., Hedde, M., & Vandenbulcke, F. (2013). Pesticides and earthworms. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 199-228. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0151-z>
24. Pfiffner, L., & Mäder, P. (1997). Effects of biodynamic, organic and conventional production systems on earthworm populations. *Biological Agriculture & Horticulture*, 15(1-4), 3-10. <https://doi.org/10.1080/01448765.1997.9754777>
25. Scheu, S. (1987). Microbial activity and nutrient dynamics in earthworm casts (Lumbricidae). *Biology and Fertility of Soils*, 5(3), 230-234. <https://doi.org/10.1007/BF00257647>
26. Scheu, S. (2003). Effects of earthworms on plant growth: patterns and perspectives. *Pedobiologia*, 47(5-6), 846-856. <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00270>
27. Shipitalo, M. J., & Le Bayon, R. C. (2004). Quantifying the effects of earthworms on soil aggregation and porosity. In C. A. Edwards (Ed.), *Earthworm ecology* (2nd ed., pp. 183-200). CRC Press.
28. Shuster, W. D., Subler, S., & McCoy, E. L. (2002). The influence of earthworm community structure on the distribution and movement of solutes in a chisel-tilled soil. *Applied Soil Ecology*, 21(2), 159-167. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(02\)00047-5](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(02)00047-5)
29. Wallwork, J. A. (1983). *Earthworm biology*. Edward Arnold.

Prof. dr. sc. Branimir Hackenberger Kutuzović,  
Izv. Prof. dr. sc. Davorka Hackenberger Kutuzović



## Utjecaj poljoprivrede na herpetofaunu

Poljoprivreda je jedna od najvažnijih ljudskih aktivnosti, koja značajno oblikuje kopnene ekosustave diljem svijeta. Iako je ključna za osiguravanje hrane, poljoprivreda ima i brojne negativne utjecaje na bioraznolikost, uključujući i na herpetofaunu, skupinu kralježnjaka koja obuhvaća gmazove (Reptilia) i vodozemce (Amphibia). Herpetofauna je često vrlo osjetljiva na promjene u okolišu zbog specifičnih zahtjeva za staništem i životnim uvjetima, što ih čini dobrim bioindikatorima ekoloških promjena. Negativan utjecaj poljoprivrede ogleda se ponajprije kroz pet posljedica poljoprivredne proizvodnje: gubitak i fragmentaciju staništa, upotrebu pesticida, upotrebu gnojiva, upotrebu poljoprivredne mehanizacije i promjene hidroloških režima.

### Utjecaj gubitka i fragmentacije staništa

Fragmentacija staništa je proces kojim se velika, kontinuirana staništa razbijaju na manje, izolirane fragmente, često zbog poljoprivrednih aktivnosti poput krčenja šuma, pretvaranja močvara u obradive površine i intenziviranja poljoprivrede. Herpetofauna je posebno ranjiva na fragmentacije zbog svoje ograničene sposobnosti kretanja i specifičnih potreba za staništima. Vodozemci često ovise o vodenim staništima za razmnožavanje i kopnenim staništima za ostatak svog životnog ciklusa, dok gmazovi ovise o specifičnim mikroklimatskim uvjetima, kao što su odgovarajuća temperatura tla i dostupnost skloništa. Gubitak i fragmentacija staništa može ozbiljno ograničiti njihovo kretanje, što dovodi do izolacije populacija, smanjenja genetičke raznolikosti i povećanja rizika od izumiranja. Jedna od glavnih posljedica fragmentacije staništa je smanjenje veličine populacija i ograničenje protoka gena između njih, što može dovesti do *inbreedinga* i smanjenja sposobnosti prilagodbe na promjene u okolišu. Fragmentacija staništa često rezultira povećanjem rubnih efekata, odnosno promjenama u ekološkim uvjetima na granicama između prirodnih staništa i poljoprivrednih površina. Ove promjene mogu povećati izloženost herpetofaune predatorima, bolestima i ljudskim aktivnostima. Gmazovi su posebno osjetljivi na fragmentaciju staništa jer su ovisni o termoregulaciji. Promjene u mikroklimatskim uvjetima, poput temperature tla i vlažnosti, mogu značajno utjecati na njihovu sposobnost regulacije tjelesne temperature, što može smanjiti njihovu kondiciju i preživljavanje.

### Utjecaj upotrebe pesticida

Upotreba pesticida u poljoprivredi predstavlja značajnu prijetnju herpetofauni, a njezini učinci su višestruki i često su pogubni za ove organizme. Pesticidi, koji uključuju insekticide, herbicide, fungicide i rodenticide, često ulaze u okoliš kroz različite poljoprivredne prakse i mogu kontaminirati tla, vodna tijela i vegetaciju, stvarajući toksično okruženje za herpetofaunu. Izravni učinci pesticida uključuju akutnu toksičnost, što može dovesti do brze smrtnosti kod gmazova i vodozemaca. Insekticidi, poput organofosfata i karbamata, mogu inhibirati vitalne enzime, kao što je acetilkolinesteraza, što uzrokuje neurotoksične simptome i paralizu. Dugoročna izloženost pesticidima također može uzrokovati kroničnu toksičnost, uključujući smanjenje reproduktivnog uspjeha, smanjeni rast, oštećenje organa i oslabljeni imunološki sustav, čime se povećava podložnost bolestima i parazitima. Vodozemci su posebno osjetljivi na pesticide zbog relativno velike propusnosti njihove kože, koja omogućuje brzo upijanje kemikalija iz okoliša. Istraživanja su pokazala kako čak i niske koncentracije pesticida mogu izazvati deformacije kod punoglavaca, usporiti njihov rast i razvoj te povećati smrtnost. Osim izravnih

fizioloških učinaka, pesticidi mogu utjecati i na ponašanje herpetofaune. Subletalne doze pesticida, mogu uzrokovati smanjenje aktivnosti, promjene u obrascima hranjenja, poremećaje u plivanju ili smanjenu sposobnost izbjegavanja predatora. Ovi promijenjeni obrasci ponašanja mogu povećati ranjivost herpetofaune na predaciju i smanjiti njihovu sposobnost preživljavanja u prirodi. Jedan od najvažnijih neizravnih učinaka pesticida je njihov utjecaj na reproduktivne kapacitete gmazova i vodozemaca. Istraživanja su pokazala kako izloženost pesticidima može smanjiti plodnost, uzrokovati deformacije kod embrija te utjecati na razvoj sekundarnih spolnih obilježja.

### **Utjecaj upotrebe gnojiva**

Primjena gnojiva u poljoprivredi može imati značajne negativne učinke na herpetofaunu, a vodozemci su posebno osjetljivi na te promjene zbog svoje fiziologije i životnog ciklusa. Gnojiva koja sadrže dušik, fosfor, kalij i druge hranjive tvari često dopijevaju u obližnja vodna tijela uslijed površinskog otjecanja ili ispiranja iz tla što može uzrokovati eutrofikaciju, koja pak stvara nepovoljne uvjete za vodene faze vodozemaca i može imati dugoročne posljedice na njihove populacije. Eutrofikacija vodnih tijela, uzrokovana visokim razinama dušika i fosfora iz gnojiva, može dovesti do prekomjernog rasta algi i drugih vodenih biljaka. Kako alge i biljke propadaju, razgradnja organskog materijala od strane bakterija troši velike količine kisika, stvarajući uvjete hipoksije ili čak anoksije. Ovakvi uvjeti su izuzetno štetni za vodene vodozemce, uključujući punoglavce, koji ovise o kisiku za disanje i razvoj. Rezultirajući nedostatak kisika može smanjiti stopu preživljavanja, utjecati na rast, uzrokovati malformacije i produžiti vrijeme metamorfoze. Gnojiva koja sadrže nitrata i nitrite također predstavljaju izravnu toksičnost za vodozemce. Nitrati se lako otapaju u vodi i mogu doseći koncentracije koje su štetne za vodozemce, uzrokujući smanjenje stope preživljavanja, smanjeni rast i smanjenu reproduktivnu sposobnost.

### **Utjecaj upotrebe poljoprivredne mehanizacije**

Mehanizacija je u poljoprivredi značajno povećala učinkovitost proizvodnje, ali je također stvorila i nove prijetnje za herpetofaunu. Poljoprivredni strojevi mogu uzrokovati izravne i neizravne štetne učinke na vodozemce i gmazove, osobito na vrste koje se polako kreću ili koriste poljoprivredne površine kao staništa. Gmazovi i vodozemci su posebno ranjivi na ozljede i smrtnost tijekom mehaničke obrade tla, žetve, košnje i drugih poljoprivrednih aktivnosti. Da bi se smanjili negativni utjecaji mehanizacije na herpetofaunu, predložene su različite mjere očuvanja. Na primjer, implementacija zona zaštite oko područja bogatih herpetofaunom, stvaranje pojasa vegetacije ili travnjaka duž poljoprivrednih površina, te smanjenje intenziteta obrade tla mogu pomoći u smanjenju rizika od smrtnosti. Također, edukacija poljoprivrednika o važnosti herpetofaune i poticanje korištenja manje invazivnih metoda obrade tla mogu doprinijeti očuvanju ovih osjetljivih organizama.

### **Utjecaj promjena u hidrološkom režimu**

Poljoprivredne prakse značajno utječu na hidrološki režim ekosustava, što može imati ozbiljne posljedice za herpetofaunu. Te promjene uključuju promjene u vlažnosti tla, razini podzemnih voda, vodostaju u rijekama i jezerima, kao i dostupnosti vodenih staništa koja su ključna za opstanak mnogih vrsta. Navodnjavanje, isušivanje močvara, izgradnja kanala i sustava odvodnje te regulacija rijeka predstavljaju glavne mehanizme putem kojih poljoprivreda mijenja hidrološki režim i time utječe na staništa herpetofaune. Navodnjavanje poljoprivrednih površina često rezultira promjenama u lokalnoj

vlažnosti tla, stvarajući uvjete koji nisu prikladni za mnoge vrste herpetofaune. Prekomjerno navodnjavanje može uzrokovati zasićenje tla vodom, što stvara anaerobne uvjete koji mogu biti nepovoljni za mnoge vrste gmazova. Također, navodnjavanje može dovesti do povećanja koncentracija soli u tlu, stvarajući hipertonično okruženje koje je štetno za vodozemce, posebno tijekom faze jaja i punoglavaca. S druge strane, neadekvatno navodnjavanje i smanjenje vodnih resursa mogu dovesti do isušivanja privremenih vodenih tijela i močvara koje su ključna za reprodukciju mnogih vrsta vodozemaca. To može rezultirati smanjenom stopom preživljavanja jaja i punoglavaca te smanjenjem broja jedinki koje ulaze u odraslu populaciju. Hidrološke promjene uzrokovane poljoprivrednim aktivnostima također mogu utjecati na suha staništa koja su važna za gmazove. Smanjenje dostupnosti vode može promijeniti mikroklimatske uvjete, uključujući temperaturu i vlažnost, čime se smanjuje dostupnost prikladnih termoregulacijskih mikrohabitatnih uvjeta. Promjene u vlažnosti tla također mogu utjecati na dostupnost skloništa u podzemnim jazbinama i pukotinama, što može smanjiti stope preživljavanja kod gmazova koji koriste ova staništa. Važno je napomenuti da promjene u hidrološkom režimu često djeluju u kombinaciji s drugim stresorima, kao što su fragmentacija staništa, upotreba pesticida i gnojiva, te klimatske promjene. Ovi kombinirani učinci mogu povećati stres na populacije herpetofaune i smanjiti njihovu sposobnost prilagodbe. Na primjer, kombinacija suše i smanjenja dostupnosti vodenih tijela može dramatično smanjiti uspjeh razmnožavanja i stopu preživljavanja vodozemaca.

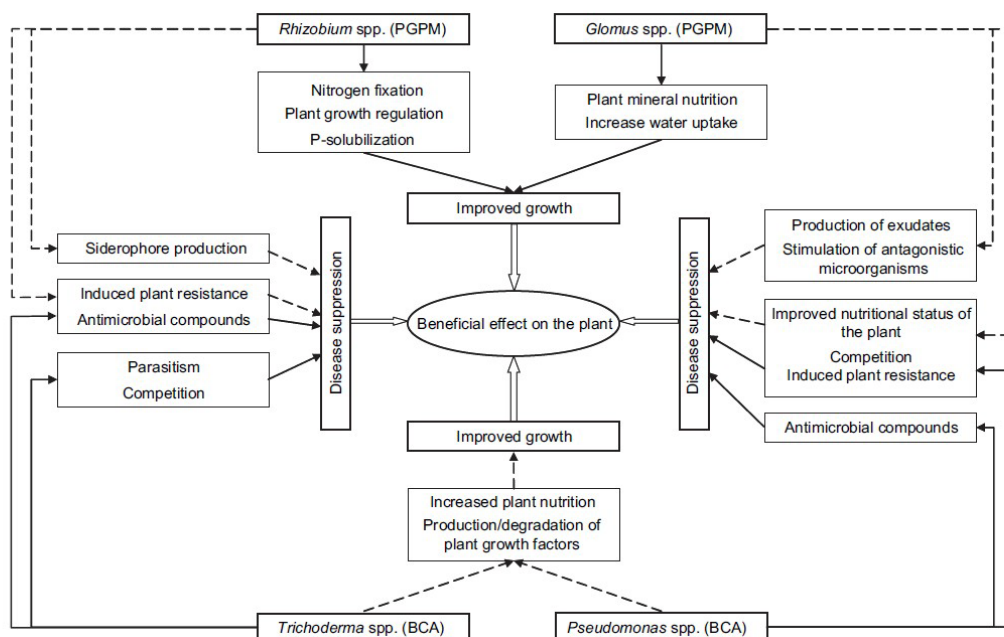
### **Pozitivni utjecaji poljoprivrede na herpetofaunu**

Iako poljoprivreda često ima negativne utjecaje na herpetofaunu, postoje slučajevi u kojima poljoprivredna područja mogu pružiti važne resurse i staništa za određene vrste gmazova i vodozemaca. Poljoprivredni krajolici, posebno oni koji se održavaju putem ekološki prihvatljivih i održivih poljoprivrednih praksi, mogu djelovati kao sekundarna staništa koja podržavaju biološku raznolikost i omogućavaju opstanak herpetofaune. Ekološka poljoprivreda, koja se temelji na smanjenoj upotrebi pesticida, herbicida i umjetnih gnojiva, može stvoriti uvjete koji su povoljni za herpetofaunu. Na primjer, voćnjaci, vinogradi i pašnjaci održavani bez upotrebe kemijskih sredstava pružaju bogatu strukturu vegetacije koja može poslužiti kao sklonište, lovište i mjesto za termoregulaciju mnogih vrsta gmazova. Održavanje travnjaka u takvim poljoprivrednim sustavima omogućava prisutnost kukaca i drugih manjih beskralježnjaka, koji su glavni izvor hrane za mnoge vrste herpetofaune. Vinogradi, mogu pružiti prikladna staništa za guštere, zmiје i druge gmazove, posebno ako su okruženi kamenim zidovima, hrpama kamenja i gustom vegetacijom koja stvara mikroklimatske uvjete pogodne za termoregulaciju i sklonište. Takva područja također mogu omogućiti migraciju između prirodnih staništa, pružajući herpetofauni koridore koji povezuju fragmentirana područja. Pašnjaci i travnjaci, posebno oni koji se održavaju kroz ekstenzivnu ili organsku poljoprivredu, pružaju staništa koja su slična prirodnim livadama i travnjacima, stoga su idealni za mnoge vrste vodozemaca i gmazova. Ekstenzivno upravljani pašnjaci s ograničenom upotrebom gnojiva i pesticida omogućavaju rast različitih biljnih vrsta koje mogu osigurati hranu i sklonište za herpetofaunu.

Doc. dr. sc. Olga Jovanović Glavaš  
Prof. dr. sc. Branimir K. Hackenberger

## Mikroorganizmi koji potiču rast biljaka

Mikroorganizmi koji potiču rast biljaka odnosno *Plant growth promoting microorganisms* (PGPM) predstavljaju mikroorganizme, koji na različite načine povoljno utječu na rast i razvoj biljke. U ovu skupinu mikroorganizama ubrajamo i bakterije i gljive. U literaturi se često spominje i naziv *Plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR), a koji se odnosi na bakterije rizosfere i *Plant growth promoting fungi* (PGPF) odnosno gljive koje potiču rasta biljaka. Sve navedene mikroorganizme pronalazimo u neposrednoj blizini korijena - rizosferi, na samoj površini korijena - rizoplani ili u samome korijenu viših biljaka kao slobodno živuće ili simbiotske autohtone predstavnike tla. Veliki broj predstavnika je uključen u navedene promotore poput roda *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Rhizobium*, *Frankia*, *Trichoderma*, arbuskularnih mikoriza i drugi. Način djelovanja i poticanja rasta je različit, a on uključuje: biosintezu fitohormona poput auksina, giberelina i citokinina, produkciju siderofora, pretvaranje nedostupnih oblika nutrijenata u dostupne (npr. fosfora, kalija, sumpora), biotsku fiksaciju atmosferskog dušika, poboljšanu opskrbu vodom, biološku kontrolu biljnih patogena itd., a koji su prikazani na Slici 1. Navedeni mehanizmi djelovanja omogućuju biljkama bolju reakciju prilikom različitih biotskih ili abiotskih stresnih uvjeta okoliša.



Slika 1. Izvor: Avis i sur. (2008): Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity, *Soil Biology and Biochemistry* 40, 1733 – 1740

Upravo zbog navedenih dobrobiti mikroorganizama koji stimuliraju rast biljaka znanstvenici provode brojna, različita istraživanja usmjerena prema detekciji osobina navedenih mikroorganizama, njihove reizolacije iz autohtonih staništa, ispitivanja u laboratorijskim i poljskim uvjetima, identificiranja superiornih sojeva koji se umnažaju i prodaju na tržištu kao inokulanti. Inokulanti su mikrobiološki pripravci koji mogu sadržavati jedan ili više rodova različitih mikroorganizama a mogu djelovati u poboljšanju opskrbe nutrijentima (*biofertilizatori*), suprimiranju bolesti (*bioprotektanti*)

ili sintetizirati fitohormone ili druge stimulirajuće sastojke (*biostimulansi*). Inokulanti mogu biti u tekućem ili čvrstim stanju, a mogu se primijeniti na sjeme, biljku ili tlo. Primjena čistih kultura mikroorganizama u formi inokulanata u poljoprivrednoj proizvodnji ima povoljan utjecaj na cijeli proizvodni ciklus jer se njihovom primjenom zadovoljavaju principi održive i ekološke poljoprivredne proizvodnje uz istovremeno manje zagađenje okoliša smanjenom primjenom agrokemikalija, što posljedično doprinosi boljem zdravlju tla ali u široj slici i boljem zdravstvenom statusu ljudi i životinja. Dobrobiti samog usjeva su također velike, inokulirane biljke imaju bolji vigor, veću biljnu masu, razvijeniji korijenov system, bolju opskrbu nutrijentima i vodom i bolju reakciju na različite stresore okoliša.

S obzirom na činjenicu kako je kukuruz najčešće sijani usjev u svijetu, a čiji su prinosi limitirani uslijed različitih uvjeta okoliša, poput suše, nameće se rješenje u vidu primjene inokulanata. Upotreba inokulanata s korisnim mikroorganizmima u usjevu kukuruza predstavlja okolišno prihvatljivi način odgovara na različite izazove koji se javljaju u proizvodnom procesu proizvodnje kukuruza. U usjevu kukuruza preporuča se koristiti različite korisne mikroorganizme poput rodova *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azospirillum* i arbuskularnih mikoriza.

Predstavnici roda *Pseudomonas* sintetiziraju biljne hormone poput indol - octene kiseline koja utječe na modulaciju korijenovog sistema npr. stimulacijom rasta lateralnog korijenja i korijenovih dlačica čime se povećava tolerancija biljke na stres uzrokovan deficitom vode. Osim toga predstavnici ovog roda su poboljšavaju dostupnosti fosfora njegovim otapanjem u oblike koje bilja može usvojiti i koristiti za ishranu. Pojedine vrste roda *Bacillus* također povećavaju dostupnost fosfora u tlu, utječe na proizvodnju siderofora, sintetiziraju hormone rasta. Oba navedena roda djeluju i an antagonistički prema fitopatogenima roda *Fusarium*. *Azospirillum* omogućava bržu germinaciju i brži početni rast kukuruza, biljke imaju veću duljinu korijena, veći prinos i veću akumulaciju dušika zbog sposobnosti bakterije kroz fiksaciju atmosferskog dušika. Arbuskularne mikorize predstavljaju gljive koje žive u mutualističkoj (obostrano korisnoj) simbiotskoj zajednici na korijenu 80% biljnih vrsta uključujući i mnoge poljoprivredne culture, kao i kukuruz. Ova vrsta mikoriza stvara strukture unutar kortikalnih stanica korijena ali i ekstradikalni micelij odnosno miicelij koji obavija korijen izvana. Ovakva građa pospješuje prodiranje hifa gljive u dublje slojeve tla što omogućava bolju opskrbu biljke s vodom. Osim toga mikorize pridonose boljem usvajanju fosfora, dušika, ali i bakra, cinka, magnezija, kalcija i kalija.

Iz svega navedenog očigledne su dobrobiti korisnih mikroorganizama tla u poljoprivrednoj proizvodnji jer mikroorganizmi imaju nezamjenjivu ulogu u kruženju elemenata kroz procese humifikacije i dehumifikacije organske tvari tla pa je doista potrebno razumjeti ove procese i shvatiti važnost mikroorganizama tla za trenutno ali i dugoročnu plodnost tla.

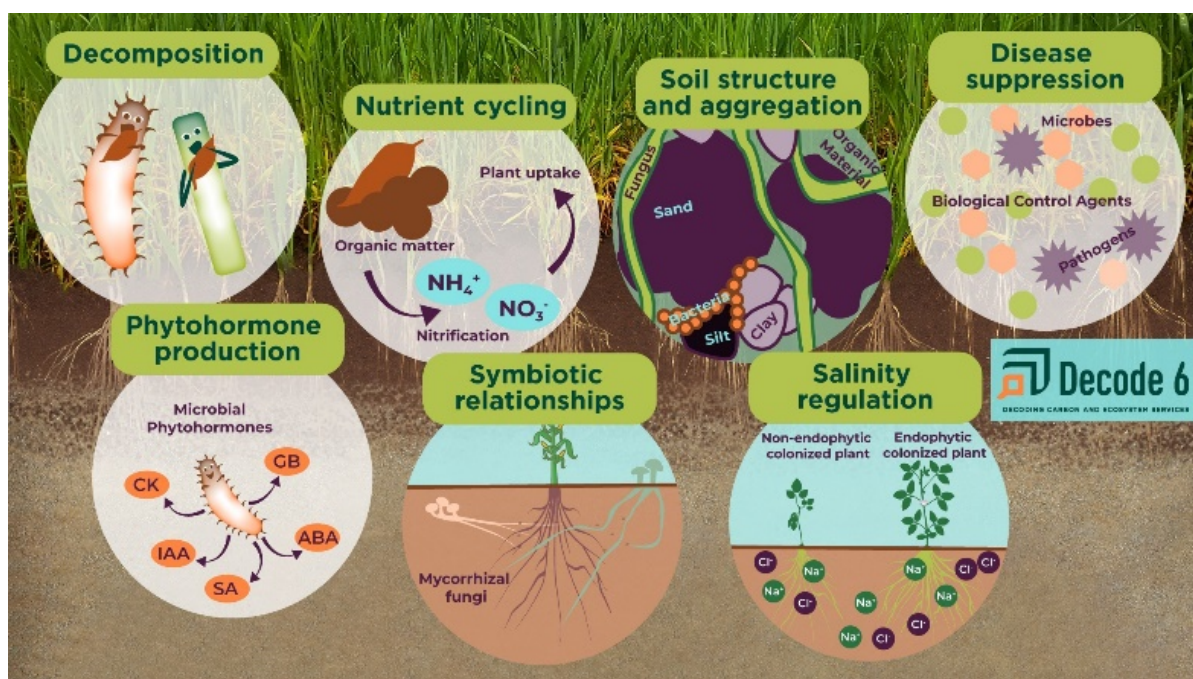
Prof. dr.sc. Gabriella Kanižai Šarić



## Mikroorganizmi u konzervacijskoj obradi tla

Poznata je činjenica kako konzervacijska obrada uključuje minimalnu obradu tla, doprinosi očuvanju organske tvari, pri čemu se u tlu zadržava vlaga i poboljšava struktura. Na ovaj način se smanjuje fizički stres zajednica mikroorganizama zbog očuvanja njihovog prirodnog staništa, a čime se povećava biološka raznolikost tla što doprinosi općem zdravlju tla i povećava se njegova plodnost. Na ovaj način se i smanjuje potreba za kemijskim gnojivima i pesticidima, a što također pozitivno utječe na zajednice mikroorganizama tla. Održavanje pokrovnih usjeva je ključni aspekt konzervacijske obrade tla. Pokrovni usjevi poboljšavaju strukturu tla, povećavaju organsku tvar i pružaju hranu mikroorganizmima. Također, smanjuju eroziju tla i gubitak hranjivih tvari, što dodatno doprinosi rastu i razvoju mikroorganizmima.

Mikroorganizmi tla igraju ključnu ulogu u razgradnji organske tvari i ciklusu biogeokemijskih elemenata (Slika 1.). Konzervacijska obrada tla omogućuje stabilniji i manje narušen ekosustav tla što pogoduje rastu i razvoju mikroorganizmima. Brojna meta analize učinka konzervacijske obrade utvrdile su povećanje mikrobne biomase i njihove raznolikosti, povećanje enzimatske aktivnosti tla, poboljšanje fizičkih karakteristika tla u odnosu na konvencionalnu obradu. Također treba napomenuti kako rezultati različitih studija donose različite rezultate pri čemu konzervacijska obrada povećava, smanjuje ili nema učinak na strukturu mikrobnih zajednica. Ovakvi rezultati studija nastaju zbog mnogostrukih utjecaja varijabli i složenih interakcija koji uključuju tlo i biljku.



Slika 1. Uloga mikroorganizama u tlu (Izvor: <https://decode6.org/articles/what-do-microbes-do-in-the-soil/>)

Pojedine studije su utvrdile veću brojnost Acidobacteria i Bacteroidetes, a manju brojnost Proteobacteria i Actinobacteria u sustavima minimalne obrade tla u odnosu na konvencionalnu obradu. Druga studija je utvrdila dominantnost Proteobacteria, Bacteroidetes i Firmicutes imali su

jednaku zastupljenost, te Acidobacteria i Actinobacteria približno jednaku ali i drugih prokariota. Ovakvi rezultati nastaju zbog različitog statusa nutrijenata te pristupačnosti kisika u okolišu.

Acidobakterije su prisutne također i u šumskim tlima, tresetištima i sedimentima te i ostaje nejasno koje su ekološke prednosti ekosustava tla u kojima su dominantne. Njihova izolacija je otežana u *in vitro* uvjetima. Većina acidobakterija su aerobi, ali neke mogu rasti u uvjetima smanjene količine kisika (1%–2% O<sub>2</sub>).

Bacteroidetes naseljavaju različita aerobna i anerobna staništa poput sedimenta ili morskih staništa te su specijalizirane za razgradnju složenih organskih tvari posebice polisaharida.

Proteobacteria predstavljaju metabolički i fiziološki različite predstavnike u tlu, pridonose kruženju dušika, oksidacijom amonijaka, fiksacijom dušika te sudjeluju u procesu nitrifikacije i denitrifikacije, također su uključene u kruženje sumpora i ugljika.

Ovakve razlike u rezultatima pojedinih istraživanja treba tražiti u izrazito složenim interakcijama u tlu. Zajednice mikroorganizama reagiraju na abiotičke i biotičke interakcije, način obrade, fluktuaciju vode, organsku tvar, gnojidbu. Nadalje mikrobiom rizosfere i endosfere je različit u različitim biljnih kultura što također utječe na složenost i dinamiku mikrobioma tla. Različita je struktura mikroorganizama u horizontalnoj distribuciji tla kao što je i bitan način izolacije u laboratorijskim uvjetima. Minimalna obrada tla pogoduje rastu gljiva, posebice endomikoriznih zajednica. Mikorizne gljive, imaju važnu ulogu u opskrbi vode te poboljšanju usvajanja hranjivih tvari kod biljaka poboljšavaju strukturu tla i time pospješuju bolji rast i zdravlje biljaka. Istraživanja su utvrdila kako biomasa mikoriza opada pri visokom sadržaju fosfora i ugljika u supstratu. Nadalje, pojedine meta analize su potvrdile kako minimalna obrada ne utječe na raznolikost gljiva i mikoriza u tlu. Zajednice gljiva koje dominiraju pripadaju koljenu Ascomycota, Basidiomycota i Glomeromycota, i drugim gljivama u ovisnosti o profilu tla.

Dugoročno, konzervacijska obrada tla može povećati poljoprivrednu produktivnost smanjenjem potrebe za kemijskim inputima i poboljšanjem zdravlja tla. Ova metoda također smanjuje emisiju stakleničkih plinova, jer je smanjena potreba za intenzivnim radovima na tlu. Održavanje zdrave mikrobiološke zajednice tla ključno je za održivu poljoprivredu. Mikroorganizmi pomažu u stvaranju zdravih usjeva, otpornijih na stresne uvjete, što je posebno važno u kontekstu klimatskih promjena. Povećana biološka aktivnost tla također doprinosi boljem kruženju hranjivih tvari, što smanjuje potrebu za vanjskim inputima. Ovaj način gospodarenja tlom također omogućava bolju otpornost tla na sušu, jer povećava kapacitet tla za zadržavanje vode. S obzirom na sve veću učestalost ekstremnih vremenskih uvjeta, konzervacijska obrada tla može pružiti stabilnije prinose. Kroz smanjenje uporabe kemijskih sredstava, konzervacijska obrada tla također pomaže u očuvanju kvalitete vode i smanjenju zagađenja prirode i okoliša.

Zaključno, konzervacijska obrada tla ima mnogobrojne prednosti u odnosu na zajednice mikroorganizme tla i ukupno zdravlje tla. Konzervacijska obrada tla predstavlja održivu i ekološki prihvatljivu alternativu tradicionalnim metodama obrade tla, te igra ključnu ulogu u budućnosti poljoprivrede zbog mnogobrojnih ekoloških i ekonomskih prednosti.

Prof. dr. sc. Gabriella Kanižai Šarić

## Značaj i funkcija mikoriza u poljoprivrednoj proizvodnji

Mikorize su simbiotske, obostrano korisne zajednice gljiva i korijenja biljaka. Više od 90 posto kopnenih biljnih vrsta formira simbiotski odnos s korisnim mikoriznim gljivama. Najstariji fosili koji pružaju jasne dokaze o povezanosti ektomikoriza stari su 50 milijuna godina ali se pretpostavlja da je ovaj simbiotski odnos evoluirao prije 130 milijuna godina.

Simbiotska zajednica između gljiva i biljaka omogućuje biljkama bolji pristup hranjivim tvarima iz tla. Na ovaj način se može povećati površina korijena i do 40 puta, pri čemu gljive pomažu biljkama apsorbirati fosfor, dušik, kalij, kalcij, sumpor, željezo, mangan, bakar i cink i naravno vodu, dok biljke gljivama pružaju ugljikohidrate potrebne za njihov rast. Na ovaj se način smanjuje potreba za kemijskim gnojivima i poboljšava se otpornost biljaka na sušu. Ova simbioza poboljšava rast i zdravlje biljaka, naime, istraživanja su utvrdila kako mikorize induciraju obrambeni odgovor biljke domaćina prilikom invazije patogena s čime se povećava otpornost biljaka na patogene mikroorganizme. Mikorize također poboljšavaju strukturu tla i njegovu plodnost te smanjuju eroziju tla. Mikorize također igraju važnu ulogu u obnovi degradiranih zemljišta. Mikorize su važan alat u održivoj poljoprivredi jer se njihovom upotrebom smanjuje korištenje agrokemikalija što doprinosi očuvanju prirodnih resursa. U budućnosti, mikorize će igrati sve veću ulogu u poljoprivredi, a danas predstavljaju važan aspekt integriranih sustava upravljanja tлом. Poljoprivrednici sve više prepoznaju vrijednost ovih simbiotskih zajednica i koriste ih u poboljšanje svojih prinosa. Mikorize ne samo da poboljšavaju rast biljaka, već i smanjuju troškove proizvodnje, čineći poljoprivrednu proizvodnju održivijom i ekonomičnijom.

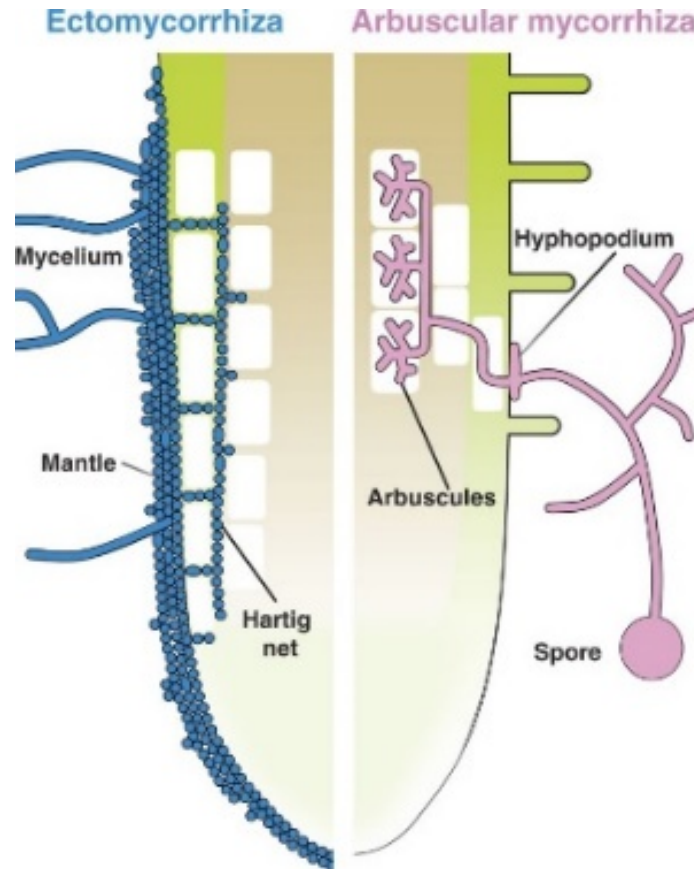
Postoji nekoliko vrsta mikoriza, uključujući ektomikorize, endomikorize (arbuskularne mikorize), erikoidne i orhidejske mikorize.

*Ektomikorize* su prisutne kod određenih porodica drvenastih golosjemnjača (npr. bor, jela, ariš) i kritosjemnjača (npr. breza, bukva, hrast) te su izuzetno bitne u zajednicama šuma (Slika 1.). Pretpostavlja se da čak 30% mikrobne biomase šumskih tala čine upravo hife mikoriza. Većina su gljive Basidimycetes ili Ascomycetes, manje Zygomycetes, koje formiraju vanjski omotač - oko korijena biljaka, a izmjena nutrijenata se vrši preko Hartigove mreže koja penetrira između stanica korteksa korijena. Ove mikorize formiraju gustu mrežu hifa oko korijena, stvarajući omotač koji pomaže u apsorpciji vode i hranjivih tvari. Ektomikorize također štite biljke od štetnih mikroorganizama i poboljšavaju njihovu otpornost na stres.

Gljive Glomeromycota tvore *endomikorize* (Slika 2.) na oko 80% biljnih vrsta koje prodiru u korijenske stanice, a izmjena nutrijenata se vrši preko razgranatih hifa - arbuskula, a koje svojom građom povećavaju površinu za apsorpciju hranjivih tvari. Ova vrsta mikoriza se često naziva arbuskularne mikorize, posebno su važne za usjeve poput kukuruza, pšenice, riže i soje.

*Erikoidne mikorize* se javljaju kod biljaka iz obitelji Ericaceae, poput borovnica, rododendrona i vrijeska. Ove mikorize omogućavaju biljkama da rastu u siromašnim i kiselim tlima, jer im pomažu u apsorpciji organskih hranjivih tvari. Erikoidne mikorize su posebno važne za hortikulturu i uzgoj ukrasnih biljaka. Prisutna su dva tipa arbutoidna i monotropoidna mikoriza.

*Orhidejske mikorize* su specifične za orhideje, koje često rastu u ekstremnim uvjetima s malo hranjivih tvari. Ove mikorize pomažu orhidejama klijati iz sjemena i preživjeti u teškim uvjetima. Orhidejske mikorize također pomažu u apsorpciji vode i hranjivih tvari, što je ključno za rast orhideja.



Slika 1: Bonfante i Genre, (2010): Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature communications* 1, 48



Slika 2: Arbuskule i vezikule endomikoriza na korijenu salate (izvor: Kanižai Šarić G.)



Ove simbiotske zajednice nisu samo korisne za biljke i gljive, već i za cijeli ekosustav. Mikorize poboljšavaju strukturu tla, povećavaju njegovu plodnost i pomažu u očuvanju vode. One povećavaju bioraznolikost i stabilnost ekosustava. Također igraju ključnu ulogu u ciklusu hranjivih tvari. Mikorize su ključni čimbenik u održavanju zdravih i produktivnih ekosustava.

Primjena mikoriza u poljoprivredno proizvodnji ima niz već spomenutih prednosti te se primarno danas iskorištavaju u povrćarstvu, voćarstvu i vinogradarstvu. Iako su mikorize autohtono prisutne u tlu poželjna je inokulacija jer njihova brojnost može biti minimalna u intenzivnom načinu obrade tla. Potrebno je razumjeti kako su endomikorize, koje ostvaruju simbiotski odnos s većinom biljnih poljoprivrednih kultura, obligatni simbionti te se ne mogu uzgajati u čistim kulturama u laboratorijskim uvjetima poput drugih bakterija ili gljiva. Njihov uzgoj mora biti osiguran u zajednici s biljkama, a koje opet moraju zadovoljiti odgovarajuće uvjete poput brzog rasta korijen u kratkom vremenskom periodu, pri čemu se mikorizno korijenje i tlo koje, sadrži propagule, na kraju ciklusa rasta, suši i koristi kao inokulum. Preporuča se primjena visokokvalitetnih inokulanata mikoriza koji sadržavaju više vrsta mikoriza s visokim brojem propagula u suhom čvstom inokulumu koji osigurava optimalan vijek trajanja gotovog proizvoda.

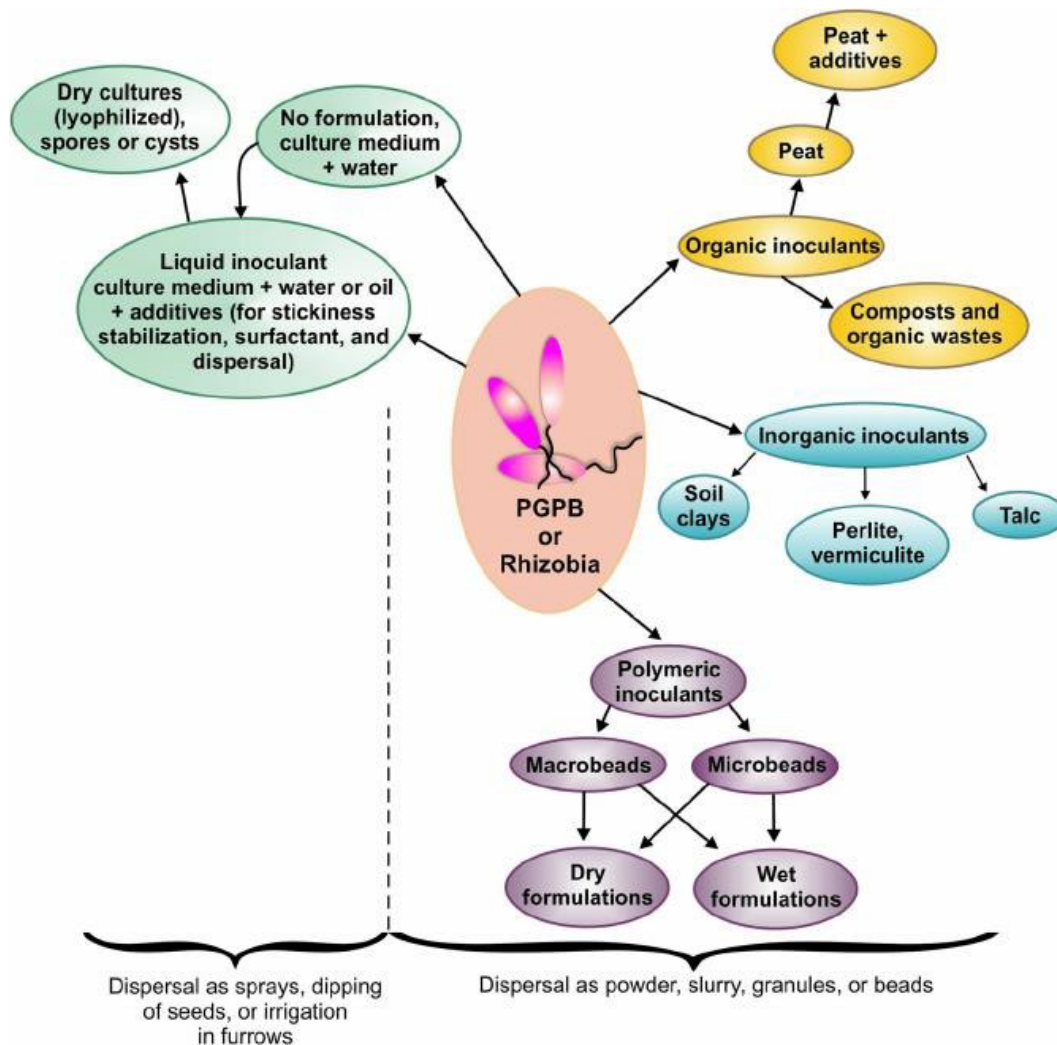
Zaključno, mikorize su neprocjenjiv resurs za poljoprivredu i očuvanje okoliša. Njihova uloga u poboljšanju prinosa, zdravlja biljaka, tla i ekosustava čini ih ključnim elementom održive budućnosti.

Prof. dr. sc. Gabriella Kanižai Šarić



## Predstjetvena bakterizacija leguminoza

Predstjetvena bakterizacija leguminoza predstavlja redovnu agrotehničku mjeru u našoj zemlji ali i u cijelom svijetu jer omogućava fiksaciju 200-300 kg dušika ha<sup>-1</sup> godišnje, osigurava veći prinos leguminoza, smanjuje se potreba gnojidbe s mineralnim gnojivima i povećava se mikrobiološka aktivnost tla. Ovim se postupkom nastoji povećati mogućnost stvaranja bliskog kontakta odgovarajućeg broja kompatibilnih rizobija sa sjemenom leguminoza kako bi se sa velikom sigurnošću omogućilo uspostavljanje simbiotskog odnosa između rizobnih stanica i leguminozne biljke, a s ciljem maksimalnog iskorištavanja benefita biološke fiksacija dušika. Inokulanti se mogu nanositi na sjeme ili u tlo. Navedene kulture predstavljaju učinkovite sojeve rizobija prethodno reizolirane, a potom testirane u laboratorijskim, kontroliranim i poljskim odgovarajućim agroekološkim uvjetima poljoprivredne proizvodnje. Bakterijske stanice se potom nanose na nosač koji može bit kruti organskog podrijetla poput treseta, ili anorganskog poput vermikulita, talka, perlita i dr. (Slika 1.).



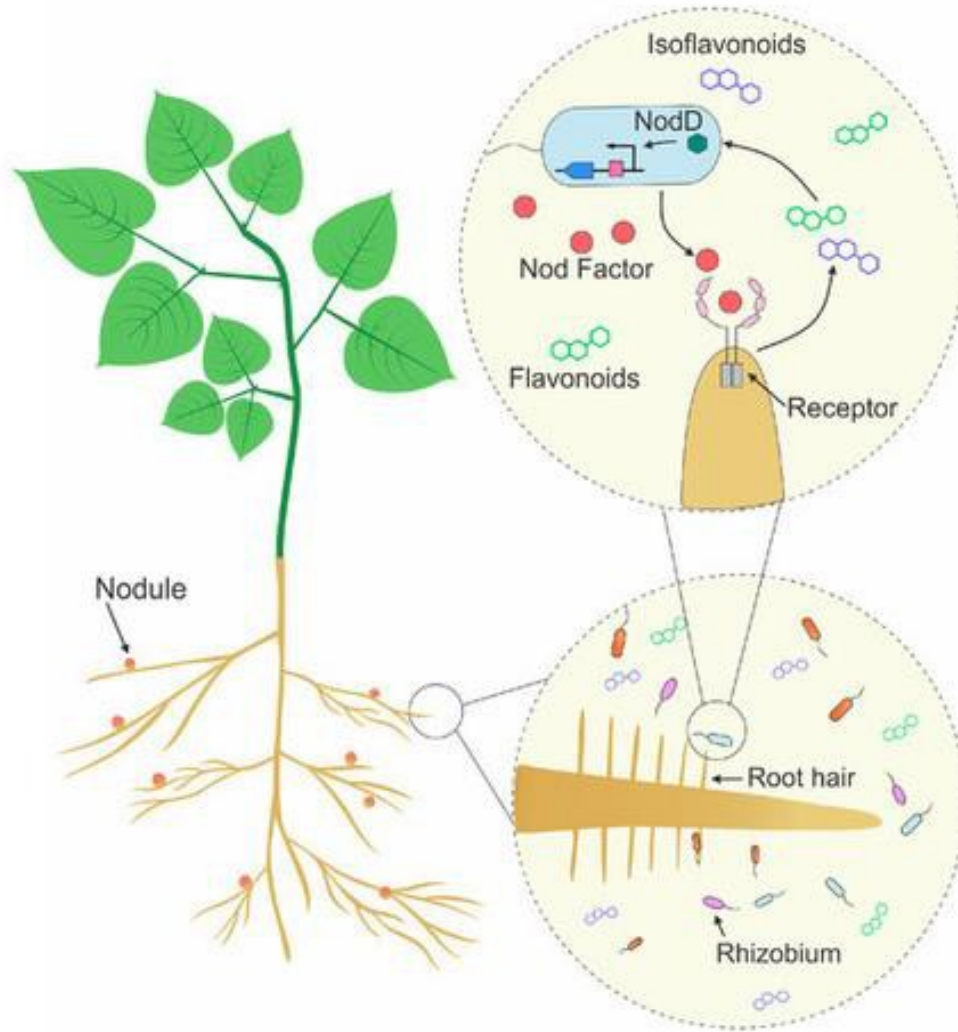
Slika 1. Bashan i sur. *Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: Formulations and practical perspectives (1998-2013)*, *Plant and Soil*: 378: 1-33.

Inokulanti mogu biti i tekućeg oblika, potom inkapsulirani ili liofilizirani. Nosači mogu biti sterilni ili nesterilni. Sterilni nosač, u pravilu, ima veću prednost u pružanju odgovarajućeg broja odgovarajućih mikroorganizama u trenutku upotrebe. Smatra se kako sterilni nosači omogućuju bolje uvjete zbog izostanka kompetitivnih odnosa mikroorganizama. Kvalitetni inokulanti se proizvode svake vegetacijske sezone s obzirom kako se brojnost rizobija s vremenom na nosaču opada. Kvalitetu inokulanata određuje niz čimbenika a najbitniji je osiguranje velikog broja učinkovitih živih stanica rizobium bakterija u trenutku primjene. Osim toga sojevi rizobija inkorporirani u inokulant moraju zadržati svoje osobine tijekom skladištenja, poželjno je da način primjena inokulanta bude jednostavan, s odgovarajućim rokom trajanja, odgovarajućom ambalažom ali i jasnim uputama za korištenje. Poželjno je također da rizobijum sojevi budu tolerantni na različite abiotske i biotske stresne uvjete okoliša. Treset je najčešći nosač rizobnih inokulanata zbog dobrog kapaciteta zadržavanja vlage, osim toga posjeduje potrebne nutritivne elemente neophodne za rast i razvoj rizobnih stanica. Rok trajanja inokulanata različit je u različitim državama i smatra se kako ne bi trebao biti duži od 18 mjeseci, po nekim autorima i manje, do 6 mjeseci. Inokulanti se ne bi trebali čuvati duže vrijeme zbog induciranih fizioloških promjena rizobnih stanica koje mogu povećati vrijeme do nodulacije. Ne treba zaboraviti kako je temperatura skladištenja inokulanata značajan čimbenik koji utječe na preživljavanje rizobnih stanica. Zakonodavni okvir kvalitete inokulanata razlikuje se između država ili on uopće ne postoji. Minimalni standardi broja bakterijskih stanica su različiti u različitim državama i kreću se od  $5 \times 10^7$  do  $1 \times 10^9$  stanica po gramu svježe inokulanta. U Republici Hrvatskoj ne postoji zakonodavni okvir, a kontrolu kvalitete određuju i (ne)provode sami proizvođači. Nadalje, učinkovitost inokulacije se u može povećati primjenom različitih aditiva koji imaju adhezivna svojstva tj. omogućavaju bolje prianjanje inokulanta na sjeme ali i štite bakterijsku stanicu. Radi se o polimerima poput polivinilpirolidona, alginata, polivinilglikola, polivinil alkohola, arapske gume i dr. ali se u istu svrhu mogu upotrebljavati i pristupačnije tvari sličnih osobina, poput šećera. Odabir vrste inokulanta ovisi o preferencijama samih poljoprivrednih proizvođača.

Prof. dr. sc. Gabriella Kanižai Šarić

## Biološka fiksacija dušika

Dušik je esencijalni element koji se oko nas nalazi u različitim anorganskim i organskim oblicima. Također je makroelement neophodan za optimalan rast i razvoj poljoprivrednih usjeva i postizanja optimalnih prinosa. Sastavni je dio aminokiselina, nukleinskih kiselina, enzima i klorofila i njegov deficit dovodi do poremećaja u rastu, razvoju i reprodukciji biljke a time i do smanjenja prinosa. Dušik se u poljoprivrednoj proizvodnji najviše namiruje primjenom gnojiva. Međutim polovica potreba ovog elementa može se namiriti uz pomoć mikroorganizama. U atmosferi se dušik nalazi u plinovitom obliku u količini od 78%. Ovaj oblik dušika biljke ne mogu koristiti ali mogu mikroorganizmi koji imaju sposobnosti fiksacije atmosferskog dušika i njegove redukcije u biljkama pristupačan oblik – amonijak uz pomoć enzima nitrogenaze. Nitrogenaza je dvokomponentni enzim kojeg čine: dinitrogenaza reduktaza (Fe-protein) i dinitrogenaza (Fe-Mo protein). Ovakav oblik fiksacije dušika naziva se biološka fiksacija dušika a mikroorganizmi se nazivaju diazotrofni mikroorganizmi. Mikroorganizmi koji imaju mehanizme za ovakvu vrstu fiksacije su malobrojni, radi se o pojedinim predstavnicima bakterija, cijanobakterija i arheobakterija. S obzirom na stvaranje simbiotskih odnosa s višim biljkama ova vrste fiksacije može biti simbiotska i asimbiotska. *Asimbiotski fiksatori dušika* su slobodnoživuće cijanobakterije npr., predstavnici roda *Anabena* i *Nostoc*, potom mikroorganizmi tla poput predstavnika roda *Azotobacter*, *Bacillus*, *Clostridium* i *Klebsiella*. Ova vrsta fiksacije se može odvijati u aerobnim ili anaerobnim uvjetima. Asocijativni mikroorganizmi vezani su uz rizosferu trava i žitarica poput roda *Azospirillum* i vežu u prosjeku od 20 - 50 kg dušika po hektaru godišnje. *Simbiotski fiksatori dušika* žive u mutualističkom odnosno obostrano korisnom odnosu s leguminozama. Simbionti su kvržične bakterije odnosno predstavnici roda *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Sinorhizobium*, i biljke porodice *Leguminosae*. U simbiotske fiksatore ubraja se i rod *Frankia* i drvenaste kriptosjemenjače i već spomenute cijanobakterije koje žive u suživotu s biljkama roda *Azolla*. Navedeni predstavnici također spadaju u bakterije promotore rasta biljaka odnosno "Plant growth promoting rhizobacteria" koje su osim fiksacije dušika odgovorne za biosintezu biljnih hormona poput auksina i giberelina koji potiču rast prvenstveno korijenovog sustava i smanjuju utjecaj abiotskog i biotskog stresa na samu biljku. Za poljoprivrednu proizvodnju najznačajnija je simbioza bakterija s leguminozama. Na molekularnoj razini dolazi do otpuštanja biljnih flavonoida pri čemu se aktiviraju Nod D nodulacijske bjelančevine u kompatibilnoj rizobnoj bakterijskoj stanici, a koji induciraju transkripciju nodulacijskih gena bakterija koji su potrebni za sintezu Nod faktora. Receptori u stanicama korijena biljke prepoznaje Nod faktore i pokreću signalni put neophodan za proces infekcije i nodulacije leguminoza (Slika 1.). Potom dolazi do savijanje korijenovih dlačica na kojima se nalaze kvržične bakterije. Stvara se infekcijska nit i stanice rizobija ulaze u kortikalne stanice korijena. Dioba kortikalnih stanica korijena rezultira stvaranjem nodula tj. kvržica. Aktivne kvržice su u poprečnom presjeku crvene boje od pigmenta leghemoglobina koji kontrolira koncentraciju kisika u nodulu te sprječava inaktivaciju nitrogenaze. U nodulima rizobiji poprimaju razgranati oblik i tvore bakterioide. Između članova simbioze vlada visoki stupanj specifične povezanosti što znači da će rod *Rhizobium* nodulirati samo određen broj biljnih rodova. Simbiotskom fiksacijom dušika može se fiksirati u prosjeku 200 - 300 kg dušika po hektaru godišnje, po nekima autorima i više. Prednosti biološke fiksacije su mnogobrojne, a ističu se ekonomski tj. manjih troškova proizvodnje kroz manju mineralnu gnojidbu i okolišni zbog manjeg zagađenja tla, zraka i voda.



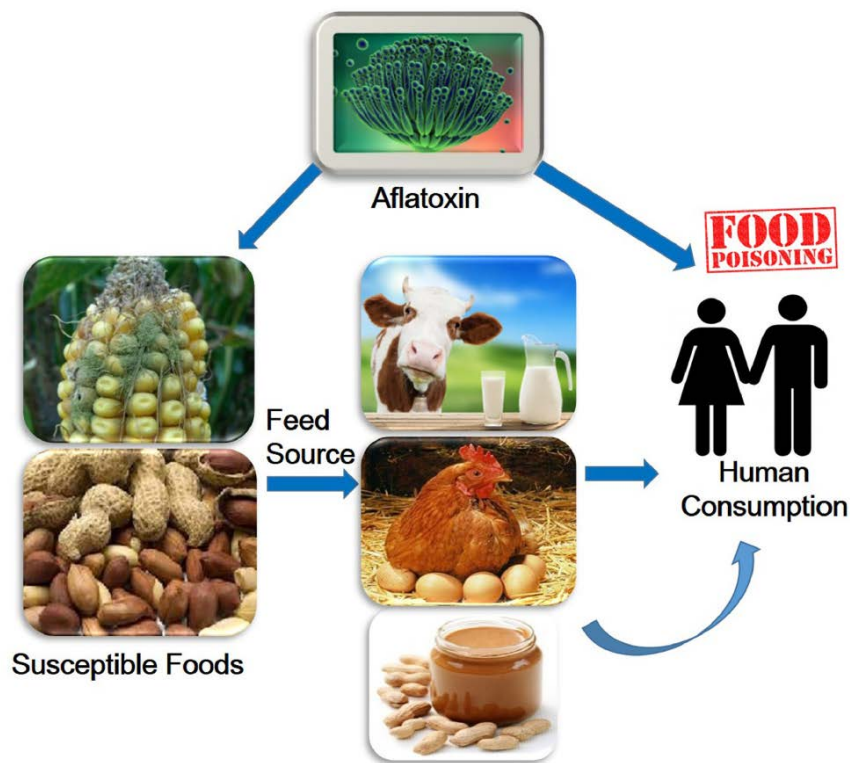
Slika 1. Clua i sur. (2018): *Compatibility between Legumes and Rhizobia for the Establishment of a Successful Nitrogen-Fixing Symbiosis, Genes 9 (3)*

Prof. dr. sc. Gabriella Kanižai Šarić

## Aflatoksini – putem tla i usjeva do životinja i ljudi

Fitopatogene gljivice na tlu uglavnom su povezane s bolestima usjeva. Međutim, učinci gljivične infekcije mogu se osim na biljke negativno očitovati na zdravlje ljudi i životinja. Mikotoksigene gljivice mogu proizvesti sekundarne metabolite poznate kao mikotoksini, za koje je poznato da mogu predstavljati rizik za zdravlje kada su prisutni u hrani za ljude i životinje. Mikotoksini su spojevi bez mirisa i okusa, pa je njihovo prepoznavanje u hrani od strane konzumenta otežano. Nadalje, mikotoksini su otporni na toplinu i podnose širok raspon pH, što ih čini teško razgradivima.

Proizvodnja aflatoksina započinje u tlu, prirodnom staništu gljivica *Aspergillus* spp., koje proizvode toksine, a na njihovu proizvodnju utječu poljoprivredne prakse, uvjeti okoliša i interakcija gljivica s biljkom. Gljivice se dalje raspršuju tijekom skladištenja, što može dovesti do velikog povećanja njihove koncentracije. Posljedično, aflatoksin tada ljudi ili životinje mogu konzumirati u sirovoj ili prerađenoj hrani, odnosno hrani za životinje (Slika 1.). Pri tome, različiti oblici aflatoksina prepoznaju se kao humani kancerogeni, a veća izloženost je uglavnom povezana s razvojem hepatocelularnog karcinoma.



Slika 1. Put aflatoksina do čovjeka (Kumar i sur., 2017.)

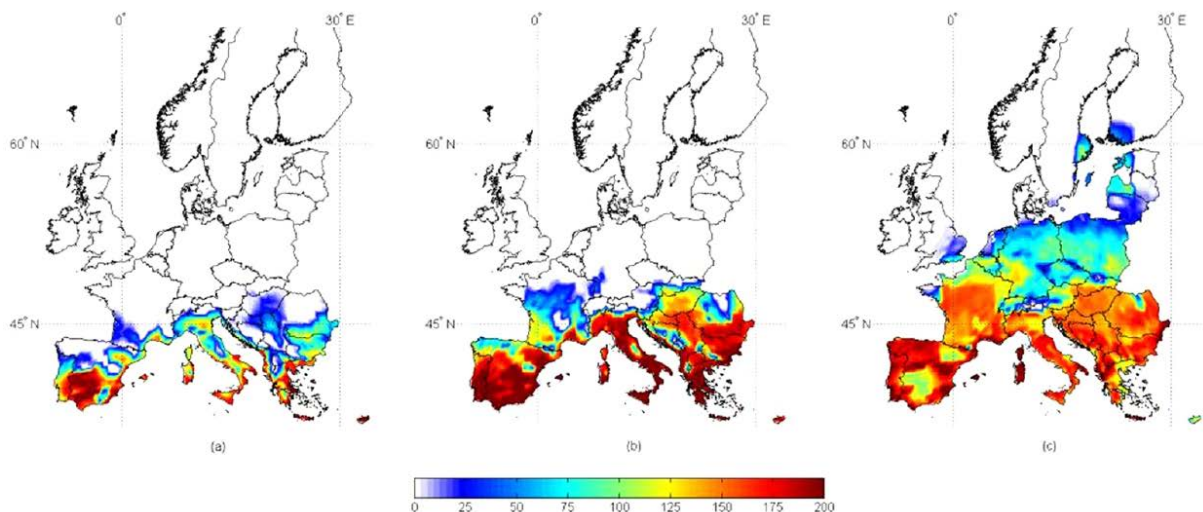
Aflatoksini imaju najveću akutnu i kroničnu toksičnost od svih mikotoksina, stoga je u svijetu regulirana maksimalna koncentracija u poljoprivrednim proizvodima i hrani za životinje te animalnim proizvodima. Prisutnost mikotoksina u hrani također nosi ozbiljne ekonomske implikacije zbog gubitka usjeva, troškova analize i provođenja regulatornog sustava, a ekonomski utjecaj onečišćenja mikotoksinima premašuje milijardu američkih dolara.



Gljivica *Aspergillus flavus*, najvažniji uzrok onečišćenja aflatoksinima, ima dva glavna morfotipa koja se obično nazivaju 'S' i 'L' sojevi. Izolati soja S u prosjeku proizvode više aflatoksina od izolata soja L. U istraživanjima Jaime-Garcia i sur. (2010.), temperatura površine tla uvelike je utjecala na gljivične zajednice s gustoćom koja se smanjivala kada je prosječna dnevna temperatura tla bila ili ispod 18°C ili iznad 30°C, a udio *A. flavus* koji pripada opasnijem soju S povećavao se s porastom temperature tla. Rezultati sugeriraju da plodored usjeva i temperatura tla utječu na strukturu zajednice *Aspergillus flavus* u tlu.

Kancerogeni aflatoksin B1 (AFB1) u usjevima, koji proizvodi *Aspergillus flavus* značajna je opasnost vezana za sigurnost hrane i postoji puno radova koji izvještavaju o povećanim koncentracijama u usjevima. Ipak, informacije o pojavi AFB1 u tlu i ostacima usjeva su rijetke. Dokazano je da se AFB1 proizvodi u površinskom tlu, osobito u prisutnosti ostataka kukuruza (Accineli i sur., 2008.). Isti autori laboratorijskim eksperimentima su dokazali da se AFB1 brzo razgrađuje u tlu na 28°C (poluvrijeme <math>t = 5</math> dana). Čak i unutar jednog polja može se pronaći širok raspon prisutnosti gljivica *A. flavus*, koje variraju u potencijalu za stvaranje aflatoksina (Abbas i sur., 2004.). Isti autori u trogodišnjoj studiji procjenjivali su ekologiju *A. flavus* kroz prostornu varijabilnost populacija u polju pod različitim usjevima. Na populaciju *A. flavus* u tlu značajno je utjecao prethodni usjev.

Inače, kontaminacija usjeva aflatoksinima česta je u toplim regijama širom svijeta. Klimatske promjene zabilježene su kao pokretač novih problema sa sigurnošću hrane i hrane za životinje, a moguća promjena u obrascima pojavljivanja aflatoksina u usjevima uslijed klimatskih promjena zabrinjava, što može zahtijevati poduzimanje preventivnih radnji. Vrlo je zanimljivo istraživanje Battilani i sur. (2016.), koji su imali za cilj istraživanja predvidjeti onečišćenje aflatoksinima u usjevima kukuruza i pšenice u sljedećih 100 godina, pod scenarijem klimatskih promjena od +2°C i +5°C, primjenjujući pristup modeliranja. Rezultati ukazuju da će AFB1 postati značajno pitanje sigurnosti hrane u kukuruзу u Europi, čak i u scenariju od +2°C, kao najvjerojatnijem scenariju klimatskih promjena koji se očekuje u sljedećih nekoliko desetljeća (Slika 2.).



Slika 2. Karte rizika za onečišćenje aflatoksinima u kukuruзу u berbi u 3 različita klimatska scenarija: trenutni, +2°C, +5°C. Srednji dnevni podaci korišteni su kao input za predviđanje za sljedećih 100 godina upotrebom ALFA-maize modeliranja u 2254 georeferentne točke širom Europe, u 3 scenarija. Skala 0–200 odnosi se na indeks rizika od aflatoksina (AFI) (Battilani i sur., 2016.).

Kontaminacija AFB1 negativno utječe na ljudsko zdravlje narušavajući dugoročni fizički i kognitivni razvoj. Više vrsta usjeva povezano je s onečišćenjem AFB1, a kukuruz je samo jedan od najznačajnijih. Neadekvatne poljoprivredne prakse mogu utjecati da se AFB1 transportira iz tla u klasje (Jayaratne i sur., 2020.). Zato je neophodno otkrivati i kvantificirati AFB1 paralelno u kukuruzu i tlima. Za potrebe procjene rizika, sudbine mikotoksina potrebno je pratiti od ekologije njihovih proizvođača u tlu (*A. flavus*) do prisutnosti prije žetve u biljkama, nakon berbe u uskladištenom zrnu i njihovog učinka na zdravlje i dobrobit ljudi. Lanac konzumacije toksina putem životinja može se produžiti na ljude prehrambenim proizvodima životinjskog podrijetla, poput mlijeka. U istraživanjima Bilandžića i sur. (2014.a), koncentracija aflatoksina M1 (AFM1) premašila je najveću dopuštenu količinu ostataka (MRL) vrijednosti u 6,7% uzoraka kravljeg mlijeka iz istočne Hrvatske te je pronađena značajna razlika između srednjih koncentracija AFM1 kravljeg mlijeka iz istočne i ostalih regija Hrvatske, što ukazuje na upotrebu kontaminirane dopunske krme na nekim farmama tijekom razdoblja ispitivanja. Nadalje, Bilandžić i sur. (2014.b) našli su značajne razlike u kontaminiranosti mlijeka aflatoksinima s obzirom na sezonu unutar godine. Tako su razine AFM1 premašile najveću dopuštenu količinu ostataka (MRL) na području EU u čak 45,9% sirovih i 36,2% UHT uzoraka mlijeka u veljači, dok je u razdoblju od ožujka do lipnja zabilježen blagi pad broja uzoraka koji prelaze MRL vrijednosti.

Pleadin i sur. (2015) imali su za cilj studije istražiti godišnje i regionalne razlike u razini AFB1 u žitaricama i stočnoj hrani za mliječna goveda u Hrvatskoj. Rezultati su pokazali da je pojava AFB1 u značajnoj mjeri ovisna o regiji uzgoja, s najvišim razinama koje su općenito zabilježene u kukuruzu ubranom klimatski kritične 2013. godine i posljedično u mješavinama žitarica i hrani za stoku koja se najvjerojatnije može povezati sa osobitim klimatskim uvjetima te godine kao presudnim čimbenikom za stvaranje plijesni, a time i za proizvodnju AFB1.

Zaključno, svaka od faza u kojima može doći do povećanja koncentracije aflatoksina zahtjeva kritičku analizu i pri tome je izuzetna važnost razumijevanja interakcija tlo-gljivica-biljka kao ključnih koraka u razvoju uspješnih strategija za smanjenje izloženosti mikotoksinima (Winter, 2019.). Većina istraživanja usredotočuje se na onečišćenje aflatoksinima nakon žetve u hrani za životinje i hrani za ljude, ali dostupne su vrlo ograničene informacije o onečišćenju aflatoksinima i njegovim toksikološkim posljedicama u ekosustavu tla. Mnogi aspekti pojave, razgradnje aflatoksina i učinci njegovih proizvoda transformacije u okolišu tla još su uvijek nepoznati i ostaju važno područje istraživanja zdravlja i produktivnosti tla (Fouche, 2020.). Imajući u vidu sve navedene recentne podatke, u okviru projekta financiranog od strane Hrvatske zaklade za znanost (HRZZ) "Procjena konzervacijske obrade tla kao napredne metode uzgoja usjeva i prevencije degradacije tla", koncentracija aflatoksina mjeri se u tri različite kulture (kukuruz, soja, pšenica), kao i u samome tlu, pri različitim sustavima obrade tla. Razlike u vezi s rotacijom kultura i klimatskim promjenama promatraju se i analiziraju statistički, a dobiveni rezultati koristit će se za procjenu rizika o mogućem utjecaju utvrđenih kontaminacija aflatoksinima na zdravlje ljudi i životinja.

#### Literatura:

1. Abbas, H.K., Zablutowicz, R.M., Locke, M.A. (2004): Spatial variability of *Aspergillus flavus* soil populations under different crops and corn grain colonization and aflatoxins. *Canadian Journal of Botany*, 82(12), 1768-1775. <https://doi.org/10.1139/b04-131>

2. Accinelli, C., Abbas, H.K, Zablotowicz, R.M., Wilkinson, J.R. (2008): *Aspergillus flavus* aflatoxin occurrence and expression of aflatoxin biosynthesis genes in soil. *Canadian Journal of Microbiology*, 54, 5. <https://doi.org/10.1139/W08-018>
3. Battilani, P., Toscano, P., Van der Fels-Klerx, HJ, Moretti, A., Leggieri, M.C., Brera, C., Rortais, A., Goumperis, T., Robinson, T. (2016): Aflatoxin B1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. *Scientific reports*, 1-7. <https://doi.org/10.1038/srep24328>
4. Bilandžić, N., Božić, D., Dokić, M., Sedak, M., Kolanović, B.S., Varenina, I., Cvetnić, Ž. (2014a): Assessment of aflatoxin M1 contamination in the milk of four dairy species in Croatia. *Food Control*, 43, 18-21. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.02.044>
5. Bilandžić, N., Božić, D., Dokić, M., Sedak, M., Kolanović, B.S., Varenina, I., Tanković, S., Cvetnić, Ž. (2014b): Seasonal effect on aflatoxin M1 contamination in raw and UHT milk from Croatia. *Food Control*, 40, 260-264.
6. Fouché, T., Claassens, S, Maboeta, M. (2020): Aflatoxins in the soil ecosystem: an overview of its occurrence, fate, effects and future perspectives. *Mycotoxin Research*, 36, 303–309. <https://doi.org/10.1007/s12550-020-00393-w>
7. Jaime-Garcia, R., Cotty, P.J. (2010): Crop rotation and soil temperature influence the community structure of *Aspergillus flavus* in soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 42(10), 1842-1847. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.06.025>
8. Jayaratne, W.M.S.C., Abeyratne A.H.M.A.K., De Zoysa H.K.S., Dissanayake D.M.R.B.N., Bamunuarachchige, T.C., Waisundara, V.Y., Chang, S. (2020): Detection and quantification of Aflatoxin B1 in corn and corn-grown soils in the district of Anuradhapura, Sri Lanka. *Heliyon*, 6(10), e05319. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05319>
9. Kumar, P., Dipendra, K.M., Kamle, M., Mohanta, T.K., Kang, S.G. (2016): Aflatoxins: A Global Concern for Food Safety, Human Health and Their Management. *Frontiers in Microbiology*, 7, 2170. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02170>
10. Pleadin, J., Vulić, A., Perši, N., Škrivanko, M., Capek, B., Cvetnić, Ž. (2015): Annual and regional variations of aflatoxin B1 levels seen in grains and feed coming from Croatian dairy farms over a 5-year period. *Food Control*, 47, 221-225. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.07.017>
11. Winter, G., Pereg, L. (2019): A review on the relation between soil and mycotoxins: Effect of aflatoxin on field, food and finance. *European Journal of Soil Science*, 70(4), 882-897. <https://doi.org/10.1111/ejss.12813>

Prof.dr.sc. Boris Antunović

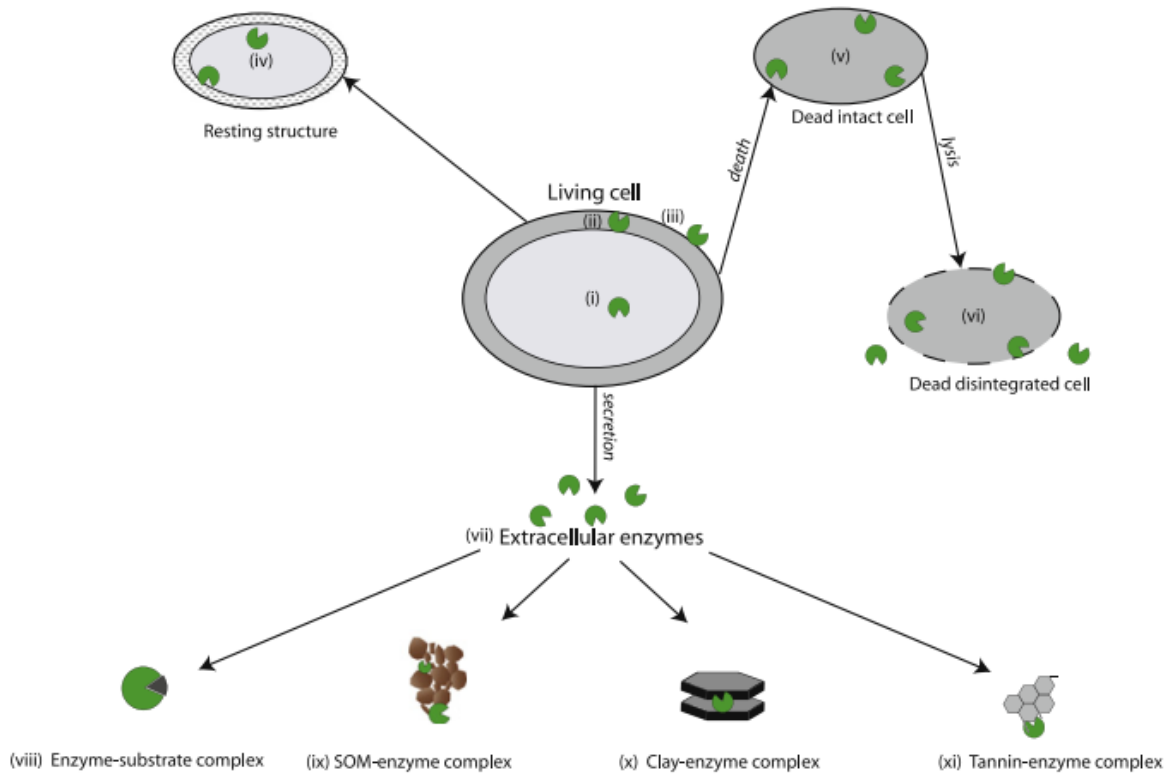
## Ekstracelularni enzimi u tlu

Ekstracelularni ili izvanstanični enzimi predstavljaju skupinu enzima koje različiti organizmi tla otpuštaju u svoj okoliš. Pri tome prednjače različiti mikroorganizmi kao najznačajniji izvor ekstracelularnih enzima ali ovdje treba pridodati i biljke te faunu tla. Zašto bi jedna bakterija izlučivala vlastitu biomasu u izvanstanični prostor? Nije li to kontraproduktivno jer je energetski skupo trošiti energiju i gradivne elemente na strukturu koju će se izbaciti iz stanice? Naočigled je sinteza i izlučivanje ekstracelularnih enzima za stanicu nepovoljan proces no potrebno je razmotriti koja je funkcija tih enzima u okolišu, što će oni ostvariti u tlu.

Enzimi općenito su tvari koje sintetiziraju organizmi, a koje omogućuju tj. kataliziraju događanje različitih biokemijskih reakcija. Jednako tako i ekstracelularni enzimi omogućuju događanje različitih promjena tvari mahom razgradnji u izvanstaničnom prostoru. S obzirom na način na koji obavljaju razgradnju ekstracelularne enzime možemo podijeliti na hidrolitičke i oksidacijske enzime. Njihovim djelovanjem započinje razgradnja mrtve organske tvari i remineralizacija u njoj prisutnih anorganskih sastavnica, proces koji će kroz daljnju metaboličku aktivnost mikroorganizama osloboditi u organskoj tvari vezane nutrijente potrebne za rast biljaka. No o istim nutrijentima ne ovisi samo rast i razvoj biljaka već i samih mikroorganizama. Mikroorganizmi dakle izlučuju ekstracelularne enzime da bi povećali dostupnost hranjivih tvari za potrebe vlastitog rasta. Kao i biljke, bakterije i gljive imaju staničnu stijenku koja im onemogućuje fagocitozu tj. inkorporaciju čestica mrtve organske tvari u citoplazmu radi čega se čestice trebaju usitniti, polimeri se trebaju razgraditi na sastavne molekule koje su dovoljno male da ih se unese u stanicu. Tome usitnjavanju služe ekstracelularni enzimi. Prema tome ekstracelularni enzimi mogu biti upotrebljeni za praćenje promjena u kruženju nutrijenata u tlu. Time oni postaju i važan alat kojim tek trebamo ovladati koji ima potencijal štititi zalihu organske tvari u tlu te također reducirati upotrebu umjetnih gnojiva tj. pridonjeti nastajanju agroekosistema koji efikasno troše nutrijente te su klimatski neutralni.

Ovaj zadatak s aspekta ekstracelularnih enzima nije lagan jer su ekstracelularni enzimi u tlu prisutni na mnogo različitih načina ili bolje reći može ih se naći na različitim mjestima u tlu. Postoje ekstracelularni enzimi koji su vezani za stanicu koja ih je proizvela te postoje enzimi koji su difundirali dalje od stanice te su u slobodnom stanju u vodi u tlu ili su vezani za različite nežive sastavnice tla (Slika 1).

Kako profilirati strukturu enzima na način da njihova aktivnost u tlu pospješi dostupnost nutrijenata i time pospješi biljnu proizvodnju, a istovremeno poveća akumulaciju ugljika u tlu nije poznato. Može li se manipulacijom faune tla pospješiti poželjne procese i na koji način, upotrebom bioturbatora kao što su gujavice ili praživotinja kao predatora bakterija ili različitom obradom tla nije za sada jasno. Također potrebno je znati koji enzimi imaju najvažniju ulogu u poljoprivrednom tlu u smanjivanju utjecaja poljoprivrede na okoliš, a sve sa ciljem nastajanja poljoprivredne proizvodnje koja će efikasno trošiti nutrijente te biti klimatski neutralna.



*Slika 1. Smještaj enzima u tlu. Enzimi su sintetizirani u citoplazmi bakterijskih stanica (i), te se mogu nakupljati u periplazmatičnom prostoru Gram negativnih bakterija (ii) ili na površini stanica, u polisomima ili u biofilmovima (iii), u trajnim stadijima kao što su spore gljiva, ciste praživotinja i endospore bakterija (iv), u mrtvim stanicama ili u raspadnutim stanicama (v), ispušteni iz stanica curenjem ili iz liziranih stanica (vi), ispušteni iz stanica transportom u vodu tla (vii), u kompleksu sa substratom (viii), u kompleksu sa organskom tvari tla (ix), u kompleksu sa česticama ili u agregatima gline (x) i u kompleksu sa taninima (xi). Slika preuzeta iz: Burns RG, DeForest JL, Marxen J, Sinsabaugh RL, Stromberger ME, Wallenstein MD, Weintraub MN, Zoppini A (2013) Soil Enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. Soil Biology & Biochemistry, 58, 216-234.*

Izv. prof. dr. sc. Goran Palijan



## Fosfataza, sulfataza, glukozaminidaza i glukozidaza u tlu: koji je d'Artagnan

Ekstracelularni enzimi u tlu predstavljaju osnovu aktivnosti tla. Nepoznato je koliko različitih enzima postoji u tlu pa stoga i koji je od njih najvažniji. Ipak pojedini enzimi su dobro istraženi u prirodnim ali ne i u agroekosistemima. Četiri enzima primila su značajnu pažnju istraživača vjerojatno jer omogućuju biogeokemijske cikluse četiri glavna nutrijenta: fosfora, sumpora, dušika i ugljika.

### *Fosfataza*

Ekstracelularni enzim fosfataza se pojavljuje u više varijacija no najčešće se govori o kiseloj i alkalnoj fosfatazi ovisno o tome pri kojem pH imaju svoj optimum aktivnosti. Ovaj enzim sudjeluje u razgradnji organske tvari izdvajajući iz nje fosfatni ion. Time organski fosfor postaje anorganski u obliku fosfata. Fosfat je topljiv u vodi pa tako fosfor postaje dostupan biljkama. U nekim tlima velika proporcija fosfora u tlu se nalazi u organskoj tvari pa je aktivnost fosfataza važna prenosnica između fosfora imobiliziranog u organskoj tvari tla i fosfora dostupnog biljkama. Poznato je da aktivnost fosfataza utječe na produktivnost biljaka i biodiverzitet ekosustava što oboje može imati velik pozitivan efekt na agroekosisteme.

### *Sulfataza*

Slično fosfatazama u tlu sulfataze u tlu oslobađaju sulfatni ion vezan u organskoj tvari tla u anorgansku frakciju tla i time ga ponovo čine dostupnim biljkama. No dok fosfatazu proizvode i biljke sulfataza je karakteristična samo za mikroorganizme. Također dostupnost sumpora u tlu je još više vezana za organsku tvar tla nego što je to dostupnost fosfora, te je njegovo recikliranje između organske tvari tla i oblika dostupnog biljkama jače vezano uz aktivnost mikroorganizama. Zbog toga sulfataza može poslužiti kao alat za istraživanje interakcije biljaka i mikroorganizama.

### *Glukozaminidaza*

Ovaj enzim u tlu razgrađuje hitin. Hitin je drugi najzastupljeniji biopolimer u prirodi, a glukozaminidaza ga razgrađuje na sastavne podjedinice N-acetil-glukozamina. Tako nastaju monosaharidne aminošećerne podjedinice koje su izvor ugljika i dušika za mikroorganizme što u konačnici rezultira remineralizacijom dušika čime on postaje dostupan biljkama. Hitin je sastavni dio staničnih stijenki gljiva te je također graditelj egzoskeleta mnogih beskralježnjaka. Prema tome aktivnost glukozaminidaze indicira razgradnju organske tvari koja nije biljnog porijekla.

### *Glukozidaza*

Među enzimima koji kataliziraju razgradnju celuloze beta-glukozidaza je ekstracelularni enzim koji katalizira konačno nastajanje monomera glukoze. Zbog toga je ovaj enzim usko grlo u razgradnji celuloze do glukoze. Očigledno ovaj enzim će snažno utjecati na ukupnu mikrobnu aktivnost s obzirom da je glukoza sveprihvaćeni supstrat među heterotrofima. Tako će ovaj enzim utjecati na ukupnu

mikrobnu aktivnost tla i time regulirati biogeokemijski potencijal mikrobne zajednice odnosno dualiteta tlo-mikrob. Zapravo bi bilo ispravnije reći tlo-mikrob-biljka jer biljke snažno utječu na tlo i mikroorganizme u njemu, a u ostalom i izvor su celuloze tj. posredstvom glukozidaze glukoze koja služi kao pogonsko gorivo za mikroorganizme tla. Tako će ovaj enzim posredno utjecati na aktivnost ostalih enzima čija sinteza i izlučivanje u okoliš ovise o aktivnosti mikroorganizama.

Unatoč tome što se čini da glukozidaza vlada ostalim enzimima nema odgovora na pitanje postavljeno u naslovu. Sustavi su funkcionalni samo kada su cijeli. Ako iz sata izvadimo i jedan zupčanik on više ne može mjeriti točno vrijeme. Jednako tako i ekosustavi, svi su njegovi sastavni dijelovi jednako važni. Tako su i svi ekstracelularni enzimi bitni da bi cjelina bila funkcionalna tj. zdrava. Proučavanje sastavnih dijelova/enzima u kontekstu agroekosistema doprinjeti će njihovom boljem poznavanju što može pomoći u boljem upravljanju agroekosistemima kako bi oni postali učinkovitiji i klimatski neutralni. To je esencijalna potreba kako bi se uspjelo osigurati dovoljno zdrave hrane za stalno rastuću ljudsku populaciju i kako bi se osiguralo opstojnost biosfere. Ili možemo smanjiti brojnost ljudi.

Izv. prof. dr. sc. Goran Palijan

## Korovna flora i suzbijanje korova u ozimoj pšenici

Korovima smatramo sve biljne vrste koje nisu poželjne u usjevu i nisu cilj uzgoja proizvodnje na određenoj površini. Korovne vrste javljaju u svim usjevima gdje se s usjevom natječu za vegetacijski prostor (podzemni i nadzemni), vodu, hraniva i svjetlo. Osim kompeticijom, korovi na usjeve djeluju negativno i alelopatijom odnosno proizvodnjom alelokemikalija. Svime navedenim korovi izravno utječu na gubitak prinosa ili njegovo potpuno uništenje. Osim izravnih, brojne su i neizravne štete koji korovi čine kao što su otežavanje izvođenja agrotehničkih mjera kao što su obrada tla, njega usjeva i žetva (npr. čekinjasta broćika (*Galium aparine*) u pšenici), izazivaju polijeganje usjeva, poskupljenje proizvodnje uslijed dopunske agrotehlike, čišćenja sjemena (povećane primjese), povećanje vlage zrna, a time i umanjeње kvalitete prinosa i poljoprivrednih proizvoda. Mnoge korovne vrste su i izvori zaraze biljnih bolesti te domaćini štetnim organizmima (kukcima i nematodama) čime utječu na zdravstveno stanje usjeva, a mogu štetno djelovati na zdravlje ljudi i domaćih životinja izazivajući dermatitis i alergije.

Iako ozima pšenica, kao usjev gustog sklopa, ima relativno dobru kompeticijsku sposobnost, brojne su jednogodišnje i višegodišnje širokolisne i uskolisne korovne vrste koje je zakorovljuju i mogu uzrokovati smanjenje prinosa. Od širokolisnih jednogodišnjih korovnih vrsta u pšenici se najčešće javljaju čekinjasta broćika (*Galium aparine*), bezmirisna kamilica (*Matricaria perforata*), prava kamilica (*Chamomilla recutita*), prava rusomača ili pastirska torbica (*Capsela bursa-pastoris*), grimizna mrtva kopriva (*Lamium purpureum*), srednja mišjakinja (*Stellaria media*), perzijska čestoslavica (*Veronica persica*), bršljanasta čestoslavica (*Veronica hederifolia*), poljski jarmen (*Anthemis arvensis*), poljska potočnica (*Myosotis arvensis*), mak turčinak (*Papaver rhoeas*), poljska ljubica (*Viola arvensis*), i dvornici (*Polygonum* spp.). Višegodišnje širokolisne vrste koje prevladavaju su poljski osjak (*Cirsium arvense*), poljski slak (*Convolvulus arvensis*) te obični ladolež (*Calystegia sepium*). Od jednogodišnjih uskolisnih (travnih) korova najznačajniji su mišji repak (*Alopecurus myosuroides*), obična slakoperka (*Apera-spica ventii*), jednogodišnja vlasnjača (*Poa annua*), te divlja zob (*Avena fatua*), dok su od višegodišnjih uskolisnih (travnih) korovnih vrsta u usjevu pšenice zastupljeni puzava pirika (*Elymus repens*), obična vlasnjača (*Poa trivialis*), livadna vlasnjača (*Poa pratensis*) te višegodišnji ljulj (*Lolium perenne*). Poznavanje florističkog sastava te bioloških i ekoloških značajki korovnih vrsta na proizvodnoj površini ima velik značaj pri planiranju i provođenju mjera zaštite, posebice kod kemijskih mjera suzbijanja korova. Naime, preduvjet za izbor najučinkovitijeg herbicidnog pripravka te doze primjene je pravilna identifikacija prisutnih korovnih vrsta u usjevu.

Pravovremena zaštita od korova ključna je pri postizanju visokih i kvalitetnih prinosa, stoga je potrebno poznavati kritično razdoblje zakorovljenosti (KRZ). Kritično razdoblje zakorovljenosti (KRZ) predstavlja vrijeme kada se prisutnost korova značajno odražava na prinos usjeva odnosno vremensko razdoblje nakon nicanja usjeva u kojem mu korovi pričinjavaju najveće štete i u kojem ih je potrebno suzbiti kako bi se gubitak prinosa spriječio. Korovi u usjevu mogu biti prisutni tijekom čitave vegetacije, ali njihova prisutnost ne utječe nužno uvijek negativno na prinos usjeva. Kritično razdoblje zakorovljenosti za pšenicu traje od početka busanja do početka fenofaze vlatanja. Značajno je napomenuti da sve korovne vrste nisu jednako štetne odnosno posjeduju različitu kompeticijsku sposobnost i nemaju jednak značaj kod suzbijanja, a koliko će prinos pšenice biti smanjen ovisi i o vremenu pojavljivanja korova u odnosu na usjev te njegovoj brojnosti (broj jedinki po m<sup>2</sup>). Tako značajnije štete čine korovi koji niču u isto

vrijeme s usjevom u odnosu na korove koji su nikli kasnije. Isto tako, za pojedine izrazito kompetitivne korovne vrste ekonomski prag štetnosti je vrlo nizak i iznosi svega 0,5 – 1 jedinki po m<sup>2</sup>, dok je za korove koji imaju manji utjecaj na prinos ekonomski prag štetnosti viši pa može iznositi primjerice 15-20 jedinki po m<sup>2</sup>.

Suzbijanje korova u pšenici obuhvaća brojne neizravne i izravne mjere kojima se smanjuje zakorovljenost i kompeticija korova prema usjevu uz postizanje visokih i kvalitetnih prinosa, a uputno ga je provoditi prema načelima integrirane zaštite bilja. Integrirana zaštita bilja (IPM – Integrated Pest Management) sustav je zaštite bilja koji obuhvaća primjenu svih raspoloživih mjera zaštite bilja, s tim da je primjena kemijskih sredstava za zaštitu bilja svedena na najmanju moguću mjeru. Preventivne mjere prvi su korak kojim se sprječava unošenje novih i širenje postojećih korovnih vrsta, a uključuju održavanje čistoće gospodarskih dvorišta, zgrada i oruđa, suzbijanje korova na susjednim nepoljoprivrednim površinama, sprječavanje osjemenjivanja korova kao i vegetativnog širenja, te upotreba zrelog organskog gnojiva. U nekemijske mjere ubraju se kulturalne, agrotehničke, mehaničke i biološke mjere suzbijanja korova. Zakorovljenost pšenice smanjuje se agrotehničkim mjerama kao što su optimalni rokovi, dubina i gustoća sjetve (povećanje sjetvene norme) čistog sjemena, uravnotežena gnojidba i primjena plodoređa. Korištenjem pokrovnih usjeva dolazi do sprječavanja nicanja korova (kompeticija, zasjenjivanje), dok biljni ostatci pokrovnih usjeva stvaraju fizičku barijeru te izlučuju alelokemikalije koje smanjuju nicanje i rast korova.

Kemijske mjere obuhvaćaju primjenu herbicidnih pripravaka, čija se prednost očituje u učinkovitosti, jednostavnosti primjene i ekonomičnosti. Za suzbijanje korova u pšenici registriran je veliki broj pripravaka koji se mogu primijeniti u dva roka: nakon sjetve, a prije nicanja (pre-emergence), te nakon nicanja (post-emergence). Herbicidi se mogu primijeniti u jesenskom te proljetnom roku. U jesenskom se roku korovi mogu suzbiti primjenom zemljišnih herbicida nakon sjetve, a prije nicanja usjeva, te primjenom folijarnih herbicida nakon nicanja pšenice koji je u skladu s integriranim pristupom suzbijanja korova, te omogućuje izbor najučinkovitijeg herbicida i primjenu u nižim dozama. U proljetnom roku primjenjuju se folijarni herbicidi pri čemu je potrebno voditi računa da korovi budu u optimalnom stadiju razvoja. S obzirom na sve veću pojavu rezistentih populacija korova, pri upotrebi herbicida treba voditi računa o mehanizmu djelovanja aktivne tvari te izmjenjivati pripravke odnosno primjenjivati pripravke s aktivnim tvarima različitog mehanizmima djelovanja.

Doc. dr. sc. Marija Ravlić

## Ekologija korova u konzervacijskim sustavima obrade tla

Konzervacijska poljoprivreda u današnje vrijeme predstavlja jednu od najučinkovitijih metoda u prilagodbi poljoprivredne proizvodnje klimatskim promjenama kao i u ublažavanju štetnih posljedica istih. Uključuje smanjen intenzitet obrade tla (bez okretanja tla), pravilan plodored i trajnu prekrivenost tla. Unatoč brojnim prednostima konzervacijske obrade tla kao što su održavanje i povećanje kvalitete tla, konzervacija vode i hraniva, stabilnost prinosa, smanjenje troškova proizvodnje i povećanje bioraznolikosti, široka primjena i dalje u određenoj mjeri ovisi o problematici zakorovljenosti. Prilikom uvođenja konzervacijskih sustava obrade tla moguće su i izgledne određene promjene u intenzitetu zakorovljenosti i strukturi korovne populacije što zahtijeva specifičnu primjenu herbicida i učinkovito gospodarenje korovima. Kemijska zaštita često podrazumijeva primjenu totalnih herbicida, konstantan monitoring i pomno planiranje svih raspoloživih mjera u zaštiti od korova.

Korovi su sveprisutni pratitelji poljoprivrednih usjeva, a intenzitet njihove pojavnosti kao i specifične korovne vrste rezultat su interakcije brojnih primjenjivanih proizvodnih mjera u biljnoj proizvodnji kao i okolišnih i ekoloških čimbenika. Pojavnost korova može biti uvjetovana različitim primijenjenim agrotehničkim mjerama koje uključuju obradu tla, plodored, gnojidbu, navodnjavanje, upotrebu herbicida i specifičnosti pojedinog agroekološkog područja.

### Promjene u korovnoj populaciji uslijed konzervacijske obrade tla

Prilikom uvođenja konzervacijskih sustava obrade tla moguće su različite promjene u strukturi korovne populacije i razini intenziteta zakorovljenosti poljoprivrednih usjeva. Pojavnost većeg broja višegodišnjih korovnih vrsta uslijed izostanka okretanja tla oranjem često je prva očekivana promjena, međutim istodobno je moguća i veća pojava jednogodišnjih korova. Povećan intenzitet zakorovljenosti vidljiv je kroz povećanje ukupnog broja korova po jedinici površine, ukupne biomase korova i povećanja broja pojedinih korovnih vrsta. Povećanje broja pojedinih korovnih vrsta pozitivna je promjena u dinamici korovne populacije uslijed povećanja bioraznolikosti što za posljedicu ima manje izraženu dominaciju određene korovne vrste. Utjecaj konzervacijske obrade tla na pojava korova usko je povezan sa specifičnim agroekološkim uvjetima kao i dostupnim i primijenjenim metodama zaštite bilja. Kontrola korova u sustavima konzervacijske obrade kompleksnija je uslijed izostanka direktnih mjera suzbijanja obradom tla. Smanjen intenzitet obrade tla može dovesti do veće pojavnosti jednogodišnjih korovnih vrsta koje se razmnožavaju isključivo sjemenom što im pogoduje jer velika količina sjemena koju proizvode ne bude inkorporirana u tlo. S druge strane, ponekad klijavost sjemena jednogodišnjih korova može biti smanjena zbog izloženosti brojnim abiotskim i biotskim čimbenicima na površini tla. Žetveni ostatci na površini tla također pogoduju intenzivnijem klijanju pojedinih jednogodišnjih vrsta jer im odgovara zasjenjivanje i povećana vlaga tla. Pojavnost višegodišnjih korova često bude izraženija u konzervacijskim sustavima obrade. Suzbijanje višegodišnjih korova često može biti izazovno iako obično rastu sporije u odnosu na jednogodišnje što je posljedica vegetativnog razmnožavanja.



### **Utjecaj pokrovnih usjeva na populaciju korova**

Učinkovita kontrola zakorovljenosti treba podrazumijevati prikladne mjere agrotehnike, a osobito upotrebu pokrovnih usjeva s visokim potencijalom u ostvarivanju biomase. Pravilan plodored s uključenim pokrovnim usjevima znatno otežava razvojni ciklus korovnih vrsta te smanjuje značajniji intenzitet zakorovljenosti kod primjene konzervacijske obrade tla. Pokrovni usjevi pomažu u suzbijanju korova kao živi pokrovi, a uz formiranje veće količine biomase suzbijajuće djelovanje je produženo što je od osobitog značaja u slučaju da količina žetvenih ostataka na tlu nije dovoljna. Rast i razvoj korova bit će ometan kompeticijom živih pokrovnih usjeva tijekom vegetacije ili ostacima pokrovnih usjeva koji su manje učinkoviti ali ipak značajni u suzbijanju korova u ranim fazama rasta. Utjecaj pokrovnih usjeva manje je izražen na suzbijanje višegodišnjih korovnih vrsta u odnosu na jednogodišnje. Pokrovni usjevi na dinamiku populacije korova također utječu alelopatijom. Tijekom razgradnje biljnih ostataka neki pokrovni usjevi (raž, grahorica, sirak, heljda) otpuštaju alelokemikalije koje suzbijajuće djeluju najviše na klijanje i rani porast korovnih biljaka, najviše jednogodišnjih dok višegodišnji korovi nisu podložni negativnom djelovanju alelopatije.

### **Suzbijanje korova u konzervacijskim sustavima obrade tla**

Prelazak na konzervacijsku obradu tla zahtijeva promjene u planiranju i djelovanju u pogledu kontrole zakorovljenosti. Podrazumijeva kontinuirani monitoring i predviđanje mogućih rješenja koja često uključuju primjenu herbicida. Unatoč tome, prije primjene direktnih kemijskih mjera zaštite primjenjuju se sve preventivne i ne kemijske direktne mjere koje se temelje na integriranom sustavu zaštite bilja koji je ključan u konzervacijskim sustavima obrade tla.

Izv. prof. dr. sc. Bojana Brozović

## Status korova u konzervacijskoj poljoprivredi

Uslijed prisutnih klimatskih promjena, nužno je prilagoditi sustave poljoprivredne proizvodnje i uskladiti ih s održivim principima gospodarenja u poljoprivredi. Najveću sposobnost prilagodbe na klimatske promjene i ublažavanja njihovog negativnog utjecaja pokazuju sustavi konzervacijske poljoprivrede. Konzervacijski poljoprivredni sustav postavljen je na tri temeljna principa:

1. minimalno narušavanje tla obradom – održavanje dobre kondicije tla primjenom minimalnog seta radnih zahvata obrade tla, a svakako izbjegavanje okretanja tla
2. permanentna pokrivenost tla biljkama i/ili biljnim ostacima – zadržavanje biljnih ostataka prethodnog usjeva, sjetva postrnih ili među usjeva
3. rotacija usjeva – plodosmjena s ciljem održavanja bioraznolikosti iznad tla i u tlu, uzgoj biljaka različite dubine i intenziteta ukorjenjavanja, uzgoj leguminoznih biljaka s ciljem obogaćivanja sustava tlo-biljka dušikom iz zraka, te izbjegavanje biljnih bolesti i štetočinja

Pojam konzervacijske obrade tla objedinjuje različite metode obrade tla od duboke obrade, reducirane ili minimalne, do direktne sjetve ili izostavljanja obrade gdje je jedini zahvat kojim se zadire u tlo sjetva samog usjeva. Konzervacijska poljoprivreda je prepoznata kao učinkovit alat za održivo povećanje prinosa u većini dijelova svijeta. Proizvođači koji primjenjuju principe konzervacijske poljoprivrede suočit će se s nekoliko upravljačkih promjena, a kontrola korova doživljava se kao jedan od najizazovnijih. Pritisak korova i prinos usjeva obrnuto su povezani, s toga je upravljanje korovom presudno za postizanje potencijalnog povećanja prinosa koje nude konzervacijski sustavi. Vrlo je malo studija koje sustavno ispituju izravne i interaktivne učinke triju principa konzervacijske poljoprivrede na dinamiku korova. Korovi su trajna komponenta agroekosustava i ostaju kao najvažniji čimbenik koji uzrokuje smanjenje prinosa. Herbicidi su ključni alat za suzbijanje korova u modernoj poljoprivredi zbog svoje niske cijene, visoke učinkovitosti protiv većine korova, jednostavnosti primjene i nižih zahtjeva radne snage. Evolucija korova otpornih na herbicide uslijed selekcijskog pritiska koji vrše suvremene poljoprivredne prakse čini zadatak upravljanja korovima izazovnijim. Sve je veći broj korova otpornih na herbicide u cijelom svijetu zahtijevaju se inovativne strategije upravljanja korovom. Istraživači su utvrdili da sustav obrade tla utječe na sastav i funkcionalne svojstva zajednice korova. Razumijevanje učinaka obrade tla na dinamiku zajednice korova može biti izazov. Učinci se razlikuju ovisno o interakciji s drugim sustavima upravljanja, okolišem uvjetima i biologiji korova, a primijećeno je da su površinski ostaci snižavali prosječne temperature tla i odgađali nicanje usjeva i korova.

### Utjecaj konzervacijskih sustava obrade tla na korove

Korovi su najvažniji čimbenik koji utječe na uvođenje konzervacijskog sustava obrade tla, a intenzitet zakorovljenosti bit će najveći na samom početku takvog načina biljne proizvodnje. Dosadašnja istraživanja ukazuju da je nulta obrada tla rezultira poteškoćama u suzbijanju određenih vrsta korova. Sustav nulte obrade rezultira višestruko većom pojavnosti korova u odnosu na konvencionalnu obradu tla plugom. Smanjenje u raznolikosti korovne populacije na tlima pod intenzivnom obradom dokaz su negativnih utjecaja suvremenog uzgoja na biološku raznolikost poljoprivrednih površina. Na površinama s minimalnom obradom tla zabilježena je veća brojnost korova nego u konvencionalnim sustavima za obradu tla. Zajednice korova pod reduciranom obradom tla potencijalno su bile manje

konkurentne jer su bile kraćeg vegetacijskog ciklusa, s manje afiniteta za usvajanje hraniva. Suprotno tome, zajednice korova pod konvencionalnom obradom tla potencijalno su imale manju proizvodnju sjemena s manjom brojnošću višegodišnjih vrsta. Literatura pokazuje da različite metode obrade tla utječu na nakupljanje i raspodjelu sjemena u profilu tla. U konvencionalnim sustavima obrade, sjeme se raspoređuje više ili manje ravnomjerno po cijelom sloju obrađenog tla, dok je u reduciranim sustavima velik dio sjemena koncentriran u površinskom sloju tla. Povećavanjem količine žetvenih ostataka dolazi do smanjene pojavnosti svih vrsta korova. Istraživanja potvrđuju da su višegodišnje vrste poput *Cirsium arvense* i *Sonchus arvensis* bili povezani sa sustavima reducirane obrade tla i nulte obrade tla, dok su jednogodišnje vrste bile povezane s opsegom sustava obrade tla. Mnogi čimbenici poput dubine sjetve, temperature, vlažnosti i reakcije tla imaju utjecaj na klijanje korova i njihov kasniji rast i razvoj, što će u konačnici utjecati na kompeticijski odnos usjeva i korova. Promjena gore navedenih čimbenika uslijed različitih agrotehničkih zahvata mogla bi smanjiti kompeticiju korova u odnosu na usjev.

Iva Rojnica, mag. ing. agr.

## Alelopatija u agroekosustavima

Svaku poljoprivrednu proizvodnju neizostavno prati prisutnost korovnih vrsta, neželjenih biljaka koje čine značajne štete smanjujući količinu i kvalitetu prinosa brojnih usjeva. Iako je primjena kemijskih herbicida jednostavna, učinkovita i ekonomski isplativa mjera suzbijanja korova, njihova nepravilna i prekomjerna upotreba može dovesti do niza negativnih posljedica kao što su rezidue u okolišu i hrani, pojava rezistentnih populacija korova, smanjenje bioraznolikosti te negativni učinci na zdravlje ljudi i životinja. Održivija proizvodnja usjeva, koja ima za cilj minimizirati primjenu kemijskih herbicida, zaštititi tlo od erozije i degradacije, te ujedno smanjiti troškove proizvodnje, zahtijeva primjenu alternativnih i ekološki prihvatljivih metoda kao što je alelopatija.

Alelopatija je biološki fenomen koji predstavlja pozitivni ili negativni, izravni ili neizravni utjecaj jedne biljne vrste na rast i razvoj druge izlučivanjem alelokemikalija u okoliš. Biljka koja otpušta alelokemikalije naziva se biljka donor, a biljka na koju alelokemikalije djeluju biljka receptor. Alelokemikalije su najčešće sekundarni metaboliti koji nemaju značajnu ulogu u primarnom metabolizmu biljaka. Ovdje se ubrajaju različiti fenoli, flavonoidi, tanini, alkaloidi, terpenoidi, kumarini i brojni drugi spojevi. Alelokemikalije mogu biti prisutne u svim biljnim organima, pa ih tako nalazimo u korijenu i svim nadzemnim dijelovima biljaka – stabljici, listovima, cvijetu, polenu, plodovima i sjemenu. U okoliš se alelokemikalije izlučuju na četiri različita načina, i to isparavanjem (volatilizacijom), ispiranjem iz biljnih dijelova, razgradnjom (dekompozicijom) biljnih ostataka te izlučivanjem iz korijena u tlo. Alelopatski spojevi utječu na fiziološke i biokemijske procese u biljkama, a vidljivo djelovanje alelokemikalija se može očitovati u morfološkim promjenama biljke receptora, primjerice smanjenju ili inhibiciji klijavosti sjemena, rasta korijena i izdanka, i redukciji akumulacije suhe mase.

Niz je čimbenika koji utječu na alelopatski potencijal određene biljne vrste. Negativan učinak alelopatije uglavnom se ispoljava pri višim koncentracijama alelokemikalija, dok s druge strane niže koncentracije vrlo često djeluju stimulatивно na rast i razvoj klijanaca. Isto tako, količina alelokemikalija razlikuje se u različitim biljnim dijelovima, a na alelopatski potencijal utječe i fenofaza biljke donora što znači da neke biljne vrste mogu pokazivati veći negativni utjecaj u vegetativnoj fazi u odnosu na fazu cvatnje, i obrnuto. Abiotski i biotski čimbenici uvelike utječu na alelopatski potencijal biljaka, pa tako količina alelokemikalija varira s obzirom na geografsku lokaciju, tip staništa na kojem biljka raste, tip tla, a mijenja se i ovisno o sezonskim promjenama. Nepovoljni okolišni čimbenici, poput suše odnosno nedostatka vode, ograničene dostupnosti hraniva, napada uzročnika bolesti i štetnika, mogu povećati produkciju alelokemikalija, a time i inhibitorno alelopatsko djelovanje. Biljke receptori razlikuju se u svojoj osjetljivosti na alelokemikalije, a razlike se mogu uočiti i među genotipovima iste vrste.

Alelopatski odnosi odvijaju se kako u prirodnim ekosustavima tako i u agroekosustavima pri čemu je najznačajnija interakcija između usjeva i korova. Alelopatija se može uspješno koristiti kao glavna ili dopunska metoda suzbijanja korova u integriranim sustavima proizvodnje, konzervacijskoj i ekološkoj poljoprivredi, u svim usjevima gdje je mogućnost aplikacije kemijskih herbicida limitirana, nepoželjna ili zabranjena. Alelopatske vrste mogu se primijeniti na različite načine, uvođenjem u plodored, kao pokrovni ili postrni usjevi, malčevi ili inkorporacijom njihovih biljnih ostataka u tlo. Upotreba vodenih ekstrakata kao prirodnih herbicida, bilo samostalno ili u kombinaciji sa smanjenim dozama kemijskih herbicida, ili sjetva genotipova s izraženim alelopatskim potencijalom, također može smanjiti nicanje i

rast korovnih vrsta. Neovisno o načinu primjene, ključno je da inhibitorni učinak bude ograničen samo na korove, i to na što više različitih vrsta, ali bez negativnog utjecaja na rast i prinos usjeva. Nije zanemarivo ni pozitivno djelovanje alelopatije koje se s druge strane može iskoristiti za poboljšanje rasta i razvoja usjeva.

Biljke s visokim alelopatiskim potencijalom koje se mogu koristiti su različiti usjevi te brojne druge biljne vrste, uključujući korove. Alelopatiski potencijal između ostalog posjeduju žitarice, poput pšenice, raži i sirka, kao i heljda, vrste roda *Brassica*, lucerna i suncokret. U novije vrijeme istraživanja su usmjerena na alelopatiski potencijal kultiviranog i samoniklog ljekovitog i aromatičnog bilja. Osobito su interesantne vrste iz porodica Apiaceae kao što su komorač (*Foeniculum vulgare*), anis (*Pimpinella anisum*), ljupčac (*Levisticum officinale*) i kim (*Carum carvi*), te Lamiaceae, primjerice bosiljak (*Ocimum basilicum*), matičnjak (*Melissa officinalis*), vrste roda *Salvia* (kadulje) i lavanda (*Lavandula angustifolia*). Velik broj ovih vrsta sadrži eterična ulja čije komponente ispoljavaju inhibitorno djelovanje. Samonikle vrste, primjerice crni sljez (*Malva sylvestris*), ruderalne, npr. bijeli kokotac (*Melilotus albus*) te korovne vrste, posebice invazivne kao što su ambrozija (*Ambrosia artemisiifolia*), velika zlatnica (*Solidago gigantea*) i prava svilenica (*Asclepias syriaca*), ali i mnoštvo ostalih biljnih vrsta izvor su okolišno prihvatljivih potencijala u zaštiti bilja.

Doc. dr. sc. Marija Ravlić



## Korovna flora i suzbijanje korova u kukuruzu

Korovi su biljne vrste koje rastu na površinama gdje nisu poželjne. Korovi se javljaju na poljoprivrednim površinama u svim usjevima. Korovne biljke natječu se s usjevom za vegetacijski prostor, vodu, svjetlo te hranjive tvari čime direktno utječu na smanjenje ili potpuno uništenje prinosa usjeva. Indirektno, korovi čine štete otežavanjem izvođenja agrotehničkih mjera (obrade, žetve, berbe), poskupljenjem proizvodnje (dopunska agrotehnika, čišćenje sjemena) te umanjem kvalitete prinosa i poljoprivrednim proizvoda. Osim toga, korovi stvaraju uvjete za razvoj bolesti i štetnika, a mogu štetno djelovati na zdravlje ljudi i domaćih životinja. Najveći gubitak prinosa kukuruza uglavnom je uzrokovan uslijed kompeticije s korovnim vrstama.

Korovi u usjevu mogu nicati tijekom cijele vegetacije, no njihovo prisustvo ne mora uvijek negativno djelovati na usjev. Kritično razdoblje zakorovljenosti (KRZ) predstavlja vremensko razdoblje nakon nicanja usjeva u kojem korovi čine najveće štete usjevu i u kojem ih je potrebno suzbiti kako bi se spriječio gubitak prinosa. Kritično razdoblje zakorovljenosti za kukuruz je od 3 do 6 tjedana nakon sjetve odnosno kad je kukuruz u fazi od 2-3 do 10-12 listova. U ovom ranom periodu kukuruz ima vrlo spor vegetativni porast, dok se korovi vrlo brzo razvijaju te ga lako nadvladaju. Stoga je preporuka suzbiti korove u prvih 3 do 5 tjedana nakon nicanja kukuruza. Nakon razvijenih 10 do 12 listova biljke kukuruza počinju intenzivno rasti te korovi koji niknu nakon tog perioda ne nanose velike štete usjevu.

S obzirom da je kukuruz širokoredna (okopavinska) kultura, i korovna flora je tipična okopavinska. U kukuruzu se javljaju jednogodišnje i višegodišnje širokolisne i uskolisne korovne vrste. Od širokolisnih jednogodišnjih korova u kukuruzu najčešće prevladavaju bijela loboda (*Chenopodium album*), višesjemena loboda (*Ch. polyspermum*), oštrodlakavi šćir (*Amaranthus retroflexus*), pjegasti dvornik (*Polygonum persicaria*), crna pomoćnica (*Solanum nigrum*), poljska gorušica (*Sinapis arvensis*), mjehurasta sljezolika (*Hibiscus trionum*), ambrozija (*Ambrosia artemisiifolia*) i europski mračnjak (*Abutilon theoprasti*), dok su najčešće višegodišnje širokolisne vrste poljski osjak (*Cirsium arvense*), poljski slak (*Convolvulus arvensis*) te kiselice (*Rumex* spp.). Od jednogodišnjih uskolisnih korovnih vrsta u usjevu kukuruza zastupljeni su koštan (*Echinochloa crus-galli*), crvenkasti muhar (*Setaria glauca*), zeleni muhar (*Setaria viridis*), obična svračica (*Digitaria sanguinalis*), divlje i vlasasto proso (*Panicum miliaceum*, *P. capillare*), dok su najznačajniji višegodišnji uskolisni korovi puzava pirika (*Agropyron repens*), divlji sirak (*Sorghum halepense*) te prstasti troskot (*Cynodon dactylon*). Poznavanje florističkog sastava i sezonske dinamike korovne zajednice kukuruza ima velik značaj pri planiranju i izvođenju mjera suzbijanja, posebice na pravovremenu, racionalnu i učinkovitu primjenu kemijskih sredstava.

Suzbijanje korova u kukuruzu jedna je od najvažnijih agrotehnoških mjera. Mjere borbe protiv korova u kukuruzu obuhvaćaju brojne indirektno i direktne mjere kojima se smanjuje zakorovljenost i kompeticiju korova prema usjevu. Preventivne mjere koje, između ostalog, obuhvaćaju održavanje čistoće gospodarskih dvorišta i oruđa, suzbijanje korova na susjednim neobrađenim površinama i sprječavanje osjemenjivanja korova kao i vegetativnog širenja, prvi su korak kojim se sprječava unošenje novih i širenje postojećih korovnih vrsta. Među kulturalne, agrotehničke i mehaničke mjere ubrajaju se plodored, obrada tla ili njezin izostanak, optimalna gnojidba, optimalni rokovi sjetve, dubina i gustoća sjetve, primjena međuredne kultivacije te malčeva i pokrovnih usjeva. Primjena pokrovnih usjeva koji rastu zajedno s kukuruzom smanjuje zakorovljenost uslijed kompeticije s korovima te negativnim alelopatskim utjecajem na nicanje i rast korova. Pokrovni usjevi mogu se

inkorporirati i u tlo ili ostaviti na površini tla prije sjetve glavnog usjeva čime čine fizičku barijeru i time sprječavaju nicanje korova.

Kemijske mjere suzbijanja korova obuhvaćaju primjenu herbicida, jedne od najvažnijih mjera kontrole korova u kukuruzu. Prednost primjene herbicida očituje se u ekonomičnosti te učinkovitosti suzbijanja korova. Kemijsko suzbijanje korova u kukuruzu provodi se primjenom herbicida prije sjetve ili nakon sjetve, a prije nicanja (pre-em tretmani) te tretmanima nakon nicanja (post-em tretmani) koji obuhvaćaju ciljano ili korektivno suzbijanje korova jednokratnom ili split primjenom herbicida. Integrirani pristup suzbijanja korova prednost daje primjeni herbicida nakon nicanja. Ovakvom primjenom herbicida ciljano se suzbijaju najzastupljenije korovne vrste prisutne u usjevu, za razliku od primjene prije nicanja kada korovi još nisu nikli pa njihov sastav i brojnost nije poznat. Isto tako, tretiranje nakon nicanja neizbježno je kod prisutnosti višegodišnjih korovnih vrsta. Za učinkovito suzbijanje potrebno je odrediti i optimalni rok primjene herbicida nakon nicanja. Prerana primjena dovodi do rizika ponovnog ponika korova koji nisu niknuli u vrijeme tretiranja, dok kod prekasne primjene može doći do smanjenje učinkoviti s obzirom da korovi prođu najosjetljiviju fazu rasta.

Doc. dr. sc. Marija Ravlić

## Korovna flora i suzbijanje korova u soji

Korovi su nepoželjne biljne vrste koje se javljaju na poljoprivrednim površinama u svim usjevima. Korovne biljke u kompeticiji su s usjevom za vegetacijski prostor, vodu, svjetlo te hranjive tvari te uzrokuju snižavanje ili potpuno uništenje prinosa usjeva. Osim direktnih šteta, korovi indirektno čine štete otežavanjem izvođenja agrotehničkih mjera (obrade, žetve, berbe), poskupljenjem proizvodnje (dopunska agrotehnika, čišćenje sjemena), te umanjemom kvalitete prinosa i poljoprivrednim proizvoda. Korovi soji mogu pričiniti značajne štete, a njihovo suzbijanje zahtjeva integrirani pristup zaštite.

U usjevu soje prisutne su brojne jednogodišnje i višegodišnje širokolisne i uskolisne korovne vrste. Širokolisni korovi zastupljeniji su u odnosu na uskolisne. Od širokolisnih jednogodišnjih korova u soji najčešće se javljaju ambrozija (*Ambrosia artemisiifolia*), oštrodlakavi šćir (*Amaranthus retroflexus*), bijela loboda (*Chenopodium album*), dvornici (*Polygonum persicaria*, *P. lapathifolium*), europski mračnjak (*Abutilon theophrasti*), crna pomoćnica (*Solanum nigrum*), bijeli kužnjak (*Datura stramonium*), poljska gorušica (*Sinapis arvensis*), mjehurasta sljezolika (*Hibiscus trionum*), obalna dikica (*Xanthium strumarium*) i drugi, dok su najčešće višegodišnje širokolisne vrste poljski osjak (*Cirsium arvense*) te poljski slak (*Convolvulus arvensis*). Od jednogodišnjih uskolisnih korovnih vrsta u usjevu soje zastupljeni su koštan (*Echinochloa crus-galli*), muhari (*Setaria* spp.), obična svračica (*Digitaria sanguinalis*), prosa (*Panicum* spp.), a najznačajniji su višegodišnji uskolisni korovi puzava pirika (*Agropyron repens*) i divlji sirak (*Sorghum halepense*).

Kritično razdoblje zakorovljenosti (KRZ) predstavlja vremensko razdoblje nakon nicanja usjeva u kojem korovi čine najveće štete usjevu i u kojem ih je potrebno suzbiti kako bi se spriječio gubitak prinosa. Korovi u soji mogu nicati tijekom cijele vegetacijske sezone, no značajne štete čine samo u određenom periodu. S obzirom da soja ima slabu kompetitivnu sposobnost, osjetljiva je na prisutnost korova u početnim fazama razvoja. Stoga kritično razdoblje zakorovljenosti za soju traje od 4 do 6 tjedna nakon nicanja u kojem bi korove trebalo držati ispod ekonomskog praga štetnosti. Kasnija prisutnost korova u soji, nakon tog razdoblja, ne utječe značajno na visinu prinosa.

Integrirana zaštita bilja podrazumijeva korištenje svih raspoloživih mjera zaštite i drugih mjera u cilju sprječavanja razvoja populacije štetnih organizama na najekonomičniji i ekološki prihvatljiv način. Mjere suzbijanja korova u soji obuhvaćaju brojne preventivne, neizravne i izravne mjere kojima se smanjuje zakorovljenost i kompeticija korova prema usjevu. Glavni preduvjet za uspješno suzbijanje korova je njihovo mapiranje i identifikacija u ranim stadijima razvoja kako bi se omogućilo što bolje planiranje primjene najučinkovitijih mjera suzbijanja. Primjena preventivnih mjera sprječava širenje sjemena korova i organa za vegetativno razmnožavanje višegodišnjih korovnih vrsta. Preventivne mjere obuhvaćaju sjetvu deklariranog sjemena, primjenu organskih gnojiva bez sjemena korova, održavanje čistoće gospodarskih dvorišta i oruđa, suzbijanje korova na susjednim neobrađenim površinama i sprječavanje osjemenjivanja korova. Pravilan izbor parcele, plodored, optimalna gnojidba, izbor kultivara, vremena sjetve i međurednog razmaka značajne su neizravne nekemijske mjere suzbijanja korova. Primjena pokrovnih usjeva mjera je koja smanjuje zakorovljenost tla uslijed kompeticije s korovima, te negativnim alelopatskim utjecajem djeluje na nicanje i rast korova. Korovi u soji mogu se suzbiti i izravnim mehaničkim mjerama primjenom različitih strojeva prije i poslije nicanja usjeva.

Kemijsko suzbijanje korova u soji odnosi se na primjenu herbicida, a u integriranoj zaštiti bilja potrebno ih je koristiti samo ukoliko su neophodni. Herbicide je moguće primijeniti u različitim vremenskim rokovima, odnosno prije sjetve (pre-sow), zatim nakon sjetve, a prije nicanja (pre-em), te nakon nicanja (post-em). Herbicidi koji se primjenjuju nakon sjetve, a prije nicanja (pre-em) nazivaju se i zemljišni herbicidi, a njihovom primjenom osigurava se dobar početni porast soje. Zemljišni herbicidi pak slabije suzbijaju jednogodišnje korove krupnog sjemena koji niču iz dubljih slojeva tla, te ne suzbijaju učinkovito višegodišnje korovne vrste. Zemljišni herbicidi za aktivaciju zahtijevaju oborine i u slučaju njihovog izostanka, učinkovitost herbicida će izostati. Integrirana zaštita bilja prednost daje primjeni herbicida nakon nicanja (post-em). U ovom roku, kako bi se postigla najviša učinkovitost, korovi se suzbijaju u ranim fazama razvoja, stoga je iznimno bitna njihova pravovremena primjena. Međutim, zbog malog broja djelatnih tvari dozvoljenih u post-em primjeni i stoga učestale primjene istog herbicida ili herbicida istog mehanizma djelovanja, u soji su detektirane populacije rezistentnih korovnih vrsta. Stoga je primjena svih prethodno navedenih raspoloživih mjera zaštite ključna za uspješno suzbijanje korova u soji.

Doc. dr. sc. Marija Ravlić

## Konzervacijski sustavi obrade tla i kukci

Konzervacijska obrada tla na različite načine može promijeniti dinamiku populacije brojnih vrsta kukaca. Populacija štetnih kukaca može se promijeniti ili ostati na istoj razini što može dovesti do povećanog intenziteta napada na poljoprivredne usjeve i izraženije štete, izostanka štetnog utjecaja ili njegovog smanjenja. Uvođenje konzervacijskih sustava obrade tla neminovno dovodi do značajnih promjena u načinima kontrole nekih štetnih kukaca, osobito onih vrsta koji veći dio svog životnog ciklusa provode u tlu. Iz tog razloga, zaštitu bilja (direktne i indirektne mjere) potrebno je prilagoditi postojećim uvjetima kako bi se populacija štetnika održala na razini neškodljivosti za poljoprivredne usjeve. Osnovni principi integrirane zaštite bilja temelj su svih mjera koje je potrebno provoditi u konzervacijskoj poljoprivredi.

### Utjecaj konzervacijske obrade tla na dinamiku kukaca u poljoprivrednim usjevima

Promjene u populaciji kukaca u smislu veće pojavnosti i dominacije određenih vrsta koje čine značajnije štete na ratarskim usjevima jedna su od mogućih nedostataka konzervacijskih sustava obrade tla. Međutim, promjene u intenzitetu i načinu izvođenja obrade tla, zajedno s permanentnom prekrivenošću tla ponekad mogu rezultirati i smanjenjem pojavnosti štetnih kukaca. Osim utjecaja na štetne kukce, korisni kukci (predatori/prirodni neprijatelji) također su izravno pogođeni promjenama koje su posljedica uvođenja konzervacijske obrade tla koja na direktne i indirektne načine mijenja okolišne čimbenike koji su važni za optimalan razvoj i potpuni životni ciklus kukaca. Izravan utjecaj konzervacijske obrade tla odnosi se na promjene u abiotičkim i biotičkim činiteljima koji su ključni za optimalan razvoj kukaca. Promjene u temperaturi, sadržaju vode u tlu i dostupnosti hrane za kukce za posljedicu imaju promjene u dinamici populacije kukaca. Reduciranje ili potpuni izostanak obrade tla u konzervacijskim sustavima utječu na gotovo neometan razvoj kukaca koji cijeli ili dio svog životnog ciklusa provode na tlu ili u žetvenim ostatcima budući da ne dolazi do narušavanja ili uništavanja njihovog staništa. Žetveni ostaci na površini tla povećavaju vlažnost tla uz istodobno smanjenje temperature tla što pogoduje određenim vrstama kukaca. Preživljavanja jaja kukuruzne zlatice (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) uslijed smanjenih oscilacija temperature tla preko zime bit će povećano, a pojavnost odraslog kukca bit će nešto kasnija u odnosu na površine pod konvencionalnom obradom tla. Promjene u strukturi tla koje su osobito izražene kod izostavljanja obrade tla uz povećanu vlagu i aeraciju također utječu na pojavnost određenih kukaca i mogu povećati intenzitet njihovog preživljavanja. Promjene u populaciji korova koje su neizostavne kod uvođenja konzervacijskih sustava obrada utječu značajno i na populaciju kukaca budući da korovne biljke kukcima služe kao izvor hrane, sklonište i stanište za prezimljavanje. Povećan intenzitet zakorovljenosti i veća pojavnost višegodišnjih korovnih vrsta mogu za posljedicu imati privlačenje većeg broja kukaca od kojih su osobito značajni polifagni štetnici.

Pokrovni usjevi koji su gotovo neizostavan dio konzervacijskih sustava obrade tla također utječu na promjene u populaciji štetnih ali i korisnih kukaca. Povećana diverzifikacija plodoreda pokrovnim usjevima doprinosi i pojavnosti većeg broja različitih vrsta kukaca što je poželjno uslijed povećanja bioraznolikosti, veće pojavnosti korisnih kukaca i manje dominacije određenih štetnih vrsta. Intenzivniji plodored osobito je značajan u smanjenju populacije zemljišnih polifagnih štetnih kukaca. Pokrovni



usjevi korisnim kukcima služe kao stanište ali i kao izvor polena i hrane. Povećanje populacije korisnih kukaca za posljedicu ima smanjenje populacije štetnika što se odražava na smanjenu potrebu primjene direktnih mjera suzbijanja u zaštiti bilja. Pokrovni usjevi također mogu poslužiti kao izvor hrane štetnim kukcima, osobito polifagnima u slučaju kada su resursi na glavnim usjevima ograničeni ili poslužiti kao privremeno sklonište dok glavni usjevi još nisu u fazi razvoja koja je najpogodnija za ishranu štetnika.

Smjer i intenzitet promjena u populaciji kukaca uslijed uvođenja i trajne primjene konzervacijskih sustava obrade tla vrlo je promjenjiv te ovisi o vrsti usjeva i štetnika, agroekološkom području i samom sustavu biljne proizvodnje. Održivim gospodarenjem i optimalnom provedbom svih potrebnih agrotehničkih mjera u uzgoju pojedinih usjeva populacija štetnih kukaca održava se ispod praga štetnosti uz istodobno povećanje bioraznolikosti, odnosno pojavnosti korisnih vrsta kukaca. Uz pravilan plodored potrebno je primjenjivati i ostale dostupne mjere zaštite bilja ovisno o specifičnim potrebama usjeva i pojavnosti određenih vrsta štetnih kukaca koje podrazumijevaju biološku kontrolu, optimalne datume sjetve, otporne i manje osjetljive kultivare, kontrolu zakorovljenosti i u konačnici kemijsku zaštitu.

Izv. prof. dr. sc. Bojana Brozović

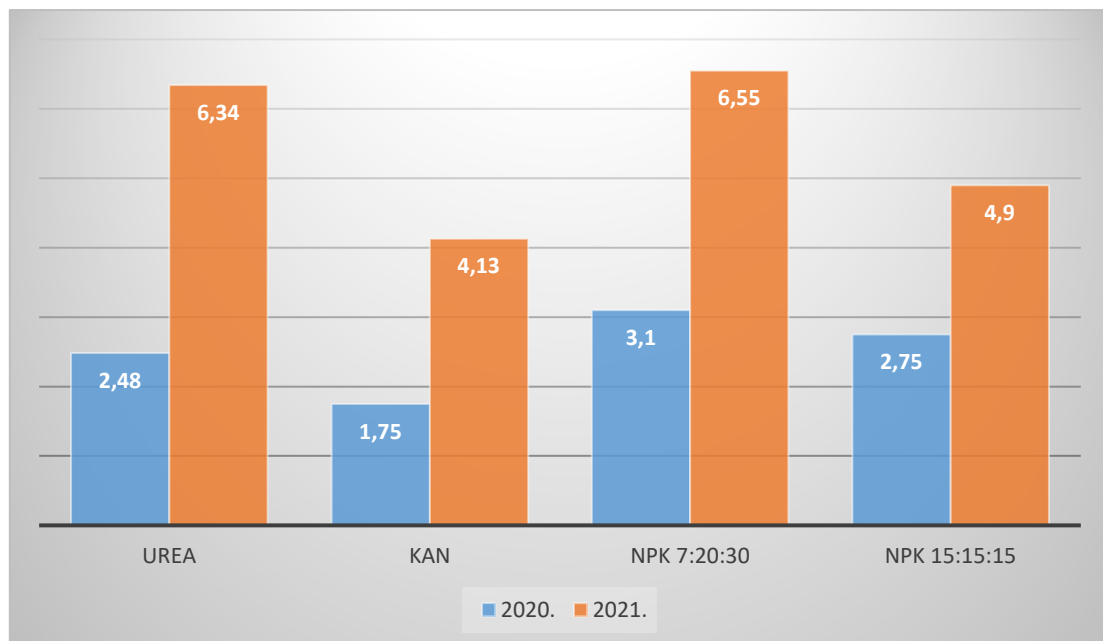
## Isplativost proizvodnje kukuruza s novim cijenama inputa

Posljednjih par godina žitarice su postale konkurentni i profitabilni hrvatski izvozni poljoprivredni proizvodi. Izvoz žitarica je obično najintenzivniji u razdoblju neposredno nakon žetve, pa se tako u slučaju pšenice 2021. godine od oko 1.100.000 tona preko 40% izvezlo do početka rujna, prvenstveno u susjednu Italiju, a zatim Austriju te Bosnu i Hercegovinu. Iako su neke ranije procjene predviđale pad svjetske cijene žitarica zbog povećane proizvodnje (u Argentini, EU, Ukrajini i SAD-u) uz istovremeno smanjenje potražnje, to se nije dogodilo. U prvim mjesecima 2021./2022. cijena žitarica je na svjetskom tržištu značajno povećana, a razloga je više (od povećane post-COVID potražnje za stočnu hranu, visokih cijena energenata i gnojiva te nesigurnih zaliha inputa, pa do Ruske invazije na Ukrajinu 24. veljače 2022). Pogledamo li situaciju na našem tržištu vidimo da je otkupna cijena kukuruza značajno porasla u odnosu na prethodnu godinu (142%), ali cijene repromaterijala su porasle za čak dva do tri puta!

Tablica: Prosječne otkupne cijene kukuruza 2015.-2022. godine

2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.	2022.
0,95	0,90	1,01	0,94	0,89	0,97	1,59	2,26

Prema podacima DZS (Državnog zavoda za statistiku) cijene dobara i usluga za tekuću uporabu su u prvom tromjesečju 2022. godine povećane za 45,3% u usporedbi s 2015. godinom. Na to je najviše utjecao porast cijena gnojiva, energije, sjemena, sadnog materijala, sredstava za zaštitu bilja, veterinarskih usluga, stočne hrane i ostalih inputa. Prosječne proizvođačke cijene poljoprivrednih proizvoda u prvom tromjesečju 2022. godine porasle su za 20% u usporedbi s 2015., a u odnosu na isto tromjesečje prošle godine više su za 11,4%.



Graf: Usporedba cijena mineralnih gnojiva 2020./2021. godine, kn/kg

U razdoblju od 2015. do 2020. godine u ukupnoj proizvodnji žitarica, iskazano količinski, udio kukuruza je bio 63,2%, pšenice 25%, ječma 7,9%, zobi i tritikalea po 2%, te raži 0,1%. U 2020. godini proizvedeno je 2.430.598 tona kukuruza na 288.398 ha, a prinos je bio 8,4 t/ha. Ostvarena proizvodnja kukuruza u 2020. godini veća je za 5,8% u odnosu na 2019. godinu, a povećane su i žetvene površine za 12,7% u odnosu na površine u 2019. godini. U usporedbi s razdobljem od 2015. do 2019. godine, žetvene površine u 2020. godini povećane su za 15%, proizvodnja kukuruza povećana je za 23%, dok je prinos veći za skoro 7%. Međutim za razliku od pšenice, proizvodnja kukuruza je u 2021. godini smanjena za 9% u odnosu na 2020. godinu.

Tablica: Proizvodnja kukuruza 2016.-2021. godine

	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.
<b>Površina, ha</b>	252.072	247.119	235.352	255.887	288.398	287.000
<b>Količina, 1.000 t</b>	2.154	1.560	2.147	2.298	2.431	2.231
<b>Prinos, t/h</b>	8,5	6,3	9,1	9,0	8,4	7,7

U prikazanoj kalkulaciji su korištene cijene osnovnih inputa i outputa u proizvodnji kukuruza iz baze podataka TISUP-a (Tržišni informacijski sustav u poljoprivredi) za 2021. godinu. Cijena sjemena kukuruza je 2021. bila 480 kn (7% viša od cijene 2020. godine), a po hektaru se utroše dvije vreće. Prema tehnološkim normativima gnojidbe i cijenama iz 2021. godine trošak mineralnih gnojiva po 1 ha uključuje: 180 kg KAN po cijeni 4,13 kn/kg, 100 kg uree po cijeni 6,34 kn/kg, 450 kg NPK 7:20:30 po 6,55 kn/kg, 150 kg NPK 15:15:15 po cijeni 4,9 kn/kg. Troškovi mehanizacije 2021. godine se odnose na najam kombajna (690 kn/ha) i troškove vlastite mehanizacije (1.207 kn/ha), ali treba napomenuti da je plavi dizel s cijene 6,26 kn/l polovicom 2021. godine došao na cijenu 8,49 kn/l tijekom tekuće 2022. godine. Izračunati doprinos pokriva (razlika između ukupnog prihoda i varijabilnih troškova proizvodnje) prikazuje proizvodnju kukuruza isplativom, ali jako je važno napraviti svoju kalkulaciju sa vlastitim podacima. Jedino tako se može dobiti realan uvid u isplativost proizvodnje, posebno jer su rasponi u kojima se kreću otkupne cijene kukuruza veliki, kao i promjene cijena repromaterijala kojima svjedočimo svaki dan, a razlike između prinosa zrna ostvarene u proizvodnji izravno određuju vrijednost proizvodnje.

Tablica: Kalkulacija proizvodnje kukuruza na 1 ha površine

<b>Prinos, kg/ha</b>	7.700
<b>Cijena, 1 kg</b>	1,59
<b>UKUPNI PRIHOD</b>	12.243
<b>Sjeme kukuruza (2 vreće/ha)</b>	960
<b>Mineralna gnojiva</b>	5.060
<b>Sredstva za zaštitu bilja</b>	1.536
<b>Ostali troškovi</b>	1.726
<b>Troškovi mehanizacije</b>	1.897
<b>UKUPNI VARIJABILNI TROŠKOVI</b>	11.179
<b>Dobit</b>	1.064

Doc. dr. sc. Branka Šakić Bobić,  
 Prof. dr. sc. Zoran Grgić

## Što utječe na isplativost proizvodnje pšenice

Otkupna cijena pšenice je nešto o čemu se svake godine vode rasprave među proizvođačima i u stručnoj javnosti, pri čemu se najčešće postavlja pitanje može li se nekako "urediti" tržište ovom kulturom. Proizvođači ističu da im je cijena koštanja redovito iznad tržišne cijene, odnosno otkupne cijene koju dobivaju od otkuplivača. Pritom traže da "država" (resorno ministarstvo) na neki način prisili otkuplivača na korekciju otkupne cijene ili dodatno podupre potporama dohodak proizvođača da oni ne bi bili na gubitku. Na žalost, cijena koštanja nije i ne može biti odlučujuća za tržište, ali bilo bi poželjno da sustav potpore osigura dohodak proizvođaču, ponajprije onom dijelu njih koji su ostvarili visinu i kvalitetu prinosa primjereno suvremenoj tehnologiji i konkurentno zemljama u okruženju, kao mogućim opskrbljivačima naše mlinarsko-pekarske ili stočarske industrije.

Što utječe na formiranje cijene na nekom tržištu, u ovom slučaju našem državnom tržištu? Jedan od važnijih čimbenika je svakako prinos, odnosno ukupna proizvodnja pšenice na EU tržištu koje je vrlo značajno u svjetskom prometu i formiranju cijena pšenice. Međutim kada se govori o prosječnom prinosu EU (Tablica 1.) treba imati na umu razlike i raspon u kojemu se prinos kreće. Dobar primjer za to je prosječan prinos na razini EU koji ne pokazuje kolike su razlike, pa je tako u Francuskoj 2016. godine zabilježen najslabiji prinos pšenice u posljednjih 30 godina, dok su iste godine Španjolska, Mađarska i Slovačka zabilježile rast prinosa pšenice od 25%. Ukupno promatrajući sve države članice, žetva je na razini EU te 2016. godine imala samo 3% manji prinos.

Tablica 1. Prosječan prinos pšenice u Republici Hrvatskoj

Godina	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.
Prinos, t/ha	4,9	4,2	5,4	5,7	5,9	5,4	5,4	5,7

Izvor: Državni zavod za statistiku (DZS)

Osim prinosa, na cijenu značajno utječe i kvaliteta pšenice, a definira je Pravilnik (Tablica 2.) o ugovornim odnosima pri otkupu pšenice (NN 62/2019). Upravo prema klasama iz ovog Pravilnika formira se i cijena u otkupu, pa je tako cijena za premium pšenicu 1,20 kn/kg, I. klasa je 1,15 kn/kg, II. klasa 1,06 kn/kg, III. klasa 0,97 kn/kg i za IV. klasu 0,95 kn/kg. Prema podacima iz otkupa pšenice, prema udjelu proteina čak 40% pšenice je pripadalo III. klasi. Ovaj podatak može djelomično objasniti uzrok niže cijene i ukazati na nužne promjene.

Osim prinosa i kvalitete, na otkupnu cijenu utječe i globalno tržište. Kako je tržište EU uravnoteženo, zauzdavanje porasta cijena pšenice može se održati s postojećim zalihama, a cijene pšenice na tržištu EU usklađene su s cijenama na globalnom tržištu, te su još uvijek iznad razine koja bi zahtijevala intervencijske cijene otkupa (program intervencija u sektoru žitarica nije bio aktiviran još od 2010. godine). Uspoređivanjem otkupnih cijena pšenice u siječnju ove godine, Hrvatskih 182,45 €/toni, značajno su ispod onih u EU-27 (229,8 €/toni) ili svjetskih (preko 250 €/toni).

Tablica 2. Kvalitativne klase pšenice prema parametrima Pravilnika

Parametri kvalitete	Kvalitativne klase pšenice				
	Premium	I. klasa	II. Klasa	III. Klasa	IV. Klasa
<b>Proteini (%)</b>	>15	13,5-14,99	12,0-13,49	10,5-11,99	<10,49
<b>Hektolitar (kg/hl)</b>	80	78	76	74	<74
<b>Vlaga (%)</b>	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5
<b>Primjese (crna) (%)</b>	najviše 2	najviše 2	najviše 2	najviše 2	najviše 2
<b>Ukupno primjese (%)</b>	najviše 5	najviše 5	najviše 5	najviše 5	najviše 5

Izvor: Pravilnik o ugovornim odnosima pri otkupu pšenice (NN 62/2019)

Prema nekim procjenama (Tablica 3.), svjetska cijena pšenice će se smanjiti u ovoj godini, a kao glavni razlozi se navode veća proizvodnja (u Argentini, EU, Ukrajini i SAD-u) te pad potražnje, nakon što je u 2020. godini bila povećana zbog neizvjesnosti uzrokovane COVID-19 pandemijom.

Tablica 3. Kretanje otkupnih cijena pšenice u Republici Hrvatskoj

TISUP	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.
<b>Prosječna otkupna cijena, kn/kg</b>	0,94	1,06	1,09	1,12	1,04	1,36

Izvor: Tržišno-informacijski sustav u poljoprivredi (TISUP)

Cijene na svjetskom tržištu pšenice temelje se na procjeni tržišne godine, koja se razlikuje u različitim regijama, ovisno o početku sezone žetve. Cijene pšenice rastle su u posljednjem desetljeću zbog povećane potražnje, uglavnom pod utjecajem povećanja stanovništva u Africi i rastuće srednje klase u Kini i Indiji, ali i povećane uporabe pšenice u stočnoj hrani (posebno u Australiji, gdje su suša i povećani izvoz govedine djelovali na potrebu zamjene ispaše za stoku pšenicom).

Kako bi se prikazalo djelovanje ranije objašnjenih čimbenika na isplativost, napravljena je usporedna kalkulacija dva scenarija – najbolji i najgori (Tablica 4.). Simulacija obuhvaća petogodišnje razdoblje (2016.-2020.) i podatke prikazane u prethodnim tablicama. Najbolji scenarij uključuje najveći prinos ostvaren u RH (prema podacima DZS) i najvišu otkupnu cijenu (prema podacima TISUP-a), dok najgori scenarij koristi najlošiji prinos i najnižu otkupnu cijenu. Namjerno je omogućeno djelovanje samo prinosa i cijene te su troškovi zadržani jednakima bez obzira na scenarij, a radi se o prosječnim varijabilnim troškovima proizvodnje pšenice na 1 ha površine. Iz prikazane usporedne kalkulacije izračunati doprinosi pokrića (razlika između ukupnog prihoda i varijabilnih troškova proizvodnje) jasno pokazuje u kojem je slučaju proizvodnja pšenice isplativa, a u kojem nije.

Prema podacima DZS-a, pšenica je 2020. godine bila zasijana na 142.000 hektara, uz očekivani prinos od 5,7 tona/ha ili ukupno 809.000 tona, što je 2,4% više nego godinu prije. Glavni uzrok povećanju proizvodnje pšenice leži u povećanju prinosa. Kako su naše potrebe oko 400.000 tona, preostali dio



pšenice se izvozi, a naša je prednost, kao izvoznika, činjenica da su nam najveći tradicionalni kupci zemlje u najbližem okruženju (Italija, BiH, Austrija i Slovenija).

Tablica 4. Usporedna kalkulacija proizvodnje pšenice - najbolji i najgori scenarij

	<b>Najbolji</b>	<b>Najgori</b>
<b>Prinos, kg/ha</b>	5.900	5.400
<b>Cijena, kn/kg</b>	1,12	0,94
<b>UKUPNI PRIHOD</b>	<b>6.608</b>	<b>5.076</b>
<b>Sjeme</b>	744	
<b>Mineralna gnojiva</b>	2.167	
<b>Sredstva za zaštitu bilja</b>	979	
<b>Ostali troškovi</b>	584	
<b>Troškovi mehanizacije</b>	1.426	
<b>UKUPNI VARIJABILNI TROŠKOVI</b>	<b>5.900</b>	
<b>Doprinos pokrića</b>	<b>708</b>	<b>-824</b>

Za očekivati je kako se relativno viši prinosi pšenice mogu ostvariti pri većoj gustoći sjetve i višoj intenzivnosti uzgoja, ali ne treba zanemariti niti parametre kvalitete koji također značajno sudjeluju u formiranju otkupne cijene. Međutim za procjenu isplativosti treba uzeti u obzir i odnos prihoda i varijabilnih troškova (doprinos pokrića) na razini proizvođača, što traži stalno praćenje kretanja njihovih varijabilnih i ukupnih troškova. Na taj način bi se pravilno odredio njihov gospodarski položaj i potrebe uređivanja sustava potpora da se oni nastave baviti konkurentnom proizvodnjom pšenice.

Doc. dr. sc. Branka Šakić Bobić,

Prof. dr. sc. Zoran Grgić

## Doprinos pokrića kao ekonomski učinak različitih sorti i načina proizvodnje pšenice

U Hrvatskoj do prije nekoliko godina nije postojala značajna diferencijacija sjetvenih cijena pšenice prema tehnološkom potencijalu i diferencijacije prodajnih cijena prema prerađivačkim karakteristikama proizvedene pšenice, tako u praksi nije postojala potreba za izračun razlika u doprinosu pokrića koje bi izražavale upravo tu ekonomsku važnost određene sorte.

Danas je vrlo važan prinos i njegova kvaliteta sa stajališta korištenja u mlinsko pekarskoj industriji, što može značajno odrediti isplativost proizvodnje. Drugi činitelj je visina varijabilnog troška proizvodnje s obzirom da se ekonomska efikasnost poljoprivrednih gospodarstava u EU ocjenjuje na razini doprinosa pokrića ili marže profita koja predstavlja razliku između visine prihoda (vrijednost proizvodnje) te varijabilnih troškova (sjeme, zaštitna sredstva, gnojivo, gorivo i energija, unajmljeni rad).

Temeljni podaci o potrošnji inputa i ostvarenim prinosima, kao i o tehnološkim postupcima u uzgoju pšenice prikupljeni su na temelju istraživanja Zavoda za specijalnu biljnu proizvodnju Agronomskog fakulteta u Zagrebu. Standardi utroška rada u osnovnim radnim postupcima temelje se na potrošnji dobivenoj iz ankete o poslovanju odabranih obiteljskih poljoprivrednih gospodarstava iz kontinentalne poljoprivredne podregije Republike Hrvatske 2016. godine. U analizi ekonomske učinkovitosti uzgoja ispitivanih sorti pšenice korištene su realne cijene u 2018. godini (1 EUR=7,51 KN). Ekonomski učinci različitih vrsta uzgoja uspoređeni su prema osnovnim pokazateljima ekonomske učinkovitosti.

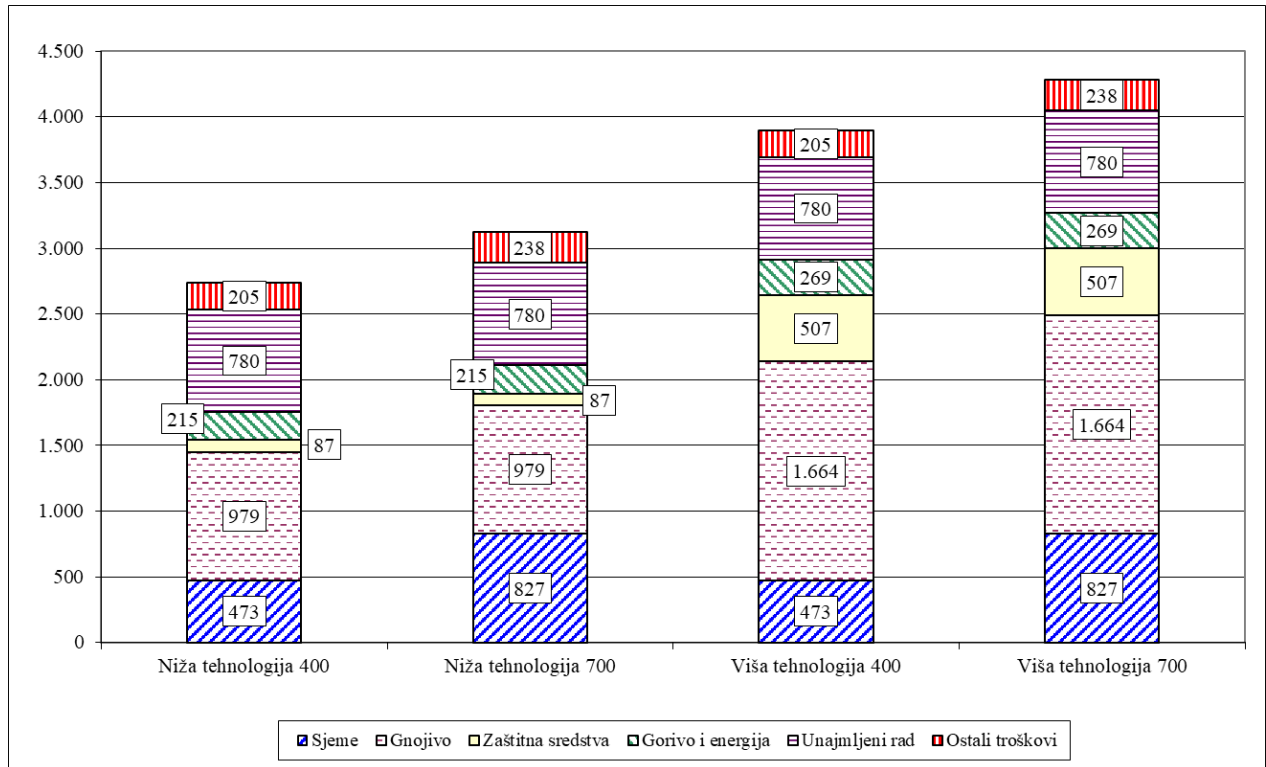
Tablica 1. Izračun doprinosa pokrića ispitivanih sorti i načina uzgoja pšenice

Sorta	Niža razina 400		Niža razina 700		Viša razina 400		Viša razina 700	
	Prihodi	Troškovi	Prihodi	Troškovi	Prihodi	Troškovi	Prihodi	Troškovi
Marija	6.186	2.701	6.549	3.059	7.561	2.754	8.136	3.113
Sana	5.908	2.733	6.364	3.115	8.012	2.786	8.075	3.169
Patria	6.257	2.751	6.661	3.148	8.088	2.805	8.300	3.202
Mladenka	5.872	2.747	6.121	3.140	7.720	2.801	7.915	3.194
Vitina	5.613	2.738	5.853	3.125	7.923	2.792	8.038	3.179
Rina	6.143	2.769	6.460	3.179	8.086	2.823	8.116	3.233
Davorka	5.801	2.703	6.054	3.063	7.528	2.757	7.708	3.117
Tina	5.917	2.763	6.428	3.168	8.414	2.817	8.583	3.222
Žitarka	5.371	2.724	5.812	3.100	7.462	2.778	7.749	3.154
Ana	5.326	2.680	5.808	3.022	7.967	2.733	8.146	3.076
Srpanjka	5.721	2.683	6.165	3.028	7.736	2.737	7.974	3.082
Demetra	5.656	2.688	6.026	3.038	7.596	2.742	7.895	3.091
Kuna	5.326	2.733	5.466	3.116	7.355	2.787	7.444	3.170
Magdalen	5.401	2.758	5.655	3.160	7.427	2.812	7.542	3.214
SVOB-4	5.532	2.733	5.767	3.116	7.257	2.787	7.438	3.170

Izvor: Izračunato na temelju istraživanja Zavoda za specijalnu biljnu proizvodnju (Svečnjak i sur.)

Analizom je obuhvaćeno 15 sorti pšenice važnih za domaći uzgoj. Istražuju se količine sjemena od 400 do 700 kljavih sjemenki po m<sup>2</sup>. U intenzivnim poljoprivrednim zahvatima u osnovnoj prehrani se unosi

500 kg NPK gnojiva po jedinici površine, formulacije 8:26:26, te gnojiva UREA u količini od 100 kg po ha. Za prihranu dušikom ukupno se unosi dodatna količina od 400 kg KAN gnojiva. U zaštiti usjeva tretiranje herbicidima provodi se dva puta, te jednom fungicidom i insekticidom. Na ekstenzivnom stupnju prihrana se reducira na 400 kg NPK 8:26:26 u osnovnoj prehrani, te 100 kg KAN-a u prihranjivanju dušikom. U okviru uzgoja usjeva samo se jednom primjenjuje herbicid.



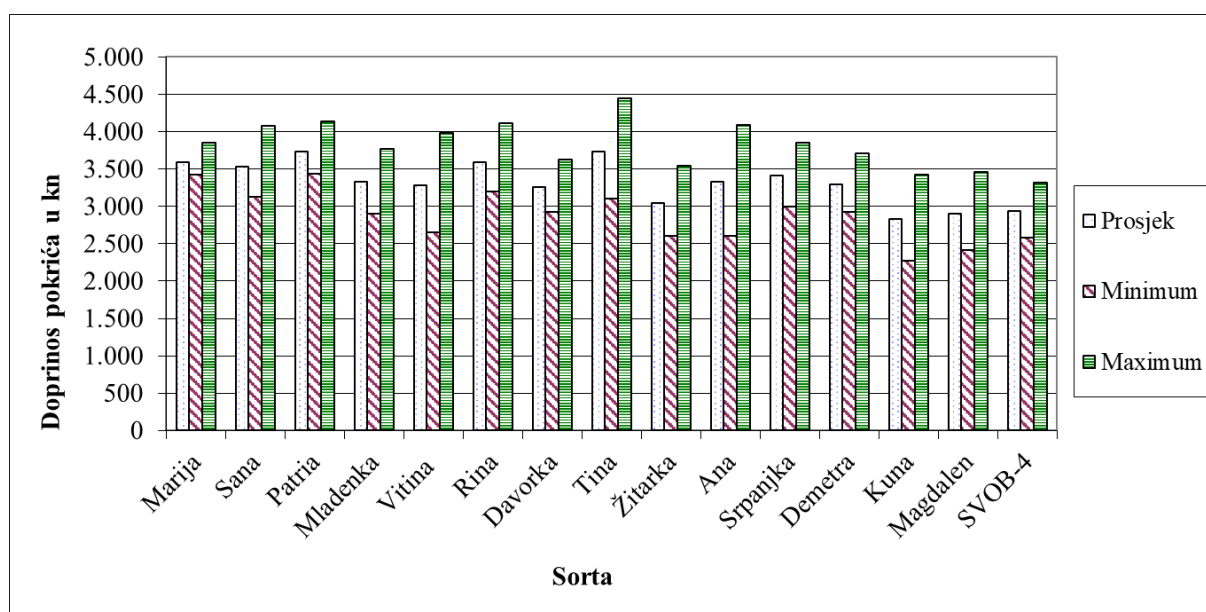
Grafikon 1 Struktura i visina varijabilnih troškova za različite intenzitete sjetve i proizvodnje

Tablica 2. Poredak ispitivanih sorti prema visini prinosa i doprinosu pokrića, u kg i kn

	Niža razina 400		Niža razina 700		Viša razina 400		Viša razina 700				
	Prinos	Doprinos pokrića	Prinos	Doprinos pokrića	Prinos	Doprinos pokrića	Prinos	Doprinos pokrića			
Patria	6.257	3.506	Patria	6.661	3.513	Tina	8.414	5.598	Tina	8.583	5.361
Marija	6.186	3.485	Marija	6.549	3.490	Patria	8088	5283	Patria	8300	5099
Rina	6.143	3.373	Rina	6.460	3.281	Rina	8086	5263	Ana	8.146	5.070
Tina	5.917	3.154	Tina	6.428	3.259	Sana	8.012	5.225	Marija	8.136	5.023
Sana	5.908	3.175	Sana	6.364	3.249	Ana	7.967	5.234	Rina	8116	4883
Mladenka	5.872	3.125	Srpanjka	6.165	3.136	Vitina	7.923	5.131	Sana	8.075	4.906
Davorka	5.801	3.098	Mladenka	6.121	2.981	Srpanjka	7.736	4.999	Vitina	8.038	4.860
Srpanjka	5.721	3.038	Davorka	6.054	2.991	Mladenka	7.720	4.919	Srpanjka	7.974	4.892
Demetra	5.656	2.967	Demetra	6.026	2.988	Demetra	7596	4854	Mladenka	7.915	4.721
Vitina	5.613	2.875	Vitina	5.853	2.728	Marija	7.561	4.807	Demetra	7895	4803
SVOB-4	5.532	2.799	Žitarka	5.812	2.712	Davorka	7.528	4.772	Žitarka	7749	4595
Magdalen	5.401	2.643	Ana	5.808	2.785	Žitarka	7462	4684	Davorka	7.708	4.592
Žitarka	5.371	2.647	SVOB-4	5.767	2.651	Magdalen	7.427	4.615	Magdalen	7.542	4.328
Ana	5.326	2.646	Magdalen	5.655	2.495	Kuna	7.355	4.568	Kuna	7.444	4.274
Kuna	5.326	2.592	Kuna	5.466	2.350	SVOB-4	7.257	4.470	SVOB-4	7.438	4.268

Rangiranje ispitivanih sorti prema visini prinosa i doprinosa pokrića (bruto marže) gotovo je identično u svim analiziranim načinima uzgoja pšenice, jer se za sve sorte primjenjuju isti poljoprivredni zahvati - dakle, varijabilni troškovi su identični.

Prosječni prinosi ispitivanih sorti postižu se u nižoj razini intenziteta uz nižu sjetvenu količinu od 5.326 do 6.257 kg po ha (ukupni prosjek 5.735 kg). Prosječna vrijednost doprinosa pokrića je 3.008 kn s odstupanjima od 2.592 do 3.506 kn. Uz veću količinu sjetve na ovoj razini intenziteta, ostvareni prinosi po sortama su od 7.257 do 8.414 kg po ha, dok je ukupan prosjek 7.742 kg. Ukupni prosjek doprinosa pokrića je 4.571 kn s odstupanjima od 4.080 do 5.207 kn.



Grafikon 2. Pregled doprinosa pokriću ispitivanih sorti i načina uzgoja pšenice

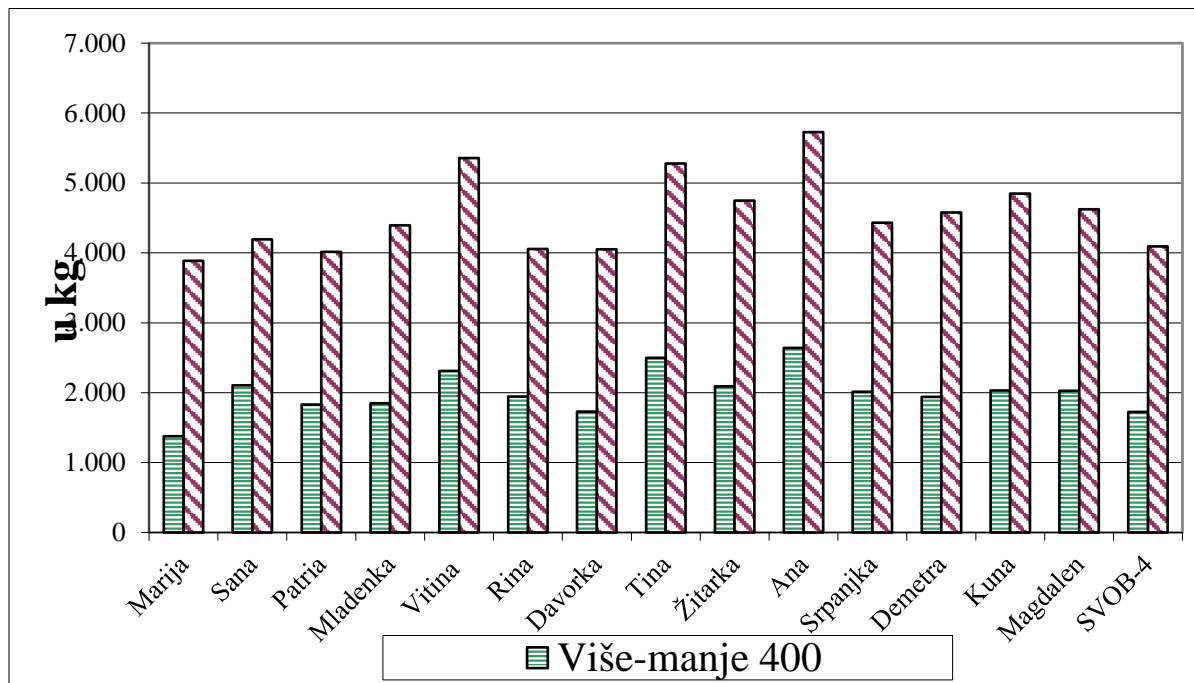
Na višoj razini intenziteta, uz manju gustoću sjetve, ispitivane sorte ostvarile su prinose od 5.466 do 6.661 kg (ukupni prosjek 6.079 kg po ha), dok su bruto marže bile od 2.444 do 3.482 kn (prosječno 2.974 kn). Uz veću gustoću sjetve sjemena i za istu razinu intenziteta prosječni prinosi bili su od 7.438 do 8.583 kg po ha. Ukupni prosjek svih sorti je 7.937 kg po ha. Bruto marža je od 3.877 do 4.970 kn (ukupni prosjek je 4.387 kn).

Međusobne razlike prosječnih prinosa i odstupanja prinosa (minimalni-maksimalni) po sortama, ovisno o različitim količinama sjetve, su za minimalne prinose 140, a za maksimalne 404 kg u korist veće gustoće sjetve pri nižem intenzitetu (prosječna razlika u prinosu je 344 kg). Sličan slučaj je i kod većeg intenziteta uzgoja, gdje su odstupanja u razlikama minimalnih prinosa 180, a maksimalnih 168 kg po ha (prosječna razlika je 195 kg). Promatrano s aspekta različitog intenziteta, veće razlike u prinosima bilježe se pri nižoj količini sjetve - 2700 kg.

Pri većoj količini sjetve prosječna razlika u prinosima iznosi 1.858 kg (Grafikon 3.). Očito je da se znatno veći prinosi postižu primjenom drugačijeg intenziteta uzgoja od primjene većih količina sjetve (Grafikon 3.). Razlike doprinosa pokrića za različite razine intenziteta veće su pri nižim stopama sjetve.

Tablica 3. Prosječne razlike u prinosima ispitivanih načina uzgoja i količina sjetve, u kg po ha

Prinos	Prosjek	Min	Max
Niža 400	5.735	5.326	6.257
Viša 400	6.079	5.466	6.661
Niža700	7.742	7.257	8.414
Viša700	7.937	7.438	8.583
<b>Razlika prinosa</b>			
Viša-Niža 400	344	140	404
Viša-Niža 700	195	180	168
Niža 700-Niža 400	2.007	1.932	2.157
Niža700-Viša 400	1.663	1.791	1.753
Viša 700-Viša 400	1.858	1.972	1.922

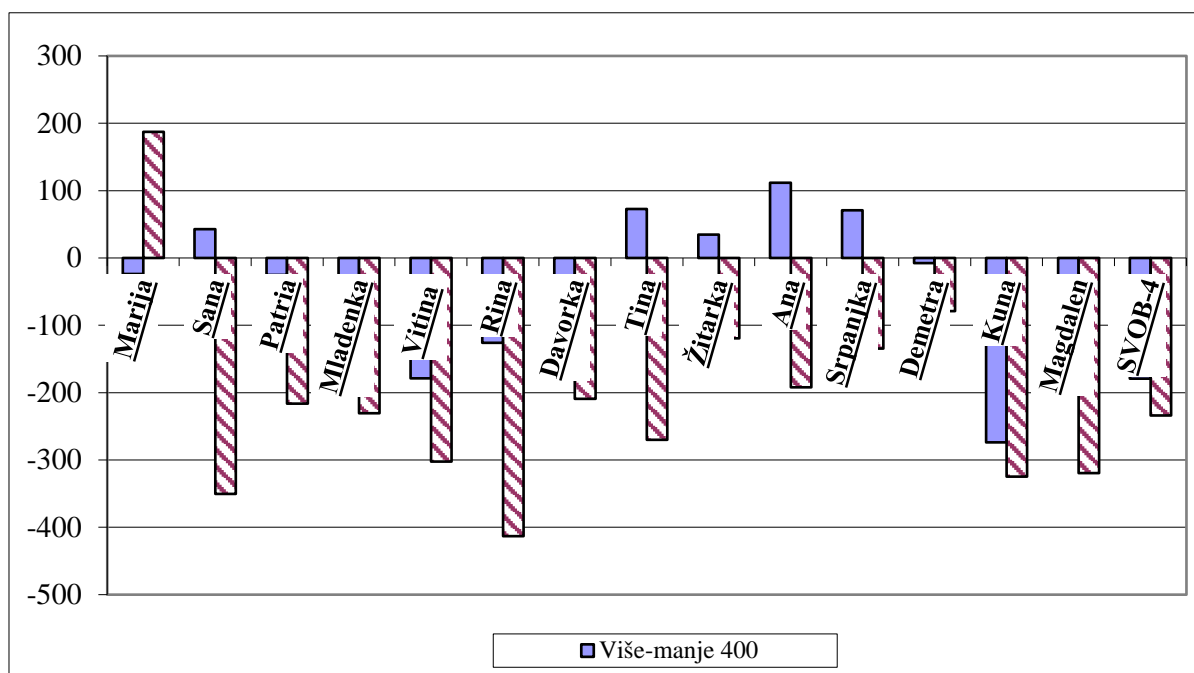


Grafikon 3. Razlike u prinosima pri različitim intenzitetima rasta i brzinama sjetve

Najbolji odnos prinosa i varijabilnih troškova (bruto marža) postiže se - za gotovo sve ispitivane sorte pšenice - pri intenzivnom uzgoju s nižom stopom sjetve (Grafikon 4.). Iznimka je samo sorta Marija kod koje se maksimalna bruto marža ostvaruje pri većoj razini intenziteta i gustoći sjetve sjemena.

Temeljem toga, opći zaključak istraživanja je da je kao najisplativija varijanta prikazana varijanta s osnovnim prihranjivanjem sa 400 kg NPK i dodatkom dušika sa 100 kg gnojiva UREA, u količini od oko 400 zrna po m<sup>2</sup>.





Grafikon 4. Razlike doprinosa pokrića za različite razine intenziteta tehnologije i sklopa sjetve

## Zaključak

Prosječni prinosi ispitivanih sorti pšenice su u nižim razinama intenziteta od 5.326 do 6.257 kg po ha s nižom sjetvenom količinom, te od 7.257 do 8.414 kg po ha s višom sjetvenom snagom. Vrijednosti bruto marže su od 2.592 do 3.506 kn za nižu sjetvenu količinu i od 4.080 do 5.207 kn za veću sjemensku stopu. Ukupni prosjek prinosa je 5.735 kg po ha, a bruto marža je 3.008 kn.

Pri većem intenzitetu uzgoja ostvareni prinosi su od 5.466 do 6.661 kg uz manju gustoću sjetve sjemena. Bruto marže su od 2.444 do 3.482 kn. Uz veće količine sjetve i veću razinu intenziteta prosječni prinosi su od 7.438 do 8.583 kg po ha, dok je bruto marža od 3.877 do 4.970 kn. Ukupni prosjek niže sjetvene količine iznosi 6.079 kg po ha, a veće sjetvene količine iznosi 7.937 kg po ha. Ukupna bruto marža niže sjetvene stope iznosi 2.974 kn, a veće 4.378 kn.

Zbog analiziranih načina sjetve i uzgoja odabranih sorti pšenice, može se zaključiti da se pri većoj gustoći sjetve sjemena i pri većim razinama intenziteta mogu postići prilično veći prinosi. Međutim, odnosi prihoda i varijabilnih troškova (doprinos pokrića ili bruto marža) su za sve ispitivane sorte, s izuzetkom jedne, najbolji kod većeg intenziteta rasta uz nižu sjetvenu stopu.

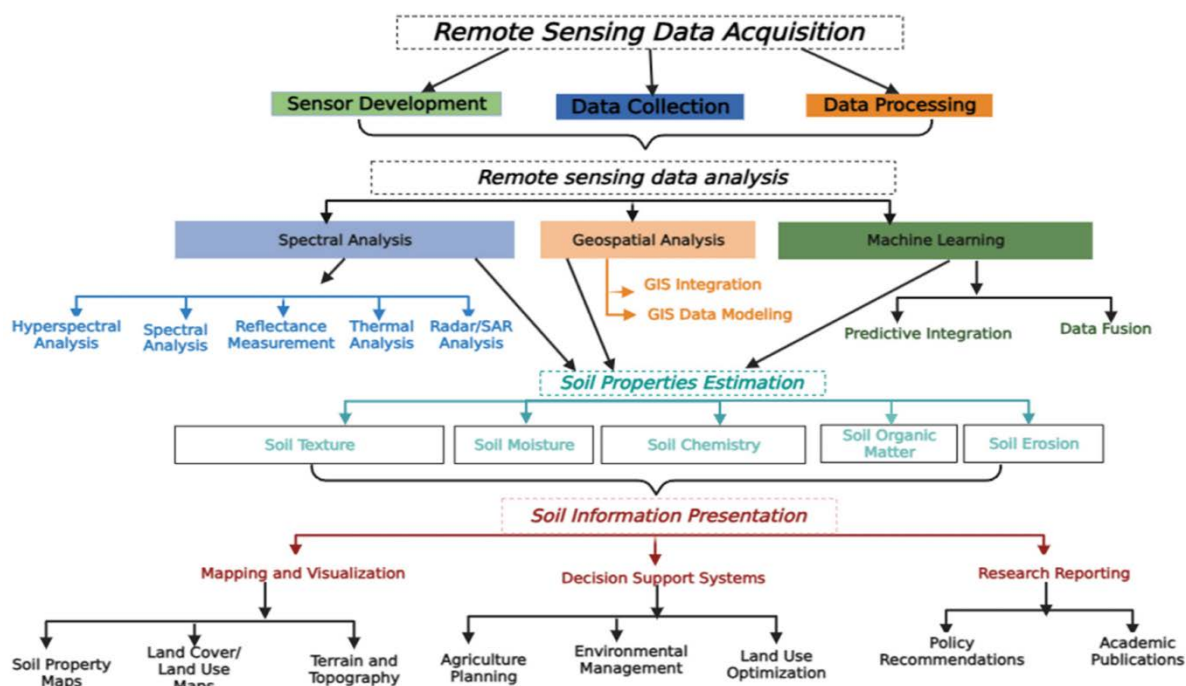
Doc. dr. sc. Branka Šakić Bobić,

Prof. dr. sc. Zoran Grgić

## Daljinska istraživanja tla

Daljinska istraživanja tla predstavljaju znanstvenu metodu koja koristi tehnologiju za prikupljanje informacija o svojstvima i stanju tla bez potrebe za izravnim kontaktom s terenom. Ova metoda postala je ključna u suvremenom razumijevanju i upravljanju tлом, posebno u kontekstu poljoprivrede, ekologije i zaštite okoliša.

Daljinska istraživanja (engl. *remote sensing*) definiraju se kao tehnike prikupljanja podataka o objektima ili područjima pomoću uređaja koji se ne nalaze u fizičkom kontaktu s promatranom površinom (Campbell i Wynne, 2011). Ovi podaci prikupljaju se putem različitih senzora smještenih na satelitima, zrakoplovima ili dronovima, a zatim se analiziraju kako bi se dobili podaci o svojstvima tla poput vlažnosti, sastava, strukture i vegetacijskog pokrova (Jones i Vaughan, 2010; Abdulraheem i sur., 2023) (Slika 1). Daljinska istraživanja temelje se na analizi reflektirane ili emitirane elektromagnetske energije s površine tla. Senzori prikupljaju podatke u različitim dijelovima elektromagnetskog spektra (npr. vidljivi, infracrveni, termalni), a svaka vrsta tla reflektira različite valne duljine, što omogućava identifikaciju i analizu (Lillesand i sur., 2015).



Slika 1. Shematski prikaz tehnika daljinskog istraživanja, analize podataka i primjene u praksi (izvor: Abdulraheem i sur., 2023).

### Kratka povijest i razvoj tehnologije daljinskih istraživanja tla

Prvi koraci u daljinskim istraživanjima datiraju još iz 19. stoljeća kada su za snimanje terena korišteni baloni i zmajevi opremljeni kamerama (Ryerson i sur., 1999). Međutim, značajan napredak u tehnologiji daljinskih istraživanja započinje tijekom 1960-ih godina s razvojem svemirskih programa. Lansiranjem prvih satelita, poput Landsata 1 1972. godine, omogućena je stalna i globalna primjena daljinskih istraživanja tla (Wulder i Franklin, 2003). Početkom 21. stoljeća, uvođenjem naprednih

satelitskih sustava poput Sentinel-2 i hiperspektralnih senzora, kvaliteta i razlučivost podataka značajno su se povećali (Drusch i sur., 2012). Razvoj bespilotnih letjelica (dronova) i njihove primjene u poljoprivredi i zaštiti okoliša omogućio je daljnji napredak u preciznosti i učinkovitosti daljinskih istraživanja tla (Zhang i Kovacs, 2012).

### Značaj daljinskih istraživanja tla

Daljinska istraživanja tla iznimno su važna zbog svoje sposobnosti pružanja prostorno i vremenski kontinuiranih podataka o velikim površinama u kratkom vremenu. Tradicionalne metode prikupljanja podataka o tlu, poput uzorkovanja i laboratorijskih analiza, često su skupe, dugotrajne i ograničene na mala područja (McBratney i sur., 2018). S druge strane, daljinska istraživanja omogućuju neinvazivnu, brzu i pristupačnu analizu tla na regionalnoj, nacionalnoj i globalnoj razini. Njihova važnost posebno dolazi do izražaja u kontekstu poljoprivrede gdje se koriste za optimizaciju navodnjavanja, gnojidbe i praćenje stanja usjeva (Pinter, Hatfield, i Moran, 2003). Također, daljinska istraživanja pomažu u praćenju degradacije tla, erozije, salinizacije i promjena u strukturi tla uzrokovanih klimatskim promjenama (Lobell i sur., 2003). Osim toga, tehnologije daljinskih istraživanja igraju ključnu ulogu u ekološkom praćenju i zaštiti okoliša, omogućujući znanstvenicima praćenje promjena u vegetacijskom pokrovu, identificiranje područja sklona eroziji te procjenu utjecaja različitih poljoprivrednih i urbanih aktivnosti na tlo (Asner, 2004). Daljinska istraživanja tla postaju sve važnija u kontekstu održivog upravljanja prirodnim resursima, što je posebno bitno u vremenu kada su degradacija tla, smanjenje plodnosti i klimatske promjene u porastu (Grunwald, 2009). Pružanjem točnih i pravovremenih informacija, daljinska istraživanja omogućuju donositeljima odluka, poljoprivrednicima i znanstvenicima bolje razumijevanje i upravljanje ovim ključnim resursom.

### Temeljni principi i tehnologije daljinskih istraživanja tla

Daljinska istraživanja koriste različite tehnologije i senzore za prikupljanje informacija o površini Zemlje, uključujući svojstva tla, vegetaciju i druge elemente okoliša. Ključna komponenta ovog procesa je razumijevanje elektromagnetskog spektra i upotreba naprednih senzora koji se nalaze na različitim platformama, kao što su sateliti, dronovi i zrakoplovi.

Elektromagnetski spektar je temeljni koncept daljinskih istraživanja. Sastoji se od valnih duljina elektromagnetskog zračenja koje uključuju vidljivu svjetlost, ultraljubičaste, infracrvene, mikrovalne i radio valove (Lillesand i sur., 2015). Kada elektromagnetsko zračenje interagira s površinom tla, ono se reflektira, apsorbira ili prenosi ovisno o svojstvima materijala.

Daljinski senzori detektiraju reflektirano i emitirano zračenje s tla te bilježe podatke u različitim dijelovima spektra. Na primjer, vegetacija ima visok odraz u bliskom infracrvenom dijelu spektra, dok voda reflektira više u vidljivom dijelu spektra, što omogućava razlikovanje ovih objekata (Jones i Vaughan, 2010). Analizom reflektivnih karakteristika, znanstvenici mogu identificirati razne značajke tla, kao što su tekstura, sadržaj vode i organske tvari (Campbell i Wynne, 2011).

Tehnologije daljinskih istraživanja uključuju nekoliko platformi koje omogućuju prikupljanje podataka s različitih visina i razlučivosti:

1. Sateliti su najčešće korištena platforma za daljinska istraživanja tla jer pružaju široko prostorno pokrivanje i omogućuju stalno praćenje velikih površina (Wulder i Franklin, 2003). Satelitski

sustavi kao što su Landsat, Sentinel-2 i MODIS nude podatke s različitim razlučivostima i spektralnim rasponima, što omogućava analizu tla na globalnoj i regionalnoj razini (Drusch i sur., 2012). Na primjer, Landsat pruža podatke s prostornom rezolucijom od 30 metara, dok Sentinel-2 pruža rezolucije od 10-60 metara, što omogućava detaljniju analizu (Giri, 2020).

2. **Bespilotne letjelice** su postale sve popularnije u daljinskim istraživanjima tla zbog svoje fleksibilnosti i mogućnosti prikupljanja podataka visoke razlučivosti (Zhang i Kovacs, 2012). Prednost bespilotnih letjelica je mogućnost letenja na niskim visinama, što omogućava detaljniju analizu manjih površina tla i preciznu procjenu stanja vegetacije i tla. Dronovi mogu nositi multispektralne, hiperspektralne, termalne i druge senzore, čime se povećava njihova svestranost (Hunt i sur., 2010).
3. **Avionske platforme** se koriste za prikupljanje podataka u područjima koja nisu lako dostupna ili gdje je potrebna visoka prostorna rezolucija (Jensen, 2007). Avionska istraživanja često koriste LIDAR (eng. *Light Detection and Ranging*) tehnologiju za prikupljanje točnih topografskih podataka o terenu, što omogućava detaljnu analizu strukture tla i vegetacije (Hodgson i Bresnahan, 2004).

### **Senzori**

Senzori su ključni instrumenti u daljinskim istraživanjima jer omogućuju prikupljanje podataka o refleksiji i emisiji elektromagnetskog zračenja s tla. Postoji nekoliko različitih vrsta senzora, od kojih svaki nudi različite mogućnosti analize:

1. **Multispektralni senzori.** Multispektralni senzori prikupljaju podatke u nekoliko širokih spektralnih kanala, obično između 3 i 15, koji obuhvaćaju različite dijelove elektromagnetskog spektra (Mather i Koch, 2011). Ovi senzori, poput onih na Landsat satelitima, koriste se za analizu vegetacijskog pokrova, vlage tla, saliniteta i drugih svojstava tla (Xue i Su, 2017). Multispektralni podaci su posebno korisni za prepoznavanje promjena u vegetaciji, otkrivanje erozije tla i procjenu vlažnosti.
2. **Hiperspektralni senzori.** Hiperspektralni senzori prikupljaju podatke u velikom broju uskih spektralnih kanala (od nekoliko stotina do nekoliko tisuća) koji pokrivaju široki raspon elektromagnetskog spektra (Govender i sur., 2007). Takva visoka spektralna razlučivost omogućava detaljnu identifikaciju i analizu kemijskih i fizičkih svojstava tla. Na primjer, hiperspektralni podaci mogu se koristiti za analizu sadržaja organske tvari u tlu, razine vlage i mineralnog sastava (Clark i sur., 2003).
3. **Termalni senzori.** Termalni senzori mjere toplinsko zračenje koje emitira površina tla (Gillespie, Rokugawa, i Matsunaga, 2018). Ti podaci omogućuju procjenu temperature tla, što može biti korisno za analizu vlage, evaporacije i prijenosa topline unutar tla (Price, 1980). Termalna daljinska istraživanja posebno su korisna u sušnim područjima gdje je vlažnost tla ključan čimbenik za upravljanje vodnim resursima.
4. **Radarski (eng. *radio detection and ranging*) senzori.** Radar koristi mikrovalno zračenje za prikupljanje podataka o površini tla (Ulaby, Moore, i Fung, 1986). Prednost radarskih senzora je što mogu prikupljati podatke bez obzira na vremenske uvjete i doba dana jer mikrovalni valovi mogu prodrijeti kroz oblake i raditi noću. Radar je posebno koristan za analizu strukture tla, procjenu vlažnosti i praćenje erozije tla (Dobson i sur., 1995). Radarski senzori poput onih

na satelitima Sentinel-1 i RADARSAT pružaju podatke visoke rezolucije i korisni su za različite primjene u poljoprivredi i upravljanju okolišem.

Kombinacija različitih senzora i tehnologija omogućava prikupljanje sveobuhvatnih podataka o svojstvima tla, što daljinska istraživanja čini neprocjenjivim alatom za znanstvenike, poljoprivrednike i donositelje odluka.

### **Metode daljinskih istraživanja tla**

Daljinska istraživanja tla uključuju niz metoda i tehnologija za prikupljanje i analizu podataka o svojstvima tla. Ove metode koriste različite izvore podataka, uključujući optičko snimanje, radarsko snimanje i LIDAR, te se često kombiniraju s terenskim mjerenjima kako bi se dobila točna i pouzdana slika stanja tla. Prikupljanje podataka putem daljinskih istraživanja može se činiti pomoću različitih tehnologija, od kojih su najčešće optičko snimanje, radarsko snimanje i LIDAR. Svaka od ovih metoda ima svoje prednosti i ograničenja te se koristi u različitim primjenama ovisno o ciljevima istraživanja.

1. **Optičko snimanje.** Optičko snimanje koristi vidljivu, blisku infracrvenu i kratkovalnu infracrvenu energiju za prikupljanje podataka o površini tla (Lillesand i sur., 2015). Senzori smješteni na satelitima, zrakoplovima ili dronovima bilježe refleksiju sunčeve svjetlosti od tla, omogućujući analizu svojstava kao što su vlaga, struktura i pokrov tla (Jones i Vaughan, 2010). Optičko snimanje može pružiti visoku prostornu i spektralnu rezoluciju, ali je osjetljivo na vremenske uvjete, kao što su naoblaka i kiša, koji mogu otežati prikupljanje podataka (Wulder i Franklin, 2003).
2. **Radarsko snimanje.** Radarsko snimanje koristi mikrovalno zračenje za prikupljanje podataka o površini tla (Ulaby i sur., 1986). Mikrovalni senzori, poput onih na satelitima Sentinel-1 i RADARSAT, emitiraju signale koji se odbijaju od tla i vraćaju do senzora, omogućujući prikupljanje podataka bez obzira na vremenske uvjete ili doba dana (Henderson i Lewis, 1998). Radarsko snimanje posebno je korisno za analizu vlažnosti tla, strukture i erozije, budući da mikrovalno zračenje može prodrijeti kroz vegetaciju i tanki sloj tla (Dobson i sur., 1995).
3. **LIDAR.** LIDAR koristi laserske zrake za prikupljanje podataka o površini tla (Wehr i Lohr, 1999). Laserski senzori emitiraju impulse svjetlosti prema površini, a zatim mjere vrijeme potrebno da se svjetlost vrati do senzora. Ova metoda omogućava preciznu izradu 3D modela tla i topografije, što je korisno za analizu strukture tla, erozije i promjena u reljefu (Hodgson i Bresnahan, 2004). LIDAR se često koristi u kombinaciji s drugim metodama kako bi se dobila detaljna slika površine tla, posebno u područjima s gustom vegetacijom (Lefsky i sur., 2002).

Podaci prikupljeni putem daljinskih istraživanja tla analiziraju se korištenjem različitih pristupa kako bi se dobile informacije o svojstvima i stanju tla. Postoje tri glavna pristupa analizi podataka: spektralna analiza, prostorna analiza i modeliranje.

1. **Spektralna analiza** temelji se na proučavanju reflektivnih karakteristika tla u različitim dijelovima elektromagnetskog spektra (Goetz i sur., 1985). Svaki tip tla ima jedinstven spektralni potpis, koji omogućava identifikaciju različitih svojstava tla, poput sadržaja organske tvari, vlage i teksture (Clark i sur., 2003). Ovaj pristup je posebno koristan kod multispektralnih i hiperspektralnih podataka, gdje se može koristiti za klasifikaciju vrsta tla i detekciju promjena u pokrovu tla.



2. **Prostorna analiza** koristi geografske informacijske sustave (GIS) i tehnike prostorne statistike za analizu i vizualizaciju podataka o tlu (Burrough i sur., 2015). Korištenjem GIS-a, podaci prikupljeni daljinskim istraživanjima mogu se kombinirati s drugim prostornim podacima, kao što su nadmorska visina, padalina i temperatura, kako bi se identificirali prostorni obrasci i odnosi između različitih svojstava tla (McBratney i sur., 2015). Ovaj pristup omogućava detaljnu analizu i kartiranje svojstava tla na velikim područjima.
3. **Modeliranje** podataka koristi matematičke modele za predviđanje i procjenu svojstava tla na temelju podataka prikupljenih putem daljinskih istraživanja (Grunwald, 2009). Modeli se mogu koristiti za procjenu vlažnosti tla, erozije, saliniteta i drugih ključnih karakteristika. Korištenjem modela strojnog učenja i statističkih metoda, podaci iz daljinskih istraživanja mogu se integrirati s terenskim mjerenjima kako bi se dobila točnija predviđanja i procjene (Minasny i McBratney, 2016).

### **Kombinacija daljinskih istraživanja s terenskim mjerenjima**

Iako su daljinska istraživanja vrlo moćna u prikupljanju velikih količina podataka o tlu, njihova se preciznost i pouzdanost često povećavaju kombiniranjem s terenskim mjerenjima. Ova kombinacija omogućava usporedbu i kalibraciju podataka prikupljenih daljinskim istraživanjima s izravnim mjerenjima na terenu (Carré i sur., 2007).

1. Terenska kalibracija uključuje usporedbu podataka prikupljenih daljinskim istraživanjima s uzorcima tla prikupljenim na terenu. To omogućava preciznije određivanje svojstava tla, poput sadržaja organske tvari, teksture i vlažnosti (Moran i sur., 1992).
2. Validacija je ključna komponenta kombinacije daljinskih istraživanja i terenskih mjerenja. Terenska mjerenja koriste se za provjeru točnosti i preciznosti podataka dobivenih daljinskim istraživanjima, čime se osigurava veća pouzdanost rezultata (Nocita i sur., 2015).
3. Kombinacija podataka prikupljenih daljinskim istraživanjima i terenskim mjerenjima te njihova integracija omogućava izradu sveobuhvatnih modela tla i preciznije karte svojstava tla (McBratney i sur., 2015). Ovakav pristup koristi se u poljoprivredi, zaštiti okoliša i planiranju korištenja zemljišta, omogućujući donositeljima odluka bolje upravljanje prirodnim resursima i tlom.

### **Primjena daljinskih istraživanja u poljoprivredi**

Daljinska istraživanja postala su ključna tehnologija u suvremenoj poljoprivredi, omogućujući poljoprivrednicima, znanstvenicima i donositeljima odluka praćenje stanje tla i usjeva na velikim površinama te donošenje informiranih odluka za povećanje produktivnosti i održivosti poljoprivrede. Primjene daljinskih istraživanja u poljoprivredi obuhvaćaju procjenu vlažnosti tla, praćenje plodnosti i strukture tla te praćenje usjeva i detekciju bolesti biljaka.

#### Procjena vlažnosti tla

Vlažnost tla je ključan parametar za upravljanje navodnjavanjem i optimizaciju prinosa u poljoprivredi. Daljinska istraživanja omogućuju procjenu vlažnosti tla na velikim površinama, pružajući pravovremene informacije o potrebama za vodom (Jackson i sur., 2004). Optički senzori mogu detektirati promjene u reflektivnim karakteristikama tla povezanim s razinom vlažnosti. Na primjer,

infracrveni i bliski infracrveni dijelovi spektra osjetljivi su na sadržaj vode u tlu, a analizom ovih valnih duljina moguće je procijeniti vlažnost tla (Yang i sur., 2017). Landsat sateliti su često korišteni u procjeni vlažnosti tla zbog njihove prostorne i spektralne rezolucije (Fensholt i Sandholt, 2003). Radarski senzori, poput onih na Sentinel-1 satelitima, koriste mikrovalno zračenje za procjenu vlažnosti tla (Ulaby i sur., 1982). Mikrovalni signali su osjetljivi na sadržaj vode u tlu i mogu penetrirati kroz vegetaciju, omogućujući prikupljanje podataka čak i u uvjetima visoke gustoće vegetacije ili oblačnog vremena (Tong i sur., 2020). Ovi podaci su od iznimne važnosti za praćenje vlažnosti tla u područjima koja su sklona sušama ili poplavama. Termalna daljinska istraživanja također se koriste za procjenu vlažnosti tla jer temperature površine tla variraju ovisno o sadržaju vode. Suho tlo se zagrijava brže i dostiže više temperature, dok mokro tlo zadržava toplinu (Zhao i sur., 2021). Ova metoda je korisna za identifikaciju područja s deficitom vlage i za prilagodbu navodnjavanja.

#### Praćenje plodnosti i strukture tla

Plodnost i struktura tla ključni su faktori za uspjeh poljoprivredne proizvodnje, a daljinska istraživanja omogućuju procjenu tih svojstava na velikim površinama. Hiperspektralni senzori omogućuju detaljnu analizu kemijskih i fizikalnih svojstava tla, uključujući sadržaj organske tvari, minerala i teksturu tla (Ben-Dor i sur., 1999). Kroz analizu spektralnih potpisa tla moguće je identificirati područja s niskom plodnošću ili s problemima poput salinizacije (Kholdorov i sur., 2022). Kombinacija podataka dobivenih daljinskim istraživanjima s GIS alatima omogućava izradu detaljnih karata plodnosti i strukture tla (McBratney i sur., 2015). Na primjer, kombiniranjem podataka o reflektivnosti tla s informacijama o padalinama, topografiji i tipovima tla moguće je identificirati optimalne zone za određene poljoprivredne aktivnosti. Korištenjem podataka prikupljenih tijekom vremena, daljinska istraživanja omogućuju praćenje promjena u plodnosti tla uslijed erozije, ispiranja hranjivih tvari ili primjene gnojiva. Ovi podaci mogu pomoći poljoprivrednicima u prilagodbi praksi i optimizaciji primjene gnojiva (Nocita i sur., 2015).

#### Praćenje usjeva i detekcija bolesti biljaka

Jedna od najvažnijih primjena daljinskih istraživanja u poljoprivredi je praćenje stanja usjeva i detekcija bolesti ili štetnika na poljoprivrednim kulturama. Vegetacijski indeksi, poput normaliziranog razlikovnog vegetacijskog indeksa (NDVI), koriste se za procjenu zdravlja i rasta biljaka (Rouse i sur., 1974). NDVI temeljen je na podacima iz crvenog i infracrvenog dijela spektra, a služi za procjenu količine i zdravlja vegetacije. Pomoću ovog indeksa moguće je pratiti razvoj usjeva, otkriti stres uzrokovan sušom, nedostatkom hranjivih tvari ili bolestima (Tucker, 1979). Hiperspektralni senzori mogu se koristiti za detekciju promjena u spektralnom odrazu biljaka uzrokovanih bolestima, prije nego što postanu vidljive golim okom (Mahlein i sur., 2013). Ovo omogućava ranu detekciju bolesti i štetnika, što poljoprivrednicima daje priliku za pravovremeno djelovanje i sprječavanje širenja bolesti. Upotreba dronova opremljenih multispektralnim, hiperspektralnim i termalnim kamerama postala je sve češća u poljoprivredi (Zhang i Kovacs, 2012). Dronovi omogućuju brzo i detaljno praćenje usjeva na razini polja, što omogućava preciznu identifikaciju područja pod stresom ili onih koja su pogođena bolestima ili štetnicima. Ova tehnologija omogućava poljoprivrednicima optimizaciju upotrebe pesticida i gnojiva, što smanjuje troškove i utjecaj na okoliš. Termalni senzori mogu detektirati promjene u temperaturi lista, što je često znak stresa uzrokovanog nedostatkom vode, bolesti ili štetnika (Costa i sur., 2013). Praćenjem temperaturnih promjena na listovima biljaka moguće je identificirati problematična

područja unutar polja i poduzeti pravovremene mjere. Primjena daljinskih istraživanja u poljoprivredi omogućava poljoprivrednicima učinkovitije upravljanje resursima, pravovremeno reagiranje na probleme i povećanje prinosa, što doprinosi održivoj poljoprivrednoj proizvodnji.

### **Uloga daljinskih istraživanja tla u zaštiti prirode i okoliša**

Daljinska istraživanja igraju ključnu ulogu u zaštiti okoliša jer omogućuju prikupljanje informacija o velikim i nepristupačnim područjima, olakšavajući praćenje promjena u okolišu. Primjena ovih metoda posebno je važna za praćenje erozije tla i degradacije, praćenje klimatskih promjena te identifikaciju kontaminiranih područja. Kroz ove primjene, daljinska istraživanja pomažu u donošenju odluka o održivom upravljanju okolišem i smanjenju negativnih utjecaja ljudskih aktivnosti.

Erozija tla i degradacija predstavljaju značajan ekološki problem, koji dovodi do smanjenja plodnosti tla, smanjenja poljoprivredne produktivnosti i degradacije staništa. Daljinska istraživanja pružaju mogućnost praćenja i procjene erozije tla na velikim površinama, što je posebno korisno u područjima koja su sklona eroziji uslijed vjetra, kiše ili ljudskih aktivnosti (Vrieling, 2006). Vegetacijski indeksi, poput normaliziranog razlikovnog vegetacijskog indeksa (NDVI), koriste se za praćenje vegetacijskog pokrova, što je ključan čimbenik u procjeni erozije tla (Rouse i sur., 1974). NDVI podaci dobiveni sa satelita poput Landsat i Sentinel-2 omogućuju procjenu stupnja erozije tla analizom promjena u vegetacijskom pokrovu tijekom vremena (Xiao i sur., 2002). LIDAR tehnologija koristi laserske zrake za prikupljanje podataka o topografiji terena, omogućujući preciznu analizu erozijskih procesa (Hodgson i Bresnahan, 2004). Korištenjem LIDAR-a moguće je pratiti promjene u reljefu tla, identifikaciju erozijskih jaraka i procjenu količine erodiranog materijala (Hodgson i Bresnahan, 2004). Radarske senzore, poput onih na Sentinel-1 satelitu, moguće je koristiti za procjenu vlažnosti tla, što je važan faktor u procjeni erozije (Ulaby i sur., 1986). Mikrovalna tehnologija omogućava prikupljanje podataka neovisno o vremenskim uvjetima i vegetacijskom pokrovu, što je čini učinkovitom za praćenje erozije u područjima s promjenjivom klimom.

Daljinska istraživanja igraju ključnu ulogu u praćenju klimatskih promjena, omogućujući prikupljanje podataka o različitim komponentama okoliša, uključujući temperaturu, vlažnost, vegetaciju, snježni pokrivač i vodene resurse (Running i sur., 2004). Ovi podaci su ključni za razumijevanje utjecaja klimatskih promjena na ekosustave i za razvoj strategija prilagodbe i ublažavanja. Promjene u vegetacijskom pokrovu jedan su od najvažnijih pokazatelja klimatskih promjena, a daljinska istraživanja pružaju informacije o globalnim promjenama u distribuciji i gustoći vegetacije (Pettorelli i sur., 2005). Korištenjem satelitskih podataka, poput onih s MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), moguće je pratiti sezonske i godišnje promjene u vegetaciji te procijeniti utjecaj klimatskih promjena na biljnu pokrivenost (Zhao i Running, 2010). Daljinska istraživanja omogućuju praćenje promjena temperature tla i površine Zemlje putem termalnih senzora, što je važno za praćenje utjecaja klimatskih promjena na različite ekosustave (Wan i sur., 2002). Termalni podaci prikupljeni sa satelita poput Landsat i MODIS koriste se za analizu promjena temperature i procjenu utjecaja urbanizacije, deforestacije i drugih antropogenih aktivnosti na klimatske obrasce (Mildrexler i sur., 2011). Snježni pokrivač i vodeni resursi značajno su pogođeni klimatskim promjenama, a daljinska istraživanja omogućuju praćenje promjena u snježnim i ledenim površinama (Rees, 2005). Podaci prikupljeni putem satelita, kao što su Landsat, Sentinel i MODIS, koriste se za praćenje promjena u sezonskoj akumulaciji snijega, otapanju i utjecaju na dostupnost vode (Dozier, 2011).

Zagađenje tla i okoliša je sve ozbiljniji problem, a daljinska istraživanja igraju ključnu ulogu u identifikaciji i praćenju kontaminiranih područja, olakšavajući procjenu opsega i intenziteta zagađenja. Hiperspektralni senzori omogućuju preciznu analizu kemijskih svojstava tla i detekciju prisutnosti teških metala, nafte i drugih zagađivača (Ben-Dor i sur., 1999). Spektralna analiza omogućava identifikaciju zagađenja na temelju jedinstvenih reflektivnih svojstava kontaminiranih područja. Na primjer, hiperspektralni podaci mogu otkriti prisutnost teških metala poput olova, kadmija ili žive u tlu (Gómez i sur., 2008). Multispektralni podaci prikupljeni pomoću satelita, poput Landsata, koriste se za detekciju izlivanja nafte na kopnu i moru (Hu i sur., 2009). Reflektivna svojstva nafte razlikuju se od okolnog tla ili vode, što omogućava preciznu identifikaciju zagađenja i praćenje njegovog širenja. Radarski senzori mogu detektirati promjene u površini tla i vode uzrokovane kontaminacijom, kao što su izlivanja nafte ili industrijski otpad (Mertes i sur., 1993). Radarske slike omogućuju praćenje kontaminiranih područja bez obzira na vremenske uvjete ili doba dana, čime se olakšava identifikacija zagađenja u različitim uvjetima. Daljinska istraživanja omogućuju brzu identifikaciju i praćenje zagađenih područja, što je ključno za provođenje mjera sanacije i sprječavanje širenja kontaminacije. Korištenjem ovih metoda, donositelji odluka i stručnjaci za okoliš mogu razviti učinkovitije strategije za zaštitu okoliša i upravljanje prirodnim resursima.

### **Izazovi i ograničenja**

Iako daljinska istraživanja tla predstavljaju moćan alat za praćenje i analizu okoliša, ova tehnologija suočava se s nizom izazova i ograničenja koja utječu na njezinu učinkovitost i primjenu. Neki od najznačajnijih izazova uključuju točnost i rezoluciju podataka, visoke troškove opreme i analiza te potrebu za stručnim znanjem i interdisciplinarnim pristupom.

Jedan od glavnih izazova u daljinskim istraživanjima je postizanje visoke točnosti i rezolucije podataka. Razlučivost senzora odnosi se na sposobnost detekcije finih detalja i razlikovanja malih objekata na površini tla. Postoje tri vrste razlučivosti koje utječu na kvalitetu podataka: prostorna, spektralna i vremenska razlučivost (Lillesand, Kiefer, i Chipman, 2015). Prostorna razlučivost određuje veličinu najmanjeg objekta koji senzor može razlikovati. Visokorazlučivi sateliti poput WorldView-3 imaju prostornu rezoluciju od 31 cm, dok sateliti poput Landsata imaju rezoluciju od nekoliko desetaka metara (Gorelick i sur., 2017). Dok visoka prostorna razlučivost omogućava detaljniju analizu, ona također stvara velike količine podataka, što može otežati obradu i analizu (Xue i Su, 2017). Spektralna razlučivost značajka je senzora, a odnosi se na sposobnost razlikovanja valne duljine elektromagnetskog zračenja. Hiperspektralni senzori, koji prikupljaju podatke u stotinama uskih spektralnih kanala, omogućuju preciznu identifikaciju svojstava tla (Govender i sur., 2007). Međutim, takva visoka spektralna rezolucija zahtijeva napredne tehnike obrade podataka, što može predstavljati izazov. Vremenska razlučivost odnosi se na učestalost snimanja istog područja tijekom određenog vremenskog razdoblja. Sateliti s visokom vremenskom razlučivošću, poput Sentinel-2 (5 dana), omogućuju učinkovito praćenje promjena u tlu kroz vrijeme (Drusch i sur., 2012). Međutim, naoblaka i nepovoljni vremenski uvjeti mogu ometati prikupljanje podataka, smanjujući točnost i pouzdanost analize (Schultz i Engman, 2012).

Još jedan značajan izazov u daljinskim istraživanjima tla su visoki troškovi opreme, prikupljanja podataka i analize. Sateliti, bespilotne letjelice i senzori koji se koriste za daljinska istraživanja zahtijevaju značajna financijska ulaganja. Na primjer, lansiranje i održavanje satelita mogu koštati stotine milijuna dolara, što ograničava pristup nekim zemljama i organizacijama (Asner i sur., 2010).

Dronovi su povoljnija opcija za manja područja, ali i dalje zahtijevaju ulaganja u opremu, senzore i obuku operatera (Colomina i Molina, 2014). Analiza velikih skupova podataka prikupljenih daljinskim istraživanjima zahtijeva napredne softverske alate i računalne resurse, što može biti skupo (Weng, 2012). Obrada hiperspektralnih podataka, na primjer, može zahtijevati visoko specijalizirane softverske pakete i stručnost u analizi podataka, što dodatno povećava troškove. Iako su neki satelitski podaci dostupni besplatno, mnogi visokorazlučivi podaci podliježu licencnim ograničenjima i mogu biti skupi za pristup (Gorelick i sur., 2017). Ograničenja u pristupu visokokvalitetnim podacima mogu predstavljati prepreku za znanstvenike, poljoprivrednike i donositelje odluka koji žele koristiti daljinska istraživanja u svojim projektima.

Primjena daljinskih istraživanja zahtijeva visok stupanj stručnosti i znanja u različitim disciplinama, uključujući geografiju, ekologiju, agronomiju, računalne znanosti i statistiku (Liu i sur., 2008). Potreba za interdisciplinarnim pristupom predstavlja izazov u osiguravanju dovoljno kvalificiranih stručnjaka i u razvoju integriranih metoda analize. Analiza podataka dobivenih daljinskim istraživanjima često uključuje napredne statističke metode, algoritme strojnog učenja i geografske informacijske sustave (GIS) (Foody i Atkinson, 2002). Korištenje ovih alata zahtijeva specifična znanja i vještine, što može ograničiti primjenu daljinskih istraživanja među korisnicima koji nemaju pristup stručnjacima u tom području. Učinkovita primjena daljinskih istraživanja u projektima zaštite okoliša, poljoprivredi i prostornom planiranju često zahtijeva suradnju stručnjaka iz različitih disciplina (Pettorelli i sur., 2014). Različite znanstvene pozadine i pristupi mogu otežati komunikaciju i integraciju podataka, što može usporiti donošenje odluka i primjenu rezultata u praksi. S obzirom na brzi razvoj tehnologije u području daljinskih istraživanja, stručnjaci moraju biti stalno informirani o novim tehnikama, alatima i metodama analize (Jones i Vaughan, 2010). Ova potreba za kontinuiranim obrazovanjem i usavršavanjem može biti izazovna i zahtijeva dodatna ulaganja vremena i resursa.

Zaključno, daljinska istraživanja tla suočavaju se s izazovima povezanim s točnošću i rezolucijom podataka, visokim troškovima opreme i analize te potrebom za stručnim znanjem i interdisciplinarnim pristupom. Unatoč tim izazovima, napredak u tehnologiji i metodologiji daljinskih istraživanja otvara nove mogućnosti za učinkovitiju analizu i zaštitu okoliša.

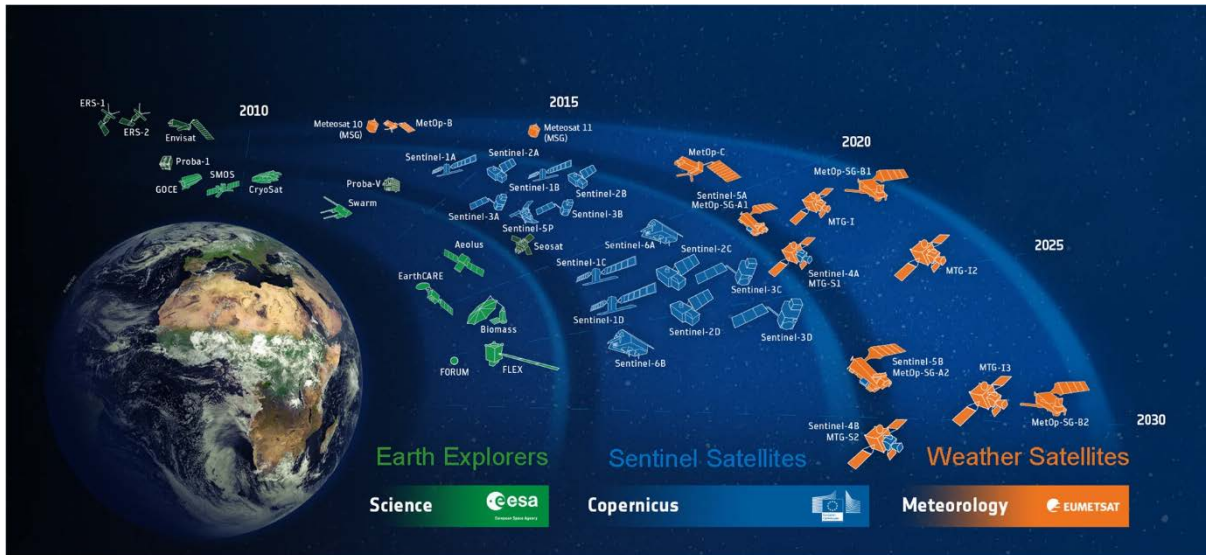
### **Budući razvoj daljinskih istraživanja tla**

Budući razvoj daljinskih istraživanja tla ogleda se u velikim potencijalnim mogućnostima kroz napredak u senzorskoj tehnologiji, primjenu umjetne inteligencije za analizu velikih skupova podataka te razvoj bespilotnih letjelica i satelitskih sustava. Ovi trendovi omogućit će precizniju, bržu i učinkovitiju analizu tla, što će doprinijeti boljim praksama u poljoprivredi, zaštiti okoliša i održivom upravljanju prirodnim resursima.

Jedan od ključnih čimbenika koji oblikuje budućnost daljinskih istraživanja tla je napredak u senzorskoj tehnologiji (Slika 2). Novi senzori postaju sve precizniji, brži i sposobniji za prikupljanje detaljnijih podataka o stanju tla. Hiperspektralni senzori nove generacije mogu prikupljati podatke u stotinama uskih spektralnih kanala, što omogućava detaljniju analizu svojstava tla (Govender i sur., 2007). Ova tehnologija precizniju identifikaciju minerala, organskih tvari, sadržaja vlage i drugih kemijskih svojstava tla (Ben-Dor i sur., 1999). Najnoviji hiperspektralni senzori, kao što je NASA-in satelit Hyperspectral Infrared Imager (HyspIRI), bit će posebno korisni za mapiranje tla na globalnoj razini (HyspIRI Mission Concept Team, 2018). Novi termalni senzori omogućit će preciznije mjerenje temperature tla, što je važno za analizu vlažnosti tla, evapotranspiracije i drugih fizičkih procesa



(Gillespie i sur., 1999). Ova tehnologija će također pomoći u praćenju utjecaja klimatskih promjena na tla i u procjeni potreba za navodnjavanjem u poljoprivredi. Kombinacija različitih senzorskih tehnologija, uključujući optičke, termalne, radarske i LIDAR senzore, omogućit će sveobuhvatniju analizu tla. Integracija podataka s više senzora omogućava precizniju procjenu svojstava tla i omogućava razvoj naprednih modela za različite primjene (Barbedo, 2022).



Slika 2. Program Europske svemirske agencije za promatranje Zemlje od 2010. do 2030. Razdoblje od 2020. do 2025. posebno je aktivno, s lansiranjem nekoliko znanstvenih demonstracijskih misija, velikog broja satelita programa Copernicus, operativnih misija promatranja Zemlje serije Sentinel te programa operativne meteorologije kojim upravlja EUMETSAT, s nekoliko Sentinel misija u partnerstvu s ESA-om. (izvor: ESA)

Razvoj umjetne inteligencije (AI) i naprednih algoritama za analizu velikih skupova podataka otvorio je nove mogućnosti za primjenu daljinskih istraživanja tla. AI omogućava obradu i analizu ogromnih količina podataka prikupljenih sa satelita, dronova i drugih platformi, što olakšava otkrivanje uzoraka i trendova u podacima o tlu. Duboko učenje (engl. *deep learning*), podskup AI-a, pokazalo se izuzetno učinkovitim za klasifikaciju i analizu podataka prikupljenih daljinskim istraživanjima (Zhang i sur., 2018). Korištenjem neuronskih mreža, moguće je automatski prepoznati obrasce u spektralnim i prostornim podacima tla, omogućujući bržu i precizniju analizu. Prikupljanje velikih količina podataka iz različitih izvora predstavlja izazov u pogledu obrade i analize, ali AI omogućava korištenje metoda strojnog učenja za obradu velikih skupova podataka (Breiman, 2001). Na primjer, algoritmi kao što su *Random Forest* i *Gradient Boosting* mogu se koristiti za modeliranje svojstava tla, procjenu plodnosti i predviđanje erozijskih procesa (Grimm i sur., 2008). AI alati omogućuju automatizaciju procesa analize podataka, čime se značajno smanjuje vrijeme potrebno za obradu podataka (Ma i sur., 2019). Ova automatizacija omogućava brzu procjenu stanja tla na velikim područjima i olakšava donošenje odluka u poljoprivredi i zaštiti okoliša.

Bespilotne letjelice (dronovi) i satelitski sustavi nastavit će igrati ključnu ulogu u budućnosti daljinskih istraživanja tla, omogućujući prikupljanje podataka visoke rezolucije i fleksibilnost u primjeni. Bespilotne letjelice postaju sve sofisticiranije, s mogućnošću nošenja različitih vrsta senzora, uključujući multispektralne, hiperspektralne, termalne i LIDAR senzore (Zhang i Kovacs, 2012). Ova tehnologija omogućava prikupljanje podataka na razini polja, što je posebno korisno za preciznu poljoprivredu i praćenje stanja tla na lokalnoj razini. Dronovi s integriranim AI sustavima omogućit će automatsku

analizu podataka u stvarnom vremenu, što će ubrzati proces donošenja odluka. Razvoj novih satelitskih sustava, poput satelita Sentinel-2, WorldView-3 i nadolazećih misija, omogućit će prikupljanje podataka visoke rezolucije s poboljšanom spektralnom i prostornom razlučivošću (Giri, 2020). Ovi sateliti će omogućiti praćenje stanja tla na globalnoj razini s povećanom točnošću i učestalošću, što je od velike važnosti za praćenje promjena uzrokovanih klimatskim promjenama, urbanizacijom i poljoprivrednim praksama. Razvoj konstelacija malih satelita, poput satelita PlanetScope, omogućava učestalo praćenje velikih područja u visokoj rezoluciji (Zhang i sur., 2020). Ova tehnologija će omogućiti gotovo stalno praćenje stanja tla, što će biti od velike koristi za preciznu poljoprivredu i procjenu utjecaja različitih okolišnih čimbenika na tlo.

Budući napredak u senzorskoj tehnologiji, primjena umjetne inteligencije i razvoj bespilotnih letjelica i satelitskih sustava predstavljaju budućnost daljinskog istraživanja tla, omogućujući precizniju i učinkovitiju analizu tla na globalnoj razini. Ovi trendovi imaju potencijal unaprijediti poljoprivrednu praksu, zaštitu okoliša i održivo upravljanje resursima tla, čineći daljinska istraživanja još važnijim alatom u budućnosti.

#### Literatura:

1. Abdulraheem, M. I., Zhang, W., Li, S., Moshayedi, A. J., Farooque, A. A., Hu, J. (2023). Advancement of Remote sensing for soil Measurements and Applications: A Comprehensive review. *Sustainability*, 15(21), 15444. <https://doi.org/10.3390/su152115444>
2. Asner, G. P. (2004). Biophysical remote sensing signatures of arid and semiarid ecosystems. In *Remote Sensing for Natural Resource Management and Environmental Monitoring: Manual of Remote Sensing, Third Edition, Vol. 4*, 53-109.
3. Asner, G. P., Powell, G. V., Mascaró, J., Knapp, D. E., Clark, J. K., Jacobson, J., Kennedy-Bowdoin, T., Balaji, A., Paez-Acosta, G., Victoria, E., Secada, L., Valqui, M., Hughes, R. F. (2010). High-resolution forest carbon stocks and emissions in the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(38), 16738–16742. <https://doi.org/10.1073/pnas.1004875107>
4. Barbedo, J. G. A. (2022). Data fusion in agriculture: Resolving ambiguities and closing data gaps. *Sensors*, 22(6), 2285. <https://doi.org/10.3390/s22062285>
5. Ben-Dor, E., Irons, J. R., Epema, G. F. (1999). Soil reflectance. In A. N. Rencz (Ed.), *Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing 3/3* (pp. 111-188)
6. Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
7. Burrough, P. A., McDonnell, R. A., Lloyd, C. D. (2015). *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press, USA.
8. Campbell, J. B., Wynne, R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing* (5th ed.). The Guilford Press.
9. Carré, F., McBratney, A. B., Mayr, T., Montanarella, L. (2007). Digital soil assessments: Beyond DSM. *Geoderma*, 142(1-2), 69-79. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.08.015>
10. Clark, R. N., Swayze, G. A., Gallagher, A. J., King, T. V. V., Calvin, W. M. (2003). The U.S. Geological Survey, Digital Spectral Library splib05a. U.S. Geological Survey, Open File Report 03-395

11. Colomina, I., Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
12. Costa, J. M., Grant, O. M., Chaves, M. M. (2013). Thermography to explore plant–environment interactions. *Journal of Experimental Botany*, 64(13), 3937-3949. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert029>
13. Dobson, M. C., Ulaby, F. T., Pierce, L. E., Sharik, T. L., Bergen, K., Kelldorfer, J., ... Ranson, K. J. (1995). Estimation of forest biophysical characteristics in northern Michigan with SIR-C/X-SAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(4), 877-895. <https://doi.org/10.1109/36.406674>
14. Dozier, J. (2011). Mountain hydrology, snow color, and the fourth paradigm. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 92(43), 373-374. <https://doi.org/10.1029/2011EO430001>
15. Drusch, M., Carrer, D., Gascon, F., i sur. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
16. Fensholt, R., Sandholt, I. (2003). Derivation of a shortwave infrared water stress index from MODIS near- and shortwave infrared data in a semiarid environment. *Remote Sensing of Environment*, 87(1), 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.07.002>
17. Foody, G. M., Atkinson, P. M. (2002). *Uncertainty in Remote Sensing and GIS*. John Wiley & Sons.
18. Gillespie, A. R., Rokugawa, S., Hook, S. J., Matsunaga, T., Kahle, A. B. (1999). Temperature/emissivity separation algorithm theoretical basis document. NASA Earth Observing System, Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER).
19. Giri, C. P. (2020). *Remote sensing of land use and land cover: Principles and Applications*. CRC Press.
20. Goetz, A. F. H., Vane, G., Solomon, J. E., Rock, B. N. (1985). Imaging spectrometry for earth remote sensing. *Science*, 228(4704), 1147-1153. <https://doi.org/10.1126/science.228.4704.1147>
21. Gómez, C., Lagacherie, P., Coulouma, G. (2008). Continuum removal versus PLSR method for clay and calcium carbonate content estimation from laboratory and airborne hyperspectral measurements. *Geoderma*, 148(2), 141-148. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.09.016>
22. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
23. Govender, M., Chetty, K., Bulcock, H. (2007). A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies. *Water SA*, 33(2), 145-152. <https://doi.org/10.4314/wsa.v33i2.49049>
24. Grimm, R., Behrens, T., Märker, M., Elsenbeer, H. (2008). Soil organic carbon concentrations and stocks on Barro Colorado Island—Digital soil mapping using Random Forests analysis. *Geoderma*, 146(1-2), 102-113. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.05.008>
25. Grunwald, S. (2009). Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches. *Geoderma*, 152(3-4), 195-207. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.06.003>

26. Henderson, F. M., Lewis, A. J. (1998). Principles and Applications of Imaging Radar. Manual of Remote Sensing, 3rd edition, Volume 2. John Wiley i Sons.
27. Hodgson, M. E., Bresnahan, P. (2004). Accuracy of airborne LIDAR-derived elevation: Empirical assessment and error budget. *Photogrammetric Engineering i Remote Sensing*, 70(3), 331-339. <https://doi.org/10.14358/PERS.70.3.331>
28. Hu, C., Li, X., Pichel, W. G., Muller-Karger, F. E. (2009). Detection of natural oil slicks in the NW Gulf of Mexico using MODIS imagery. *Geophysical Research Letters*, 36(1). <https://doi.org/10.1029/2008GL036119>
29. Hunt, E. R., Jr., Hively, W. D., McCarty, G. W., Lang, M. W., Sadeghi, A. M., Daughtry, C. S. T., ... Discovery, E. S. (2010). Remote sensing of crop leaf area index using unmanned airborne vehicles. *Agronomy Journal*, 102(6), 1654-1661.
30. HypsIRI Mission Concept Team (2018) HypsIRI Final Report. National Aeronautics and Space Administration, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology, Pasadena, California
31. Jackson, T.J., Chen, D., Cosh, M.H., Li, F., Anderson, M.C., Walthall, C., Doraiswamy, P., Hunt, E.R. (2004) Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. *Remote Sens. Environ.* 92: 475-482.
32. Jensen, J.R. (2007) *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. 2nd Edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River.
33. Jones, H. G., Vaughan, R. A. (2010). *Remote Sensing of Vegetation: Principles, Techniques, and Applications*. Oxford University Press.
34. Kholdorov, S., Gopakumar, L., Katsura, K., Jabbarov, Z., Jobborov, O., Shamsiddinov, T., Khakimov, A. (2022). Soil salinity assessment research using remote sensing techniques: a special focus on recent research. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 1068(1), 012037. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1068/1/012037>
35. Lefsky, M. A., Cohen, W. B., Parker, G. G., Harding, D. J. (2002). LIDAR remote sensing for ecosystem studies. *Bioscience*, 52(1), 19-30. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0019:LRSFES\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0019:LRSFES]2.0.CO;2)
36. Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipman, J. W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7th ed.). Wiley.
37. Liu, Y., Gupta, H. V., Springer, E., Wagener, T. (2008). Linking science with environmental decision making: Experiences from an integrated modeling approach to supporting sustainable water resources management. *Environmental Modelling i Software*, 23(7), 846-858. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.10.007>
38. Lobell, D. B., Asner, G. P., Ortiz-Monasterio, J., Benning, T. L. (2003). Remote sensing of regional crop production in the Yaqui Valley, Mexico: estimates and uncertainties. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 94, 205-220. . [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(02\)00014-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00014-8)
39. Ma, L., Liu, Y., Zhang, X., Ye, Y., Yin, G., Johnson, B. A. (2019). Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152, 166-177. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.015>
40. Mahlein, A.-K., Rumpf, T., Welke, P., Dehne, H.-W., Plümer, L., Steiner, U., Oerke, E.-C. (2013). Development of spectral indices for detecting and identifying plant diseases. *Remote Sensing of Environment*, 128, 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.019>
41. Mather, P. M., Koch, M. (2011). *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction* (4th ed.). John Wiley i Sons.

42. McBratney, A. B., Minasny, B., Stockmann, U. (2018). *Pedometrics*. Springer.
43. Mertes, L. A., Smith, M. O., Adams, J. B. (1993). Estimating suspended sediment concentrations in surface waters of the Amazon River wetlands from Landsat images. *Remote Sensing of Environment*, 43(3), 281-301. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(93\)90071-5](https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90071-5)
44. Mildrexler, D. J., Zhao, M., Running, S. W. (2011). A global comparison between station air temperatures and MODIS land surface temperatures reveals the cooling role of forests. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(G3). <https://doi.org/10.1029/2010JG001486>
45. Minasny, B., McBratney, A. (2016). Digital soil mapping: A brief history and some lessons. *Geoderma*, 264, 301–311. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.07.017>
46. Moran, M., Jackson, R. D., Slater, P. N., Teillet, P. M. (1992). Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output. *Remote Sensing of Environment*, 41(2–3), 169–184. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90076-v](https://doi.org/10.1016/0034-4257(92)90076-v)
47. Nocita, M., Stevens, A., van Wesemael, B., Aitkenhead, M., Bachmann, M., Barthès, B., ... Wetterlind, J. (2015). Soil spectroscopy: An alternative to wet chemistry for soil monitoring. *Advances in Agronomy*, 132, 139-159. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.02.002>
48. Pettorelli, N., Safi, K., Turner, W. (2014). Satellite remote sensing, biodiversity research and conservation of the future. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1643), 20130190. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0190>
49. Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C. J., Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(9), 503-510. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011>
50. Pinter, P. J., Jr., Hatfield, J. L., Moran, M. S. i sur. (2003). Remote sensing for crop management. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(6), 647-664. <https://doi.org/10.14358/PERS.69.6.647>
51. Price, J. C. (1980). The potential of remotely sensed thermal infrared data to infer surface soil moisture and evaporation. *Water Resources Research*, 16(4), 787-795.
52. Rees, W. G. (2005). Remote sensing of snow and ice. <https://doi.org/10.1201/9781420023749>
53. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium* (pp. 301-317). NASA SP-351.
54. Running, S. W., Nemani, R. R., Heinsch, F. A., Zhao, M., Reeves, M., Hashimoto, H. (2004). A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production. *Bioscience*, 54(6), 547-560. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0547:ACSMOG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0547:ACSMOG]2.0.CO;2)
55. Ryerson, R. A., Henderson, F. M., Lewis, A. J. (1999). *Manual of Remote Sensing: Remote sensing for the earth sciences*.
56. Schultz, G. A., Engman, E. T. (2012). *Remote sensing in hydrology and water management*. Springer Science & Business Media.
57. Tong, C., Wang, H., Magagi, R., Goïta, K., Zhu, L., Yang, M., Deng, J. (2020). Soil moisture retrievals by combining passive microwave and optical data. *Remote Sensing*, 12(19), 3173. <https://doi.org/10.3390/rs12193173>
58. Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
59. Ulaby, F. T., Moore, R. K., Fung, A. K. (1982). *Microwave remote sensing: Active and passive. Volume 2-Radar remote sensing and surface scattering and emission theory*. Addison-Wesley.



60. Ulaby, F. T., Moore, R. K., Fung, A. K. (1986). *Microwave Remote Sensing: Active and Passive. Volume 3-From Theory to Applications.* Artech House.
61. Vrieling, A. (2006). Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review. *Catena*, 65(1), 2-18. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.10.005>
62. Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q., Li, Z.-L. (2002). Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 163-180. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00093-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00093-7)
63. Wehr, A., Lohr, U. (1999). Airborne laser scanning—an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2-3), 68-82. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00011-8)
64. Weng, Q. (2012). Remote sensing of impervious surfaces in urban areas: Requirements, methods, and trends. *Remote Sensing of Environment*, 117, 34-49. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.030>
65. Wulder, M. A., Franklin, S. E. (2003). *Remote Sensing of Forest Environments: Concepts and Case Studies.* Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0306-4>
66. Xiao, J., Shen, Y., Ge, J., Tateishi, R., Tang, C., Liang, Y., Huang, Z. (2002). Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. *Landscape and Urban Planning*, 75(1-2), 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.12.005>
67. Xue, J., Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017, 1353691. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>
68. Yang, G., Liu, J., Zhao, C., Li, Z., Huang, Y., Yu, H., Zhang, X. (2017). Unmanned aerial vehicle remote sensing for field-based crop phenotyping: Current status and perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1111. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01111>
69. Zhang, C., Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693-712. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>
70. Zhang, C., Marzougui, A., Sankaran, S. (2020). High-resolution satellite imagery applications in crop phenotyping: An overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105584. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105584>
71. Zhang, L., Zhang, L., Du, B. (2018). Deep learning for remote sensing data: A technical tutorial on state of the art. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 4(2), 22-40. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2016.2540798>
72. Zhao, M., Running, S. W. (2010). Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009. *Science*, 329(5994), 940-943. <https://doi.org/10.1126/science.1192666>
73. Zhao, Z., Wang, H., Qin, D., Wang, C. (2021). Large-scale monitoring of soil moisture using Temperature Vegetation Quantitative Index (TVQI) and exponential filtering: A case study in Beijing. *Agricultural Water Management*, 252, 106896. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106896>

Dr. Sc. Tamara Đerđ,  
Dr. sc. Domagoj K. Hackenberger,  
Prof. dr. sc. Branimir K. Hackenberger

## Strojno i duboko učenje u poljoprivredi: Kako UI mijenja način na koji razumijemo tlo i proizvodimo hranu

Strojno učenje (ML) i duboko učenje (DL) su brzo razvijajuće ključne discipline unutar šireg područja umjetne inteligencije (AI) s velikim utjecajem na sve privredne grane što uključuje i poljoprivredu. Kroz analizu podataka i prepoznavanje obrazaca, ove tehnologije omogućavaju donošenje preciznih odluka i optimizaciju procesa u poljoprivrednoj proizvodnji.

### Strojno učenje (ML)

Strojno učenje (eng. *machine learning* ili ML) je podskup umjetne inteligencije u okviru kojeg se razvijaju algoritmi modeli koji omogućavaju računalima učenje iz podataka i donošenje odluka bez eksplicitnog programiranja (Alpaydin, 2020). Temeljno, strojno učenje koristi statističke metode za analizu podataka, identificiranje obrazaca i poboljšanje performansi modela kroz iskustvo. Algoritmi strojnog učenja koriste skupove podataka za učenje na temelju kojih se stvara model za stvaranje predikcije ili klasifikacije (Murphy, 2012). Postoji tri glavna oblika strojnog učenja: nadzirano učenje (eng. *supervised learning*) i nenadzirano učenje (eng. *unsupervised learning*). Kod nadziranog učenja model uči na temelju označenih podataka, pri čemu su ulazni podaci povezani s ispravnim izlazima. Cilj je naučiti poveznicu između ulaza i izlaza kako bi se omogućile precizne predikcije na novim podacima (Goodfellow i sur., 2016). Kod nenadziranog učenja model uči iz podataka bez unaprijed definiranih oznaka, tražeći skrivene obrasce i strukture unutar podataka. Primjeri uključuju klasteriranje i redukciju dimenzionalnosti (Hastie i sur., 2009). Strojno učenje koristi različite algoritme kao što su regresija, stablo odluke, k-najbliži susjedi (k-NN), slučajna šuma (eng. *random forest*) i podrška vektorima (SVM, eng. *support vector machine*) za prepoznavanje obrazaca u podacima (James i sur., 2013). Ovi algoritmi mogu s velikom točnošću učiti iz povijesnih podataka, analizirati trenutne informacije i predviđati buduće rezultate. U poljoprivredi se strojno učenje koristi za analizu podataka o tlu, vremenskim uvjetima, upotrebi vode, gnojiva i pesticida. Algoritmi strojnog učenja mogu predviđati prinose usjeva na temelju uvjeta tla, te omogućiti poljoprivrednicima optimiziranje resursa i smanjivanje gubitaka (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018).

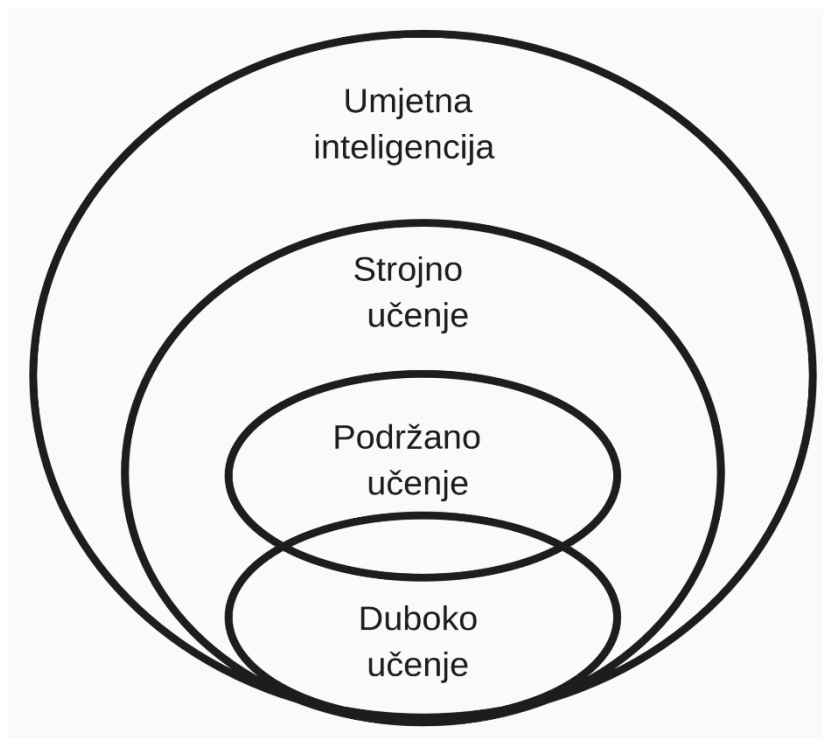
### Duboko učenje (DL)

Duboko učenje (DL) je specifična vrsta strojnog učenja koja koristi umjetne neuronske mreže (ANN, eng. *artificial neural networks*) s višestrukim slojevima za analizu i prepoznavanje složenih obrazaca u podacima (LeCun i sur., 2015). Dok strojno učenje može koristiti jednostavnije algoritme, duboko učenje se oslanja na tzv. duboke neuronske mreže s više skrivenih slojeva za analizu velike količine podataka. Dakle, temelj dubokog učenja su umjetne neuronske mreže, koje se, u osnovi, sastoje od ulaznog sloja, jednog ili više skrivenih slojeva te izlaznog sloja (Schmidhuber, 2015). Svaki neuron unutar mreže prima ulazne signale, koji se ponderiraju, kombiniraju i prolaze kroz tzv. aktivacijsku funkciju kako bi proizveli izlaz. Proces učenja uključuje prilagodbu težinskih varijabli među neuronima kako bi se minimizirala pogreška modela (Goodfellow i sur., 2016). Specifične arhitekture dubokog učenja su tzv. konvolucijske neuralne mreže (CNN) čija se specifična arhitektura dubokog učenja koristi

posebno za analizu slika, kao i rekurentne neuronske mreže (RNN) čija arhitektura je prilagođena za analizu sekvencijalnih podataka kao što su npr. vremenske serije. Duboko učenje se od strojnog učenja razlikuje po složenosti i količini podataka. Duboko učenje može obraditi složenije podatke u usporedbi sa strojnim učenjem jer koristi više slojeva za analizu. Nadalje, duboko učenje zahtijeva veće količine podataka i jaču računalnu snagu za učinkovito učenje, dok strojno učenje može funkcionirati i s manjim skupovima podataka i slabijim računalima (Jordan & Mitchell, 2015). Duboko učenje omogućava analizu satelitskih slika i podataka s dronova za identifikaciju različitih vrsta tla, određivanje vlage, te praćenje rasta usjeva. Konvolucijske neuronske mreže koriste se za prepoznavanje bolesti usjeva iz slika, čime se smanjuje potreba za ručnim pregledima i omogućava brza intervencija (Kussul i sur., 2017).

### Podržano učenje (RL)

Podržano učenje (eng. *reinforcement learning*) dio je strojnog učenja u kojemu agent (algoritam) uči kroz interakciju s okolinom pri čemu koristi povratne informacije u obliku nagrada ili kazni kako bi poboljšao svoje djelovanje (Sutton i Barto, 2018). Pomoću podržanog učenja izrađuju se alati za optimizaciju procesa odnosno ekspertni sustavi.



*Slika 1. Slika prikazuje hijerarhiju unutar umjetne inteligencije (AI). Umjetna inteligencija obuhvaća različite tehnike, koje omogućuju računalima učenje iz podataka. Unutar strojnog učenja nalazi se podržano učenje, tehnika koja koristi povratne informacije za poboljšanje performansi, dok duboko učenje predstavlja specifičnu vrstu strojnog učenja koja koristi umjetne neuronske mreže za obradu velikih količina podataka i rješavanje kompleksnih problema.*

Tradicionalne metode analize podataka u poljoprivredi često su spore i neprecizne dok s druge strane, strojno i duboko učenje omogućavaju brže i preciznije analize, optimizaciju resursa i preciznije predviđanje prinosa ili pojavubolesti. Algoritmi ML i DL mogu analizirati velike količine podataka o tlu,

vremenu i usjevima u stvarnom vremenu, što omogućava brže donošenje odluka. Poljoprivrednici mogu koristiti umjetnu inteligenciju (AI) za optimalnu upotrebu vode, gnojiva i pesticida, što smanjuje troškove i utjecaj na okoliš (Akhter i sur., 2021). Osim toga algoritmi mogu predviđati prinose i prepoznati znakove bolesti prije nego što postanu vidljivi, omogućujući pravovremenu intervenciju i smanjenje gubitaka (Kamal i sur., 2019). Strojno i duboko učenje transformiraju poljoprivredu pružajući alate za precizno upravljanje resursima, povećanje produktivnosti i smanjenje negativnog utjecaja na okoliš, čineći poljoprivredu održivijom i učinkovitijom.

### **Prikupljanje i analiza podataka o tlu**

Korištenje strojnog i dubokog učenja u poljoprivredi uvelike se oslanja na prikupljanje i analizu podataka o tlu. S obzirom na ključnu ulogu tla u poljoprivrednoj proizvodnji, prikupljanje podataka s pomoću različitih tehnologija omogućava precizniju i učinkovitiju obradu zemljišta, te povećava produktivnost i održivost poljoprivredne prakse. S razvojem tehnologije, prikupljanje podataka o tlu postalo je mnogo preciznije, pa poljoprivrednici sada imaju pristup različitim izvorima podataka dobivenim putem senzora tla, satelitskih snimki, snimki s dronova, laboratorijskih analiza. Senzori tla su uređaji postavljeni direktno u tlo radi mjerenja različitih parametara kao što su vlažnost, temperatura, sadržaj hranjivih tvari i pH vrijednost. Takvi senzori omogućavaju kontinuirano praćenje uvjeta tla u stvarnom vremenu, čime se osiguravaju podaci potrebni za donošenje pravovremenih i informiranih odluka. Podaci prikupljeni sensorima tla koriste se za optimizaciju navodnjavanja i gnojidbe, čime se smanjuje nepotrebno trošenje resursa (Tangesalu i sur., 2023). Satelitske snimke pružaju podatke o velikim površinama tla, omogućavajući poljoprivrednicima praćenje promjene u strukturi i stanju tla tijekom vremena. Satelitske slike visoke rezolucije koriste se za analizu sadržaja vlage, pokrova vegetacije i detekciju erozije tla (Inoue i sur., 2020). Strojnim učenjem se mogu analizirati satelitske slike kako bi se identificirala područja s različitim tipovima tla ili područja koja zahtijevaju posebnu pozornost glede navodnjavanja i hranjivih tvari (Drusch i sur., 2012).

Dronovi opremljeni kamerama visoke rezolucije koriste se za prikupljanje podataka o tlu na manjim, specifičnim područjima. Opremljeni različitim sensorima, dronovi mogu pružiti podatke o sadržaju vlage, temperaturi tla, razini klorofila u vegetaciji te omogućiti identifikaciju štetnika i bolesti (Tsouros i sur., 2019). Podaci dobiveni dronovima mogu se pomoću strojnog učenja koristiti detaljno kartiranje vlažnosti tla, koje poljoprivrednicima omogućava precizno navodnjavanje (Phang i sur., 2023).

Tradicionalne metode koje uključuju uzimanje uzoraka tla i njihovu analizu u laboratorijima pružaju informacije o kemijskom sastavu tla, poput koncentracije hranjivih tvari (npr. dušik, fosfor, kalij), pH vrijednosti i sadržaja organske tvari (Teshom i sur., 2024). Iako su ove metoda precize, proces uzorkovanja i analize može biti skup i dugotrajan, a prikupljeni podaci često predstavljaju samo mali dio ukupne površine poljoprivrednog zemljišta.

### **Vrste podataka za ML i DL**

Podaci o tlu koji se mogu procesuirati s ML i DL mogu se podijeliti na: fizikalna svojstva tla, kemijska svojstva tla, vlažnost tla, temperaturu tla i pH vrijednost tla. Od fizikalnih svojstava tla najvažniji su tekstura, poroznost i gustoća. Tekstura tla je udio pijeska, mulja i gline u tlu, što utječe na sposobnost tla da zadržava vodu i hranjive tvari (Hillel, 2008), a poroznost tla je količina zraka i vode koja može proći kroz tlo, što utječe na drenažu i opskrbu korijenja biljaka kisikom. Gustoća tla (specifična masa

određenog volumena) utječe na sposobnost tla da podrži biljke i zadrži vodu (Dexter, 2004). U kemijska svojstva tla spadaju koncentracije esencijalnih hranjivih tvari poput dušika (N), fosfora (P) i kalija (K), koje su ključne za rast biljaka (Brady & Weil, 2016) te količina organske tvari u tlu, koja poboljšava plodnost i sposobnost tla za zadržavanje vode (Lal, 2004). Vlažnost je ključni čimbenik rasta usjeva, a određuje se pomoću senzora tla, satelitskih slika ili dronova (Gong i sur., 2017). Temperatura tla utječe na klijanje sjemena, rast korijena i mikrobiološke aktivnosti u tlu. Podaci o temperaturi tla mogu se prikupljati senzorima ili satelitskim snimkama. pH tla utječe na dostupnost hranjivih tvari biljaka i aktivnost mikroorganizama. Optimalna pH vrijednost varira ovisno o vrsti usjeva (Foth & Ellis, 1997).

### **Obrada podataka puitem ML i DL**

Strojno učenje koristi različite metode za analizu podataka o tlu kako bi se iz njih izvukle korisne informacije i donijele bolje odluke o upravljanju zemljištem. Regresijski modeli se koriste za predviđanje kontinuiranih varijabli, poput vlažnosti tla, na temelju skupa ulaznih značajki (Ahumada i sur., 2020). Na primjer, pomoću linearne regresije mogu se predvidjeti promjene vlažnosti tla na temelju klimatskih uvjeta, što poljoprivrednicima omogućava planiranje navodnjavanja. Klasifikacija je tehnika strojnog učenja koja se koristi za razvrstavanje uzoraka u unaprijed definirane kategorije. Na primjer, algoritmi kao što su podrška vektorima (SVM) i k-najbliži susjedi (k-NN) mogu se koristiti za klasifikaciju tipova tla na temelju njihovih kemijskih i fizičkih svojstava (Ramcharan i sur., 2017). To omogućava precizno određivanje najbolje vrste usjeva za određeno tlo. Klasteriranje je metoda nenadziranog učenja koja grupira podatke na temelju sličnosti. U poljoprivredi se koristi za identificiranje zona unutar poljoprivrednog zemljišta koje dijele slična svojstva tla, čime se omogućava precizno upravljanje resursima (Cai i sur., 2019).

Duboko učenje koristi neuronske mreže s višestrukim slojevima za obradu složenih podataka o tlu. Na primjer, konvolucijske neuronske mreže (CNN) koriste se za analizu slika tla, dok rekurentne neuronske mreže (RNN) mogu predvidjeti promjene u vlažnosti tla na temelju vremenskih serija podataka (Cai i sur., 2020). Pomoću algoritama strojnog učenja, kao što su Random Forest, poljoprivrednici mogu dobiti uvid u najvažnije čimbenike koji utječu na prinos usjeva i planirati poljoprivredne prakse prema tim podacima (Attri i sur., 2023).

### **Primjene strojnog učenja u poljoprivredi**

Strojno učenje (ML) postalo je ključni alat u modernoj poljoprivredi, pružajući mogućnost za preciznije upravljanje resursima, povećanje prinosa i smanjenje negativnog utjecaja na okoliš. Različite primjene ML-a, kao što su predviđanje prinosa usjeva, optimizacija navodnjavanja, upravljanje gnojivom i identifikacija bolesti, transformiraju način na koji poljoprivrednici donose odluke. Jedan od najvažnijih izazova u poljoprivredi je točno predviđanje prinosa usjeva, što omogućava bolju alokaciju resursa i planiranje (Basso & Liu, 2019). Strojno učenje koristi se za predviđanje prinosa na temelju podataka o tlu, vremenskim uvjetima, agrotehničkim mjerama i povijesnim podacima o usjevima. Linearna regresija i višestruka linearna regresija koriste se za kvantificiranje utjecaja različitih čimbenika na prinos. Random Forest algoritam može identificirati ključne čimbenike koji utječu na prinos i pružiti precizna predviđanja (Akhter i Sofi 2021.). U studiji koja je ispitivala prinos pšenice, Random Forest pokazao je visoku točnost u predviđanju na temelju agronomskih i klimatskih podataka (Feng i sur., 2019). Duboko učenje putem neuronskih mreža također se koristi za predviđanje prinosa. Primjer je



upotreba umjetnih neuronskih mreža (ANN) u predviđanju prinosa soje na temelju podataka o tlu, kišnim padalinama i temperaturama (Chlingaryan i sur., 2018).

Korištenje ML-a omogućava poljoprivrednicima da unaprijed identificiraju potencijalne izazove i optimiziraju upotrebu resursa, što rezultira povećanjem produktivnosti i smanjenjem rizika od neuspjeha usjeva. Navodnjavanje je ključni aspekt poljoprivredne proizvodnje, ali je često izazov pronaći ravnotežu između prekomjerne i nedovoljne opskrbe vodom. Strojno učenje pomaže u preciznoj kontroli i optimizaciji navodnjavanja na temelju trenutne vlažnosti tla, vremenskih prognoza i potreba usjeva (Ojha i sur., 2015).

K-nearest neighbors (k-NN) algoritam koristi se za klasifikaciju različitih područja poljoprivrednog zemljišta prema potrebama za vodom. U jednoj studiji, k-NN je uspješno korišten za identifikaciju vlažnosti tla u različitim zonama, omogućavajući precizno navodnjavanje (Raja i sur., 2020). Podrška vektorima (SVM) je algoritam korišten za optimizaciju raspodjele vode na temelju trenutne razine vlage i predviđenih vremenskih uvjeta, što je rezultiralo značajnim smanjenjem potrošnje vode (Kasera i sur., 2024). Kombinacija senzora tla i neuronskih mreža može omogućiti precizno praćenje vlage u tlu i automatsku prilagodbu navodnjavanja. U studiji koja je koristila duboke neuronske mreže, model je bio u stanju precizno predviđati optimalne količine vode potrebne za navodnjavanje usjeva (Eli-Chukwu, 2019).

Korištenje ML-a za optimizaciju navodnjavanja omogućava poljoprivrednicima da smanje potrošnju vode i minimiziraju gubitke, čime se doprinosi održivoj poljoprivredi. Optimalno korištenje gnojiva ključno je za održavanje zdravlja tla i povećanje prinosa usjeva, ali prekomjerna upotreba može dovesti do zagađenja okoliša. Strojno učenje može analizirati podatke o tlu i usjevima kako bi preporučilo optimalne količine i vrste gnojiva. Na temelju analiza tla, vremenskih uvjeta i faze rasta biljaka, regresijski modeli koriste se za izračunavanje optimalnih količina gnojiva. Algoritmi kao što je Decision Tree koriste se za donošenje odluka o primjeni gnojiva na temelju karakteristika tla, vrsti usjeva i agronomskih preporuka (Akter i Sofi., 2021). Konvolucijske neuronske mreže (CNN) mogu analizirati slike tla i biljaka za identificiranje znakova nedostatka hranjivih tvari, što omogućava preciznu prilagodbu gnojidbe (Jahromi i sur., 2023).

Primjena ML-a omogućava poljoprivrednicima da smanje troškove gnojidbe, poboljšaju prinos i minimiziraju negativne učinke na okoliš. Identifikacija i kontrola bolesti usjeva predstavljaju značajan izazov u poljoprivredi, a tradicionalne metode inspekcije često su dugotrajne i nepouzdana. Strojno učenje nudi učinkovite alate za automatsko prepoznavanje bolesti i štetnika na usjevima pomoću analize slika i podataka.

Konvolucijske neuronske mreže (CNN) se koriste za prepoznavanje bolesti na temelju slika biljaka. Na primjer, u studiji koja je koristila CNN za prepoznavanje bolesti u usjevima rajčice, algoritam je postigao visoku točnost u prepoznavanju različitih vrsta bolesti (Ferentinos, 2018). Strojno učenje putem nadziranog učenja, npr. modeli kao što je Random Forest koriste se za analizu podataka o vremenu, vlažnosti i temperaturi kako bi se predvidjelo izbijanje bolesti (Boulent i sur., 2019). Algoritmi strojnog učenja koriste se za prepoznavanje prisutnosti štetnika na usjevima pomoću senzora i slika, što omogućava brzu intervenciju i zaštitu usjeva (Barbedo, 2013). Automatsko prepoznavanje bolesti omogućava poljoprivrednicima da rano identificiraju probleme i poduzmu mjere prije nego što dođe do ozbiljnih šteta, što rezultira značajnim uštedama i povećanjem prinosa.

## Duboko učenje i analize tla

Duboko učenje (DL) postalo je jedan od najvažnijih alata za analizu tla u poljoprivredi jer omogućava automatiziranu analizu složenih podataka i pruža precizne informacije o stanju tla. DL se temelji na korištenju umjetnih neuronskih mreža s višestrukim slojevima, što omogućava prepoznavanje uzoraka i značajki u velikim količinama podataka o tlu.

Analiza satelitskih slika i podataka s dronova omogućava pristup detaljnim informacijama o stanju tla i vegetacije, što je ključno za procjenu produktivnosti poljoprivrednog zemljišta. Duboko učenje omogućava automatsko prepoznavanje uzoraka na slikama visoke rezolucije te identifikaciju promjena u stanju tla u realnom vremenu.

Konvolucijske neuronske mreže (CNN) koriste se za obradu satelitskih slika velikih površina poljoprivrednog zemljišta. CNN omogućava prepoznavanje različitih tipova tla, vlažnosti i pokrova vegetacije. Na primjer, CNN je uspješno korišten za klasifikaciju poljoprivrednih parcela na temelju tipova tla u različitim regijama, što je pomoglo u identifikaciji potencijalno produktivnih područja (Ma i sur., 2019). Dronovi opremljeni kamerama visoke rezolucije prikupljaju slike tla i vegetacije, koje se zatim analiziraju pomoću dubokog učenja. Studija koju su proveli Rahman i sur. (2021) pokazala je da CNN može precizno klasificirati različite faze rasta usjeva i prepoznati znakove bolesti, omogućujući poljoprivrednicima pravovremenu intervenciju. RNN su također korištene za analizu podataka sa satelitskih slika i dronova, osobito za praćenje vremenskih serija podataka o promjenama stanja tla tijekom vremena (Maggiori i sur., 2016). Ovo omogućava praćenje sezonskih promjena u vegetaciji i vlažnosti tla, pružajući važne informacije za planiranje poljoprivrednih aktivnosti.

Upotreba CNN-a za analizu satelitskih podataka sa Sentinel-2 omogućila je precizno mapiranje tipova tla i vegetacijskih indeksa u poljoprivrednim područjima (Phiri i sur., 2020). Upotreba dronova za prikupljanje podataka u kombinaciji s dubokim učenjem omogućila je automatsko prepoznavanje područja koja su podložna eroziji tla i zahtijevaju intervenciju (Bendig i sur., 2015).

Duboko učenje omogućava razvoj naprednih modela za detekciju uzoraka i klasifikaciju različitih tipova tla, što je ključno za preciznu poljoprivredu. Klasifikacija tla uključuje prepoznavanje karakteristika kao što su tekstura, sastav i vlažnost, što utječe na izbor usjeva i poljoprivrednih praksi.

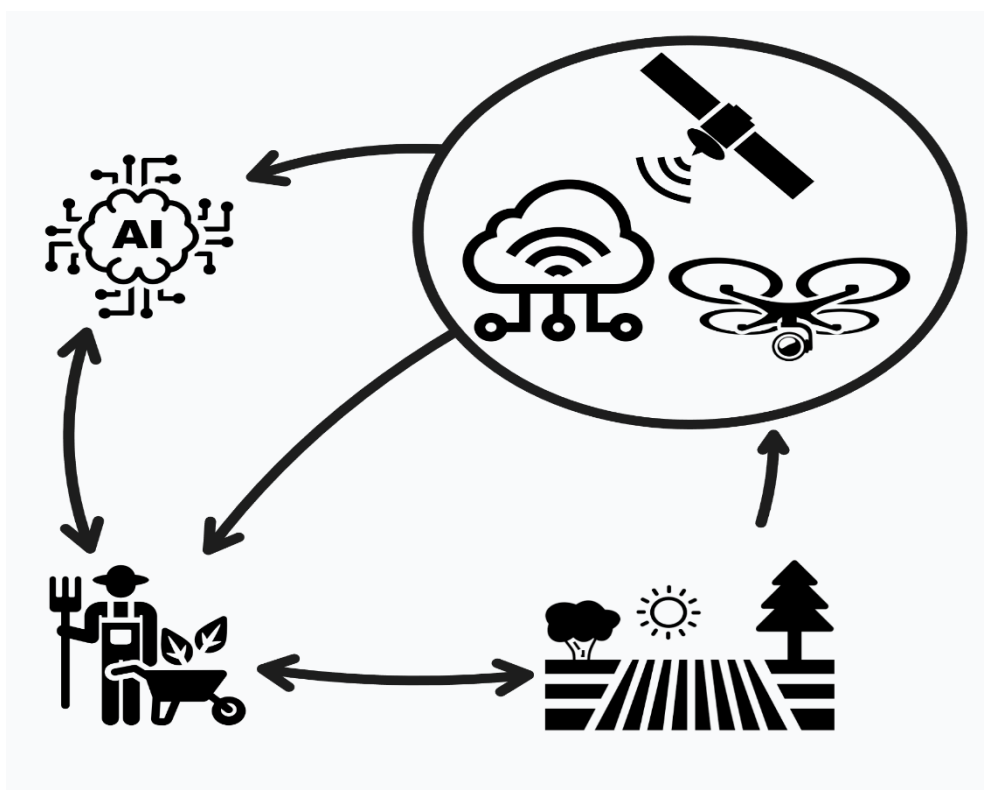
Generative Adversarial Networks (GANs) se koriste za generiranje sintetičkih podataka o tlu, što može pomoći u obuci modela za klasifikaciju tla kada su dostupni podaci ograničeni (Guerra i sur., 2024). CNN su pokazali visoku točnost u klasifikaciji tipova tla na temelju satelitskih slika i podataka s dronova. Na primjer, CNN je korišten za prepoznavanje i klasifikaciju područja s različitim tipovima tla (npr. pješčano, ilovasto, glinasto) s točnošću većom od 90% (Zhang i sur., 2020). Duboko učenje omogućava praćenje promjena vlažnosti tla kroz različita vremenska razdoblja, što je ključno za optimizaciju navodnjavanja. CNN i LSTM (Long Short-Term Memory) mreže korištene su za analizu satelitskih podataka kako bi se identificirala sušna područja i predvidjele promjene u vlažnosti tla (Guerra i sur., 2024).

## **Integracija podataka**

Jedna od najvećih prednosti dubokog učenja je sposobnost integracije različitih izvora podataka kako bi se dobila sveobuhvatna slika stanja tla. Kombinacija satelitskih slika, podataka s dronova i podataka sa senzora tla omogućava precizniju analizu i donošenje informiranih odluka. Multimodalni modeli dubokog učenja kombiniraju različite vrste podataka, uključujući slike, vremenske serije i tekstualne podatke, radi preciznije analize tla (Xu i sur., 2019). Na primjer, model koji koristi satelitske slike i

podatke sa senzora može pružiti detaljnu procjenu plodnosti tla i potreba za navodnjavanjem. Upotreba Long Short-Term Memory (LSTM) mreža se koristi za obradu vremenskih serija podataka o vlažnosti i temperaturi tla, omogućujući predviđanje budućih stanja na temelju prošlih podataka (Park i sur., 2022). Ovo je posebno korisno za poljoprivrednike u planiranju navodnjavanja i gnojidbe. U studiji Teshome i sur. (2024), podaci dobiveni sa senzora tla kombinirani su sa satelitskim slikama kako bi se stvorio model dubokog učenja koji može precizno procijeniti sadržaj vlage u tlu u realnom vremenu. Ova kombinacija omogućila je preciznije navodnjavanje i povećanje produktivnosti usjeva.

Kombinacija radarskih podataka sa satelita Sentinel-1 i senzorskih podataka s tla omogućila je preciznu analizu vlažnosti tla pomoću dubokog učenja (Chung i sur., 2022), a podaci prikupljeni dronovima korišteni su zajedno s podacima sa senzora kako bi se kreirala karta plodnosti tla koja je pomogla poljoprivrednicima u optimizaciji gnojidbe i navodnjavanja (Bendig i sur., 2015).



Slika 2. Ova slika prikazuje pametnu poljoprivredu koja koristi tehnologije poput IoT uređaja, dronova, satelita i umjetne inteligencije (AI) za optimizaciju proizvodnje. IoT senzori na terenu prikupljaju podatke o usjevima i tlu, dok dronovi i sateliti pružaju dodatne informacije iz zraka. AI obrađuje te podatke i pomaže poljoprivrednicima u donošenju boljih odluka o upravljanju zemljištem i usjevima, čime se poboljšava prinos i smanjuju troškovi.

### **Prednosti primjene AI u poljoprivredi**

Primjena umjetne inteligencije (AI) u poljoprivredi donosi brojne prednosti koje transformiraju tradicionalne metode uzgoja i upravljanja poljoprivrednim resursima. AI omogućava preciznije i učinkovitije upravljanje resursima, povećava produktivnost, promiče održivost i omogućava brže donošenje odluka. U nastavku su detaljno opisane glavne prednosti primjene AI u poljoprivredi. Jedna od najvažnijih prednosti AI-a u poljoprivredi je sposobnost preciznog upravljanja resursima, što dovodi do povećanja produktivnosti i smanjenja troškova. Korištenje AI-a omogućava poljoprivrednicima optimizaciju upotrebu vode, gnojiva i pesticida, smanjujući tako nepotrebne troškove i povećavajući

prinose. AI sustavi koriste senzore i algoritme strojnog učenja za praćenje vlage u tlu, vremenskih uvjeta i potreba biljaka, što omogućava precizno navodnjavanje (Eli-Chukwu, 2019). Primjena AI-a može značajno smanjiti količinu potrošene vode, što je ključno u područjima s ograničenim zalihama vode. Studija koju su proveli Jiménez i sur. (2020) pokazala je da je upotreba AI-a za optimizaciju navodnjavanja smanjila potrošnju vode za više od 30%, dok je prinos usjeva povećan za 20%.

AI može analizirati podatke o tlu, vegetaciji i potrebama biljaka kako bi se odredile optimalne količine i vrste gnojiva (Akhter i Sofi., 2021). Ovim pristupom poljoprivrednici mogu smanjiti prekomjernu upotrebu gnojiva, što ne samo da smanjuje troškove nego i sprječava zagađenje okoliša. Primjena AI-a rezultirala je povećanjem prinosa u različitim usjevima, uključujući pšenicu, kukuruz i rižu, s prosječnim povećanjem prinosa od 15% do 25% (Feng i sur., 2019).

Algoritmi AI-a omogućuju poljoprivrednicima predviđanje prinosa usjeva na temelju vremenskih uvjeta, stanja tla i agronomskih praksi (Basso & Liu, 2019). To im omogućava planiranje aktivnosti poput žetve i skladištenja unaprijed, smanjujući gubitke i povećavajući učinkovitost.

### Održivost

AI igra ključnu ulogu u promicanju održive poljoprivrede, omogućujući smanjenje negativnog utjecaja poljoprivrednih aktivnosti na okoliš. Upotreba AI-a pomaže u minimiziranju upotrebe pesticida, vode i gnojiva, čime se smanjuje zagađenje i degradacija okoliša. AI sustavi za prepoznavanje i praćenje bolesti i štetnika omogućuju poljoprivrednicima da precizno cilje na područja zahvaćena štetnicima, umjesto da koriste pesticide na cijelom polju (Boulet i sur., 2019). Na taj način smanjuje se ukupna količina korištenih pesticida, što doprinosi zaštiti tla i vodnih resursa. Studija koju je proveo Barbedo (2013) pokazala je da je upotreba AI-a za praćenje štetnika rezultirala smanjenjem upotrebe pesticida za 40% bez smanjenja prinosa. Korištenje AI sustava za precizno navodnjavanje može smanjiti gubitak vode i osigurati da biljke dobivaju točno onoliko vode koliko im je potrebno. To je osobito važno u regijama s ograničenim vodenim resursima (Ojha i sur., 2015). Primjena AI-a u optimizaciji navodnjavanja smanjila je upotrebu vode za 20-40% u usporedbi s tradicionalnim metodama (Kasera i sur., 2024). AI se koristi za praćenje i analizu kvalitete tla te za optimizaciju gnojidbe, čime se sprječava prekomjerna upotreba gnojiva koja može dovesti do zagađenja tla i podzemnih voda. Precizno upravljanje gnojidbom putem AI-a može značajno smanjiti ispiranje hranjivih tvari i eroziju tla, čime se održava njegova plodnost na dugoročnoj osnovi.

### Točno i brzo donošenje odluka

AI omogućava analizu velikih količina podataka u realnom vremenu, što poljoprivrednicima pomaže u bržem i točnijem donošenju odluka. To je ključno u situacijama koje zahtijevaju brzu reakciju, kao što su izbijanja bolesti, promjene vremenskih uvjeta ili prilagodbe u upravljanju resursima. AI sustavi mogu analizirati vremenske podatke i predviđati promjene, što poljoprivrednicima omogućava prilagodbu aktivnosti poput navodnjavanja, sjetve i žetve (Kompenburg i sur., 2020). To pomaže u izbjegavanju rizika povezanih s ekstremnim vremenskim uvjetima.

Primjena AI-a u prepoznavanju bolesti usjeva omogućava poljoprivrednicima identifikaciju i pravovremenu reakciju na probleme u ranim fazama razvoja bolesti, smanjujući gubitke u prinosu (Ferentinos, 2018). Algoritmi strojnog učenja mogu analizirati slike biljaka i prepoznati znakove bolesti s visokom točnošću, često prije nego što su simptomi vidljivi golim okom. AI sustavi su u nekim slučajevima postigli točnost od 98% u prepoznavanju bolesti biljaka, što je znatno brže i preciznije od tradicionalnih metoda inspekcije (Chlingaryan i sur., 2018).

Robotski sustavi opremljeni AI-om koriste se za obavljanje zadataka kao što su plijevljenje, žetva i sadnja, što smanjuje potrebu za ručnim radom i povećava učinkovitost (Saiz-Rubio & Rovira-Más, 2020). Automatizacija omogućava poljoprivrednicima da brže reagiraju na promjene na terenu i povećaju produktivnost. Studije pokazuju da upotreba robotskih sustava u poljoprivredi može smanjiti troškove rada za 30-50% (Bechar & Vigneault, 2017).

### Izazovi i ograničenja

Iako primjena umjetne inteligencije (AI) u poljoprivredi donosi brojne prednosti, postoji niz izazova i ograničenja koja usporavaju širu primjenu ovih tehnologija. Neki od ključnih izazova uključuju prikupljanje i kvalitetu podataka, pristupačnost i troškove implementacije, te potrebu za edukacijom i prihvaćanjem novih tehnologija od strane poljoprivrednika.

Jedan od glavnih izazova u primjeni AI u poljoprivredi je prikupljanje i osiguranje kvalitete podataka. AI modeli ovise o velikim skupovima podataka za treniranje, što znači da je kvaliteta i dostupnost podataka ključna za uspješnu implementaciju. Ruralna područja često imaju ograničen pristup modernoj tehnologiji za prikupljanje podataka, što otežava dobivanje točnih i ažuriranih podataka o uvjetima tla, vremenu i usjevima (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018). Nedostatak podataka može dovesti do nepouzdanih AI modela koji nisu prilagođeni lokalnim uvjetima, čime se smanjuje njihova učinkovitost i korisnost. Za razvoj pouzdanih AI modela potrebni su kvalitetni, reprezentativni i dobro strukturirani podaci. Često se podaci prikupljaju iz različitih izvora (senzori, sateliti, dronovi), što može dovesti do nedosljednosti u kvaliteti i formatu (Chlingaryan i sur., 2018). Nepravilno ili nepotpuno prikupljanje podataka može dovesti do pogrešnih odluka i smanjene učinkovitosti AI modela (Wolfert i sur., 2017). U mnogim zemljama u razvoju, pristup tehnologiji za prikupljanje podataka je ograničen zbog visokih troškova i nedostatka infrastrukture (Fountas i sur., 2020). To stvara jaz između razvijenih i nerazvijenih poljoprivrednih sustava u smislu primjene AI tehnologija.

Implementacija tehnologija strojnog učenja (ML) i dubokog učenja (DL) u poljoprivredi zahtijeva značajna ulaganja, što predstavlja izazov za mnoge poljoprivrednike, posebno one u ruralnim ili manje razvijenim područjima. Korištenje naprednih AI alata, kao što su senzori, dronovi, sateliti i računalne platforme, može biti skupo, a mnogi poljoprivrednici si ne mogu priuštiti te troškove (Henrietta i sur., 2024). Troškovi održavanja i nadogradnje ovih tehnologija dodatno povećavaju financijski teret, čineći ih nepristupačnim za manja poljoprivredna gospodarstva (Fleming i sur., 2021). Pristup brzom internetu i električnoj energiji često je ograničen u ruralnim područjima, što otežava implementaciju AI tehnologija (Wolfert i sur., 2017). Bez odgovarajuće infrastrukture, poljoprivrednici nisu u mogućnosti u potpunosti iskoristiti potencijal AI-a. Uvođenje AI tehnologija zahtijeva edukaciju poljoprivrednika i osposobljavanje za korištenje novih alata. Međutim, nedostatak pristupa edukaciji i resursima za obuku može biti prepreka za primjenu AI tehnologija (Liakos i sur., 2018). Potrebne su kontinuirane investicije u edukaciju i tehničku podršku kako bi se poljoprivrednicima omogućilo uspješnu primjenu AI tehnologije na svojim gospodarstvima (Rijswijk i sur., 2019). Itraživanje provedeno u Australiji pokazalo je da su visoki troškovi i nedostatak pristupa AI tehnologijama glavni razlozi zašto manji poljoprivrednici izbjegavaju ulaganje u ove tehnologije (Fleming i sur., 2021).

Jedan od ključnih izazova uvođenja AI tehnologija u poljoprivredi je spremnost poljoprivrednika da prihvate i usvoje nove tehnologije. Tradicionalne poljoprivredne prakse duboko su ukorijenjene, a mnogi poljoprivrednici mogu biti skeptični prema korištenju tehnologija koje ne razumiju u potpunosti. Poljoprivrednici su često oprezni kada je riječ o promjenama u tradicionalnim praksama, posebno ako



ne vide odmah koristi ili ako smatraju da su AI tehnologije prekomplikirane (Klerkx i sur., 2019). Nedostatak povjerenja u tehnologije također može biti uzrokovan strahom od gubitka kontrole nad procesima proizvodnje (Rose i sur., 2018). Poljoprivrednici često nemaju potrebna znanja i vještine za korištenje AI tehnologija, zbog čega je nužna edukacija kako bi se povećala njihova sposobnost i povjerenje u primjenu AI-a (Liakos i sur., 2018). Nedostatak edukacijskih programa i tehničke podrške u mnogim ruralnim područjima otežava primjenu AI tehnologija u praksi (Fountas i sur., 2020). Istraživanja pokazuju da su poljoprivrednici koji su bolje informirani o prednostima AI tehnologija spremniji investirati i koristiti ih na svojim gospodarstvima (Weltzien, 2016). Međutim, u mnogim slučajevima, poljoprivrednici nisu svjesni potencijala AI-a i nisu voljni ulagati vrijeme i novac u učenje novih tehnologija (Eastwood i sur., 2019).

### **Realni primjeri implementacije ML i DL**

Stvarni primjeri iz prakse pokazuju kako se strojno učenje i duboko učenje uspješno primjenjuju u analizi tla, optimizaciji poljoprivredne proizvodnje i preciznom upravljanju resursima. Ove tehnologije omogućuju poljoprivrednicima optimizaciju upotrebu resursa, poboljšuju prinose i smanjuju negativan utjecaj na okoliš. Istovremeno, mnogi startupovi i istraživačke institucije aktivno rade na razvoju AI rješenja za poljoprivredu, što ubrzava širenje i primjenu ovih inovativnih tehnologija.

#### 1. Netafim

Netafim, izraelski lider u poljoprivrednoj tehnologiji, razvio je sustav navodnjavanja temeljen na AI koji koristi senzore za praćenje vlažnosti tla i vremenskih uvjeta, a zatim primjenjuje algoritme strojnog učenja za optimizaciju navodnjavanja (Netafim, 2021). Ovaj sustav omogućava precizno navodnjavanje u stvarnom vremenu, smanjujući potrošnju vode do 30% i povećavajući prinos za više od 15%. Optimizacija navodnjavanja rezultirala je značajnim uštedama vode, što je osobito važno u sušnim područjima kao što je Izrael (Assouline i sur., 2015).

#### 2. PlantVillage

PlantVillage, projekt vođen od strane Sveučilišta Penn State, koristi duboko učenje za prepoznavanje bolesti biljaka na temelju fotografija snimljenih pametnim telefonima (Hughes & Salathé, 2015). PlantVillage koristi konvolucijske neuronske mreže (CNN) za analizu slika i prepoznavanje bolesti s visokom točnošću. Aplikacija omogućava poljoprivrednicima diljem svijeta lakšu i bržu identifikaciju bolesti usjeva u ranoj fazi, čime se smanjuje uporaba pesticida i povećava produktivnost (Mohanty i sur., 2016). PlantVillage je dostupan u više od 60 zemalja i koristi ga više od milijun poljoprivrednika.

#### 3. Startup FarmShots

FarmShots, startup sa sjedištem u SAD-u, koristi satelitske snimke i algoritme strojnog učenja za analizu stanja usjeva i tla. Njihov sustav identificira područja s manjkom hranjivih tvari i predlaže optimalne količine gnojiva (FarmShots, 2020). Poljoprivrednici mogu pratiti zdravlje svojih usjeva u stvarnom vremenu i precizno primijeniti gnojiva, što smanjuje troškove i zagađenje okoliša. FarmShots je smanjio upotrebu gnojiva za 20% i povećao prinose za više od 10% u usporedbi s tradicionalnim metodama gnojidbe (Schimmelpennig, 2016).

#### 4. Startup Resson

Resson, kanadski startup, razvio je AI platformu koja koristi podatke prikupljene s dronova i senzora za otkrivanje štetnika i bolesti na usjevima. Algoritmi strojnog učenja analiziraju slike i podatke te pružaju poljoprivrednicima informacije o lokaciji i opsegu problema (Resson, 2021). Poljoprivrednici mogu poduzeti ciljane mjere za suzbijanje štetnika, što smanjuje upotrebu pesticida i štiti okoliš. Ressonova tehnologija omogućila je poljoprivrednicima da smanje upotrebu pesticida za 40%, što je dovelo do smanjenja troškova i zaštite okoliša (Vincent, 2018).

#### 5. IBM Watson Decision Platform for Agriculture

IBM Watson Decision Platform koristi strojno učenje i analitiku za pružanje preporuka poljoprivrednicima u vezi s navodnjavanjem, gnojidbom i zaštitom usjeva. Sustav koristi podatke o vremenskim uvjetima, satelitske slike i podatke sa senzora kako bi poljoprivrednicima pomogao u donošenju informiranih odluka (IBM, 2021). Poljoprivrednici mogu koristiti platformu za optimizaciju upravljanja svojim poljima, što dovodi do povećanja prinosa i smanjenja troškova. U jednoj studiji, korištenje IBM Watson platforme rezultiralo je povećanjem prinosa usjeva za 30% i smanjenjem upotrebe vode za 20%.

#### 6. Blue River Technology

Blue River Technology, startup iz Kalifornije, razvio je sustav "See & Spray" koji koristi računalni vid i strojnog učenja za prepoznavanje korova u poljima te cilja prskanje herbicidima samo na korov, čime se smanjuje upotreba herbicida za 90% (Blue River Technology, 2020). Ovaj sustav značajno smanjuje troškove i negativan utjecaj na okoliš.

#### 7. Prospera Technologies

Izraelski startup Prospera Technologies koristi strojno učenje za analizu slika usjeva prikupljenih iz staklenika i polja, pružajući podatke o zdravlju biljaka i optimalnom vremenu za zalijevanje i gnojidbu (Prospera Technologies, 2021).

#### 8. Sveučilište Wageningen u Nizozemskoj

Ovo sveučilište je vodeće u istraživanju primjene AI-a u poljoprivredi. Jedan od njihovih projekata je "Digital Farming", koji koristi strojno učenje za optimizaciju upravljanja poljoprivrednim resursima, kao što su voda i hranjive tvari (Wageningen University, 2021).

#### 9. AgFunder

AgFunder je globalna platforma koja podržava istraživačke projekte i startupove u poljoprivredi koristeći AI i big data tehnologije (AgFunder, 2019). AgFunder je podržao brojne inicijative koje razvijaju AI rješenja za precizno upravljanje usjevima, navodnjavanje i zaštitu biljaka.

### 10. Projekt SoilGrids

SoilGrids je globalni projekt koji koristi strojno učenje za stvaranje detaljnih karata svojstava tla na globalnoj razini (Hengl i sur., 2017). Projekt koristi podatke iz različitih izvora, uključujući laboratorijske analize tla, satelitske snimke i podatke o vremenu, kako bi generirao karte koje prikazuju fizikalna i kemijska svojstva tla na različitim dubinama. Poljoprivrednici, istraživači i donositelji odluka mogu koristiti ove karte za planiranje poljoprivrednih aktivnosti, odabir usjeva i optimizaciju gnojidbe. SoilGrids omogućava brzu i točnu procjenu stanja tla na velikim površinama, što pomaže u planiranju održivih poljoprivrednih praksi.

### 11. Projekt EOS Crop Monitoring

EOS Crop Monitoring koristi strojno učenje i satelitske podatke za praćenje usjeva u stvarnom vremenu i predviđanje prinosa (EOS Data Analytics, 2021). Platforma analizira vegetacijske indekse, meteorološke podatke i stanje tla te pruža poljoprivrednicima informacije o stanju usjeva, potrebama za navodnjavanjem i gnojidbom. Poljoprivrednici mogu koristiti ove podatke za optimizaciju upravljanja usjevima, planiranje žetve i smanjenje rizika od štetnih utjecaja vremenskih uvjeta. Ova tehnologija pomaže poljoprivrednicima da povećaju prinose za 10-15% i smanje troškove proizvodnje (EOS Data Analytics, 2021).

### 12. Projekt iUNU LUNA

iUNU je američki startup koji je razvio LUNA, AI sustav koji koristi kamere i senzore za praćenje rasta biljaka u staklenicima (iUNU, 2021). LUNA koristi strojno učenje za analizu podataka o temperaturi, vlažnosti, količini svjetla i stanju biljaka te automatski prilagođava uvjete u stakleniku kako bi se osigurao optimalan rast biljaka. Sustav omogućava precizno upravljanje staklenicima, smanjujući potrebu za ljudskim radom i povećavajući učinkovitost. Poljoprivrednici koji koriste LUNA sustav zabilježili su povećanje prinosa od 20-30% i smanjenje potrošnje resursa poput vode i energije.

### 13. Projekt DeepMind i Google Earth Engine

DeepMind, u suradnji s Google Earth Engine, razvio je model dubokog učenja za predviđanje vlažnosti tla na temelju satelitskih podataka (Google Earth Engine, 2021). Model koristi podatke prikupljene sa satelita Sentinel-1 i Sentinel-2 za analizu vlažnosti tla na globalnoj razini. Poljoprivrednici mogu koristiti ove podatke za optimizaciju navodnjavanja, čime se štedi voda i smanjuje trošak proizvodnje. Ovaj projekt omogućava preciznije upravljanje vodom na poljoprivrednim zemljištima i pomaže u borbi protiv suše u poljoprivrednim regijama.

### 14. Projekt Xarvio™ Digital Farming Solutions

Xarvio™ Digital Farming Solutions, projekt koji je pokrenula tvrtka BASF, koristi strojno učenje i analitiku za pružanje preciznih preporuka poljoprivrednicima o vremenu sadnje, gnojidbi i zaštiti usjeva (BASF, 2021). Xarvio™ platforma analizira podatke sa senzora, satelitske slike, vremenske podatke i povijesne informacije o usjevima kako bi pružila prilagođene savjete poljoprivrednicima. Platforma

pomaže poljoprivrednicima prilikom optimizaciji korištenja resursa kao što su voda, gnojiva i pesticidi, omogućujući preciznije upravljanje poljima. Poljoprivrednici koji koriste Xarvio™ zabilježili su povećanje prinosa do 10% i smanjenje upotrebe gnojiva i pesticida za 20-30%.

### 15. Projekt Deepfield Robotics

Deepfield Robotics, podružnica njemačkog koncerna Bosch, razvila je AI sustav za automatizirano prepoznavanje i uklanjanje korova pomoću robota opremljenih kamerama i senzorima (Bosch, 2021). Sustav koristi algoritme dubokog učenja za razlikovanje korova od usjeva u stvarnom vremenu te cilja samo korove, čime se smanjuje upotreba herbicida. Robotski sustav može autonomno prolaziti kroz polja, prepoznati korov i ukloniti ga ili primijeniti herbicide samo tamo gdje je to potrebno. Ovaj sustav može smanjiti upotrebu herbicida za više od 90%, značajno smanjujući troškove i negativan utjecaj na okoliš.

### **Budućnost AI u poljoprivredi**

Primjena umjetne inteligencije (AI) u poljoprivredi ubrzano se razvija i obećava transformirati sektor na globalnoj razini. Očekuje se da će AI igrati ključnu ulogu u budućim inovacijama, pružajući poljoprivrednicima napredne alate za održivo upravljanje resursima, povećanje prinosa i prilagodbu klimatskim promjenama. U nastavku su opisane ključne inovacije koje će oblikovati budućnost AI-a u poljoprivredi te kako će pridonijeti održivom upravljanju prirodnim resursima i prehrani rastuće svjetske populacije.

Jedan od najvažnijih pravaca razvoja AI u poljoprivredi je primjena autonomnih sustava za obradu tla, sadnju i žetvu. Autonomni traktori i poljoprivredni strojevi opremljeni AI-om i računalnim vidom već se koriste za preciznu obradu tla, sadnju i žetvu usjeva bez potrebe za ljudskom intervencijom (Bechar & Vigneault, 2017). AI algoritmima koji omogućuju samostalno obrađivanje tla i sadnju usjeva (John Deere, 2020). Ovi sustavi mogu obraditi velika poljoprivredna područja s visokom razinom preciznosti i učinkovitosti, što smanjuje troškove rada i povećava produktivnost. Korištenje autonomnih sustava omogućava poljoprivrednicima u preciznijoj obradi tla, smanjujući potrošnju goriva i emisiju stakleničkih plinova, što doprinosi održivijoj poljoprivredi (Reddy i sur., 2021).

Klimatske promjene predstavljaju veliki izazov za poljoprivredu, ali AI tehnologije mogu pomoći poljoprivrednicima u prilagodbi promjenjivim uvjetima. Algoritmi strojnog učenja koriste se za analizu povijesnih podataka o klimatskim obrascima i predviđanje budućih promjena, što omogućava poljoprivrednicima prilagodbu svoje prakse kako bi izbjegli negativne utjecaje (Malik i sur., 2023). AI modeli mogu predvidjeti suše, poplave i ekstremne vremenske uvjete te pružiti preporuke za optimalno vrijeme sjetve i žetve. Na primjer, sustav Watson Decision Platform for Agriculture koristi podatke o vremenu i strojnog učenja za predviđanje klimatskih promjena i preporučuje strategije poljoprivrednicima za prilagodbu (IBM, 2021). Predviđanje klimatskih promjena pomaže poljoprivrednicima minimizaciju rizika, povećaju otpornost na klimatske promjene i osiguraju održivu proizvodnju hrane.

Pametna poljoprivreda (eng. smart farming) predstavlja budućnost poljoprivrede, a AI je ključna komponenta ove transformacije. Pametna poljoprivreda koristi AI, Internet stvari (eng. *internet of things*, IoT), senzore i big data za automatizaciju i optimizaciju različitih poljoprivrednih operacija, uključujući navodnjavanje, gnojidbu i zaštitu usjeva (Wolfert i sur., 2017). Jedan od vodećih projekata

pametne poljoprivrede je Smart Agri-Farm, koji koristi AI za praćenje rasta usjeva, upravljanje navodnjavanjem i gnojidbom, te optimizaciju prinosa na temelju podataka prikupljenih sa senzora i dronova (Kamilaris i sur., 2019). Integracija AI u pametne poljoprivredne prakse omogućava precizno upravljanje resursima, što smanjuje troškove i povećava učinkovitost, dok istovremeno smanjuje negativan utjecaj na okoliš.

Održivost je jedan od ključnih ciljeva moderne poljoprivrede, a AI može značajno doprinijeti postizanju tog cilja kroz optimizaciju upravljanja resursima i smanjenje otpada. AI omogućava precizno praćenje potreba biljaka i tla, čime se smanjuje upotreba resursa kao što su voda, gnojiva i pesticidi (Liakos i sur., 2018). Na primjer, sustavi navodnjavanja temeljeni na AI tehnologiji mogu osigurati točnu količinu vode koju biljke trebaju, smanjujući potrošnju vode do 50% u usporedbi s tradicionalnim metodama navodnjavanja (Eli-Chukwu, 2019). AI sustavi za upravljanje gnojidbom analiziraju podatke o tlu, vremenskim uvjetima i potrebama biljaka kako bi odredili optimalne količine gnojiva, čime se smanjuje ispiranje hranjivih tvari u podzemne vode i smanjuje zagađenje. Korištenje AI-a za upravljanje resursima može pomoći poljoprivrednicima da smanje troškove, povećaju prinose i zaštite okoliš. Procjenjuje se da će globalna populacija doseći 9,7 milijardi ljudi do 2050. godine, što će zahtijevati povećanje proizvodnje hrane za 70% (FAO, 2017). AI može pomoći u postizanju ovog cilja optimizacijom poljoprivredne proizvodnje i povećanjem prinosa. Algoritmi strojnog učenja omogućuju predviđanje prinosa usjeva na temelju podataka o uvjetima tla, klimatskim uvjetima i agrotehničkim mjerama, što pomaže poljoprivrednicima da unaprijed planiraju aktivnosti i optimiziraju proizvodnju (Basso & Liu, 2019). AI može povećati produktivnost usjeva za 20-30%, čime se osigurava dovoljna količina hrane za rastuću populaciju (Henrietta i sur., 2024).

AI tehnologije također mogu pomoći u očuvanju bioraznolikosti i održavanju zdravih ekosustava. Korištenje AI za preciznu primjenu pesticida, herbicida i gnojiva smanjuje negativan utjecaj na ne ciljane organizme i okoliš (Eastwood i sur., 2019). Sustavi AI-a mogu analizirati interakcije između biljaka, tla i okoliša te pružiti preporuke za poljoprivredne prakse koje podržavaju očuvanje bioraznolikosti i zdravlje tla. Ovi pristupi pomažu u održavanju ekološke ravnoteže i osiguravaju dugoročnu održivost poljoprivrede.

## Zaključak

Primjena strojnog i dubokog učenja u poljoprivredi donosi revoluciju u načinu na koji razumijemo i upravljamo poljoprivrednim procesima. Kroz analizu velike količine podataka prikupljenih putem senzora, satelitskih snimki i dronova, ove tehnologije omogućuju preciznije upravljanje resursima, optimizaciju proizvodnje i održivo korištenje prirodnih resursa. Algoritmi strojnog učenja i dubokog učenja postaju ključni alati za predviđanje prinosa, prepoznavanje bolesti i štetnika, te prilagođavanje navodnjavanja i gnojidbe u stvarnom vremenu, čime se povećava produktivnost i smanjuje negativan utjecaj na okoliš.

U budućnosti se očekuje daljnji razvoj autonomnih sustava u poljoprivredi, pametne poljoprivrede temeljene na AI-u, te primjena AI tehnologija u prilagodbi klimatskim promjenama. Unatoč izazovima poput visokih troškova implementacije i potrebe za edukacijom poljoprivrednika, umjetna inteligencija nudi značajan potencijal za transformaciju poljoprivrednog sektora prema održivijoj, produktivnijoj i učinkovitijoj praksi. Ovi inovativni pristupi omogućit će nam pronalaženje rješenja na rastuće zahtjeve za proizvodnjom hrane, istovremeno smanjujući pritisak na okoliš i osiguravajući dugoročnu održivost poljoprivrednih resursa.



Literatura:

1. AgFunder. (2019). *AgFunder Agrifood Tech Investing Report*. <https://agfunder.com>
2. Ahumada, O., Villalobos, J. R., & Munoz-Carpena, R. (2020). Smart agriculture: An information and communication technology approach for efficient resource management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169, 105246. doi:10.1016/j.compag.2020.105246
3. Akhter R, Shabir Ahmad Sofi. Precision agriculture using IoT data analytics and machine learning. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. 2021;34(8):5602-5618. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.05.013>
4. Alpaydin, E. (2020). *Introduction to Machine Learning* (4th ed.). MIT Press.
5. Assouline, S., Russo, D., Silber, A., & Or, D. (2015). Balancing water scarcity and quality for sustainable irrigated agriculture. *Water Resources Research*, 51(5), 3419-3436. [doi.org/10.1002/2015WR017071](https://doi.org/10.1002/2015WR017071)
6. Attri I., Awasthi L. K., Sharma T. P., Rathee P. (2023). A review of deep learning techniques used in agriculture. *Ecological Informatics*, 77, 102217–102217. doi:10.1016/j.ecoinf.2023.102217
7. Barbedo, J. G. A. (2013). Digital image processing techniques for detecting, quantifying and classifying plant diseases. *SpringerPlus*, 2(1), 660. doi:10.1186/2193-1801-2-660
8. Basso, B., & Liu, L. (2019). The future of agriculture: Combining crop modeling and artificial intelligence. *European Journal of Agronomy*, 107, 82-90. doi:10.1016/j.eja.2019.05.015
9. Bechar, A., & Vigneault, C. (2017). Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*, 149, 94-111. doi:10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014
10. Bendig, J., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Eichhorn, K., & Bareth, G. (2015). Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 39, 79-87. doi:10.1016/j.jag.2015.02.012
11. Blue River Technology. (2020). *See & Spray Technology*. <https://www.bluerivertechnology.com>
12. Boulent, J., Foucher, S., Théau, J., & St-Charles, P. L. (2019). Convolutional neural networks for the automatic identification of plant diseases. *Frontiers in Plant Science*, 10, 941. doi:10.3389/fpls.2019.00941
13. Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The Nature and Properties of Soils* (15th ed.). Pearson.
14. Cai Y, Zheng W, Zhang X, Zhangzhong L, Xue X (2019) Research on soil moisture prediction model based on deep learning. *PLOS ONE* 14(4): e0214508. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214508>
15. Chlingaryan, A., Sukkarieh, S., & Whelan, B. (2018). Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151, 61–69. doi:10.1016/j.compag.2018.05.012
16. Chung J., Lee Y., Kim J., Jung C. Kim S. (2022) Soil Moisture Content Estimation Based on Sentinel-1 SAR Imagery Using an Artificial Neural Network and Hydrological Components. *Remote Sensing*, 14(3), 465 doi:10.3390/rs14030465
17. Drusch, M., Bello, U. D., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., ... & Del Bello, U. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25-36. doi:10.1016/j.rse.2011.11.026

18. Eastwood, C., Klerkx, L., Ayre, M., & Dela Rue, B. (2019). Managing socio-technical innovation dilemmas in the digital age: Aligning smart farming and smallholder farmer inclusion. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90-91, 100294. doi:10.1007/s10806-017-9704-5
19. Eli-Chukwu, N. C. (2019). Applications of artificial intelligence in agriculture: A review. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 9(4), 4377-4383. doi:10.48084/etasr.2756
20. EOS Data Analytics. (2021). *EOS Crop Monitoring*. <https://eos.com/products/crop-monitoring/>
21. FAO. (2017). *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
22. FarmShots. (2020). *Satellite Imagery for Precision Agriculture*. <https://www.farmshots.com>
23. Feng Q, Gong J, Liu J, Li Y. Monitoring Cropland Dynamics of the Yellow River Delta based on Multi-Temporal Landsat Imagery over 1986 to 2015. *Sustainability*. 2015; 7(11):14834-14858. <https://doi.org/10.3390/su71114834>
24. Feng, Q., Liu, J., & Gong, J. (2019). UAV remote sensing for urban vegetation mapping using random forest and texture analysis. *Remote Sensing*, 11(1), 14. doi:10.3390/rs70101074
25. Ferentinos, K. P. (2018). Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145, 311-318. doi:10.1016/j.compag.2018.01.009
26. Fleming A., Jakku E., Fielke S., Taylor B. M., Lacey J., Terhost A., Stitzlein C. (2021) Foresighting Australian digital agricultural futures: Applying responsible innovation thinking to anticipate research and development impact under different scenarios. *Agricultural Systems Volume 190*, 103120. doi:10.1016/j.agsy.2021.103120
27. Foth, H. D., & Ellis, B. G. (1997). *Soil Fertility* (2nd ed.). CRC Press.
28. Fountas, S., Carli, G., Sørensen, C. G., Tsiropoulos, Z., Cavalaris, C., Vatsanidou, A., ... & Vangeyte, J. (2020). Farm management information systems: Current situation and future perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105248. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.05.011>
29. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
30. Google Earth Engine. (2021). *Google Earth Engine and DeepMind - Predicting Soil Moisture*. <https://earthengine.google.com/>
31. Guerri M. F., Distante C., Spagnolo P., Bougourzi F., Taleb-Ahmed, Abdelmalik (2024) Deep learning techniques for hyperspectral image analysis in agriculture: A review. *ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing Volume 12*, 100062. doi:10.1016/j.ophoto.2024.100062
32. Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction* (2nd ed.). Springer.
33. Hengl, T., Heuvelink, G. B. M., & Kempen, B. (2017). SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE*, 12(2), e0169748. doi:10.1371/journal.pone.0169748
34. Henrietta H. M., Artificial intelligence in agriculture: a review of current applications and future trends, *Futuristic Trends in Agriculture Engineering & Food Sciences Volume 3 Book 11, IIP Series, Volume 3, May, 2024, Page no.1-6, e-ISBN: 978-93-5747-553-2, doi:10.58532/V3BCAG11P1CH1*
35. Hillel, D. (2008). *Soil in the Environment: Crucible of Terrestrial Life*. Academic Press.
36. <https://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/472484/>

37. Hughes, D. P., & Salathé, M. (2015). An open access repository of images on plant health to enable the development of mobile disease diagnostics through machine learning and crowdsourcing. *Plant Pathology*, 64(1), 154-162. doi:10.1111/ppa.12344
38. IBM. (2021). *IBM Watson Decision Platform for Agriculture*. <https://www.ibm.com/watson/agriculture>
39. iUNU. (2021). *LUNA: Artificial Intelligence for Horticulture*. <https://www.iunu.com>
40. Jahromi M. N., Zand-Parsa S., Razzghi S., Jamshidi S., Didari S., Doosthosseini A., Pourghasemi H. R., Developing machine learning models for wheat yield prediction using ground-based data, satellite-based actual evapotranspiration and vegetation indices. *European Journal of Agronomy Volume 146, May 2023, 126820*, doi:10.1016/j.eja.2023.126820
41. James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning*. Springer.
42. Jiménez A., Cárdenas P., Jiménez F., (2022) Intelligent IoT-multiagent precision irrigation approach for improving water use efficiency in irrigation systems at farm and district scales
43. John Deere. (2020). *Autonomous Tractors and AI Solutions*. <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/autonomous-tractors/>
44. Jordan, M. I., & Mitchell, T. M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. *Science*, 349(6245), 255-260. doi:10.1126/science.aaa8415
45. Kamal KC, Zhendong Y, Mingyang Wu, Zhilu Wu, (2019) Depthwise separable convolution architectures for plant disease classification. *Computer and Electronics in Agriculture, Volume 165, 104948*. doi:10.1016/j.compag.2019.104948
46. Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70-90. doi:10.1016/j.compag.2018.02.016
47. Kamilaris, A., Kartakoullis, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 128-139. doi:10.1016/j.compag.2017.09.037
48. Kasera R.K., Gour S., Acharjee T. (2024) A comprehensive survey on IoT and AI based applications in different pre-harvest, during-harvest and post-harvest activities of smart agriculture *Computers and Electronics in Agriculture, Volume 216, 2024, 108522, ISSN 0168-1699*, doi:10.1016/j.compag.2023.108522
49. Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90-91, 100315. doi:10.1016/j.njas.2019.100315
50. Klompenburg T. Kassahun A., Catal C., (2020) Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review. *Computers and Electronics in Agronomy Volume 177, 105709*. doi:10.1016/j.compag.2020.105709
51. Kussul, N., Lavreniuk, M., Skakun, S., & Shelestov, A. (2017). Deep learning classification of land cover and crop types using remote sensing data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(5), 778-782. doi:10.1109/LGRS.2017.2681128
52. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1-2), 1-22. doi:10.1016/j.geoderma.2004.01.032
53. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444. doi:10.1038/nature14539

54. Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674. doi:10.3390/s18082674
55. Ma L., Liu Y., Zhang X., Ye Y., Yin G., Johnson B. A., (2019) Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 152, June 2019, Pages 166-177* doi:10.1016/j.isprsjprs.2019.04.015.
56. Maggiori, E., Charpiat, G., Tarabalka, Y., & Alliez, P. (2016). Recurrent Neural Networks to Correct Satellite Image Classification Maps. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55, 4962-4971.
57. Malik I, Ahmed M, Gulzar Y, et al. Estimation of the Extent of the Vulnerability of Agriculture to Climate Change Using Analytical and Deep-Learning Methods: A Case Study in Jammu, Kashmir, and Ladakh. *Sustainability*. 2023;15(14):11465. doi:<https://doi.org/10.3390/su151411465>
58. Mohanty, S. P., Hughes, D. P., & Salathé, M. (2016). Using deep learning for image-based plant disease detection. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1419. doi:10.3389/fpls.2016.01419
59. Murphy, K. P. (2012). *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*. MIT Press.
60. Netafim. (2021). *Precision Irrigation for Agriculture*. <https://www.netafim.com>
61. Ojha, T., Misra, S., & Raghuvanshi, N. S. (2015). Wireless sensor networks for precision agriculture: A comprehensive review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 66-84. doi:10.1016/j.compag.2015.08.0111
62. Park SH, Lee BY, Kim MJ, et al. Development of a Soil Moisture Prediction Model Based on Recurrent Neural Network Long Short-Term Memory (RNN-LSTM) in Soybean Cultivation. *Sensors*. 2023;23(4):1976. doi:<https://doi.org/10.3390/s23041976>
63. Phang S. K. , Chiang T. H. A. , Happonen A., Chang M. M. L. , From Satellite to UAV-Based Remote Sensing: A Review on Precision Agriculture, *IEEE Access*, vol. 11, pp. 127057-127076, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3330886.
64. Phiri D, Simwanda M, Salekin S, Nyirenda VR, Murayama Y, Ranagalage M. Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review. *Remote Sensing*. 2020; 12(14):2291. <https://doi.org/10.3390/rs12142291>
65. Poonia R. C., Gao X., Raja L. (2018). *Smart Farming Technologies for Sustainable Agricultural Development.*, Engineering Science Reference, ISBN-10-152588167
66. Prospera Technologies. (2021). *AI-powered solutions for precision agriculture*. <https://www.prospera.ag>
67. Rahman S. A. Z., Mitra K. C. and Islam S. M. M., Soil Classification Using Machine Learning Methods and Crop Suggestion Based on Soil Series 2018 21st International Conference of Computer and Information Technology (ICCIT), Dhaka, Bangladesh, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICCITECHN.2018.8631943.
68. Resson. (2021). *Predictive analytics for agriculture*. <https://www.resson.com>
69. Rijswijk K, Laurens Klerkx, Bacco M, et al. Digital transformation of agriculture and rural areas: A socio-cyber-physical system framework to support responsabilisation. *Journal of Rural Studies*. 2021;85:79-90. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.05.003>
70. Rose, D. C., Wheeler, R., Winter, M., Lobley, M., & Chivers, C. A. (2018). Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet. *Land Use Policy*, 81, 718-730. doi:10.1016/j.landusepol.2020.104933
71. Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Agronomy*, 10(2), 207. doi:10.3390/agronomy10020207

72. Schimmelpfennig, D. (2016). Precision Agriculture in the Digital Era: Recent Adoption on U.S. Farms. *United States Department of Agriculture Economic Research Service*, EIB-153. <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=83077>, doi:10.22004/ag.econ.333550
73. Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*, 61, 85-117. doi:10.1016/j.neunet.2014.09.003
74. Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement Learning: An Introduction* (2nd ed.). MIT Press.
75. Tangesalu D, Tieknik R.T. E., Tooy D., Judijanto L. (2023) Precision Agriculture: Integrating Technology for Enhanced Efficiency and Sustainability in Crop Management, *Global International Journal of Innovative Research* 1(3):213-219 doi: 10.59613/global.v1i3.37
76. Teshome F.T., Bayabil H.K., Schaffer B., Yiannis Ampatzidis, Hoogenboom G. Improving soil moisture prediction with deep learning and machine learning models. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024;226:109414-109414. doi:10.1016/j.compag.2024.109414
77. Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information*, 10(11), 349. doi:10.3390/info10110349
78. Vincent, J. (2018). How Reson is helping potato farmers use AI to stop their crops dying. *The Verge*. <https://www.theverge.com>
79. Wageningen University & Microsoft. (2020). *Collaboration for AI in Agriculture*. <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Research-Institutes/Environmental-Research/Projects/Collaboration-with-Microsoft.htm>
80. Wageningen University. (2021). *Digital Farming Research*. <https://www.wur.nl>
81. Weltzien, C. (2016). Digital agriculture – or why agriculture 4.0 still offers only modest returns. *Landtechnik*, 71(2), 66-68. doi:10.15150/lt.2016.3135
82. Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80. doi:10.1016/j.agsy.2017.01.023
83. Zhang X., Xue J., Chen S., Wang N., Shi Z., Huang Y., Zhuo Z. (2022) Digital Mapping of Soil Organic Carbon with Machine Learning in Dryland of Northeast and North Plain China. *Remote Sensing* 14(10), 2504 . doi:10.3390/rs14102504

Dr. sc. Domagoj K. Hackenberger,

Dr. Sc. Tamara Đerđ,

Prof. dr. sc. Branimir K. Hackenberger



## Daljinska mjerenja fotosintetske aktivnosti

### Uvod

Fotosinteza je ključan biološki proces na Zemlji, kojim zelene biljke, alge i neki mikroorganizmi koriste energiju sunčeve svjetlosti za pretvaranje ugljikova dioksida i vode u kisik i organske spojeve, poput glukoze. Kroz fotosintezu, biljke proizvode neophodne ugljikohidrate koji osiguravaju energiju za njihov rast i razvoj, dok u atmosferu otpuštaju kisik, čineći ga dostupnim za disanje svih aerobnih organizama (Taiz & Zeiger, 2015). Fotosinteza je temelj globalnog ekosustava i života na Zemlji, jer biljke zauzimaju ključnu ulogu u hranidbenim lancima i ciklusu ugljika (Lambers i sur., 2008).

U poljoprivredi, razumijevanje fotosintetske aktivnosti može pomoći u optimizaciji proizvodnje usjeva. Praćenje promjena u fotosintetskoj aktivnosti omogućava pravovremenu intervenciju, kao što je poboljšanje navodnjavanja ili primjene gnojiva, što dovodi do povećanja prinosa (Jones, 1999; 2014a). U ekologiji, fotosintetska aktivnost biljaka ključna je za praćenje zdravlja ekosustava, jer fluktuacije u fotosintetskoj aktivnosti mogu ukazivati na stres uzrokovan okolišnim promjenama kao što su suša ili onečišćenje (Zhu i sur., 2016). Klimatske znanosti koriste podatke o fotosintetskoj aktivnosti za procjenu sposobnosti ekosustava da sekvstriraju ugljik i odgovore na promjene u klimatskim uvjetima (Ciais i sur., 2013).

Daljinska mjerenja (engl. *remote sensing*) obuhvaćaju tehnologije za prikupljanje podataka o Zemljinoj površini i vegetaciji s pomoću senzora koji se nalaze na udaljenosti, najčešće na satelitima, bespilotnim letjelicama (dronovima) ili avionima. Ovi senzori mjere refleksiju sunčeve svjetlosti ili emitiranu energiju iz biljaka i drugih površina. Biljke apsorbiraju određene valne duljine svjetlosti tijekom fotosinteze, dok druge reflektiraju, što omogućava senzorskim sustavima da detektiraju različite aspekte vegetacijskog zdravlja, uključujući fotosintetsku aktivnost (Zarco-Tejada i sur., 2013). Daljinska mjerenja omogućavaju neinvazivno praćenje vegetacije na velikim površinama, čime se eliminira potreba za fizičkim uzorkovanjem ili mjerenjem. Korištenjem različitih spektralnih indeksa, kao što su *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) i *Photochemical Reflectance Index* (PRI), moguće je odrediti razinu fotosintetske aktivnosti i zdravlja biljaka, te identificirati područja koja su podložna stresu ili imaju slab rast (Gamon i sur., 1997).

Temeljni cilj daljinskih mjerenja je omogućiti kontinuirano praćenje zdravlja biljaka i njihovih ekosustava na globalnoj razini, uz minimalnu intervenciju i troškove. Praćenje fotosintetske aktivnosti kroz daljinska mjerenja omogućava precizno praćenje poljoprivrednih kultura, što može pomoći poljoprivrednicima da donesu informirane odluke o navodnjavanju, gnojidbi i zaštiti usjeva od bolesti ili štetnika (Schlemmer i sur., 2013). U ekologiji, ova tehnologija je ključna za otkrivanje promjena u vegetacijskim pokrovu, uključujući utjecaje klimatskih promjena, deforestaciju i degradaciju zemljišta (Running i sur., 2004). Daljinska mjerenja također omogućavaju znanstvenicima praćenje globalnog ciklusa ugljika i hranjivih tvari kroz procjene fotosintetsku aktivnost šuma, travnjaka i poljoprivrednih zemljišta. Ova metoda postaje sve važnija u vremenu kada su klimatske promjene značajan globalni izazov, jer precizno praćenje ekosustava omogućava procjene utjecaja klimatskih promjena na sposobnost vegetacije da sekvstrira ugljik i osigura stabilnost ekosustava (Ciais i sur., 2013).

## Fotosintetska aktivnost i važnost njezina praćenja

Fotosinteza je najveći sintetski proces na Zemlji, a fotosintetski organizmi godišnje fiksiraju oko  $1,06 \times 10^{14}$  kg (106 milijardi tona) ugljika u organske spojeve (neto primarna produktivnost). To čini oko 1% poznatih svjetskih rezervi fosilnih goriva (ugljen, plin i nafta) ili deset puta više od trenutne svjetske godišnje potrošnje energije. Izvor ugljika u procesu fotosinteze je 0,04% CO<sub>2</sub> prisutnog u zraku (oko  $8 \times 10^{14}$  kg ugljika), kao i CO<sub>2</sub> otopljen u jezerima i oceanima (oko  $400 \times 10^{14}$  kg ugljika). Osim organskih spojeva, fotosintezom nastaje još jedan neophodan produkt za sve aerobne organizme – kisik (O<sub>2</sub>). Trenutnom brzinom, cjelokupni atmosferski sadržaj kisika obnavlja se fotosintezom svakih 2000 godina (Nobel, 2020). Fotosinteza obuhvaća niz koraka koji djeluju s izuzetno visokom učinkovitošću: apsorpcija svjetlosti u antenskom sustavu fotosintetskog aparata, primarni prijenos elektrona u reakcijskim centrima, stabilizacija energije sekundarnim procesima kroz stvaranje NADPH i ATP-a te biokemijske reakcije asimilacije CO<sub>2</sub> u organske spojeve (Stirbet i sur., 2020).

Asimilacija ugljika fotosintezom ključan je proces u metabolizmu biljaka, a na nju značajno utječu uvjeti okoline. U prirodnim uvjetima, opstanak svakog organizma u ekosustavu ovisi o njegovoj sposobnosti prilagodbe okolini. Kada biljke rastu u optimalnim uvjetima, njihovu produktivnost određuje učinkovitost fotosintetskog aparata. Međutim, u promjenjivom okolišu, biljke prilagođavaju svoj metabolizam kako bi se nosile s okolišnim stresom i održale ravnotežu između proizvodnje i potrošnje energije (Scheibe, 2019).

Fotosintetski aparat dizajniran je za apsorpciju velikih količina svjetlosne energije i njezinu pretvorbu u kemijsku energiju. Na molekularnoj razini, energija fotona može biti štetna, osobito u nepovoljnim uvjetima. Višak svjetlosne energije može uzrokovati stvaranje reaktivnih vrsta kisika, poput superoksida, singletnog kisika i peroksida. Ako se svjetlosna energija ne rasprši na siguran način, prekomjerna ekscitacija koja dolazi do reakcijskog centra fotosustava može dovesti do njegove inaktivacije i oštećenja, poznatog kao fotoinhibicija (Taiz & Zeiger, 2015). Dinamička fotoinhibicija događa se svakodnevno kada je list izložen visokim razinama svjetlosti. Tada se kvantni prinos smanjuje, ali stopa fotosinteze ostaje nepromijenjena jer se apsorbirana energija usmjerava prema fotoprotektivnom rasipanju topline. Međutim, fotoinhibicija postaje izraženija na niskim temperaturama, a kronična u ekstremnim klimatskim uvjetima kada zbog nemogućnosti fotoprotekcije dovodi do oštećenja fotosintetskog aparata, smanjenja kvantnog prinosa i smanjenja maksimalne stope fotosinteze (Taiz & Zeiger, 2015).

Fotokemijske reakcije u tilakoidnim membranama i metabolizam ugljika u stromi kloroplasta primarna su mjesta oštećenja zbog toplinskog stresa uzrokovanog niskim ili visokim temperaturama (Yang i sur., 2009; Mathur i sur., 2014). Nedostatak vode negativno utječe na fotosintetsku aktivnost jer su molekule vode donori elektrona u fotosintetskom transportnom lancu elektrona. Čak i blagi nedostatak vode uzrokuje zatvaranje puči (stoma), što smanjuje neto fotosintezu kako bi se spriječio daljnji gubitak vode. No, zatvaranje puči smanjuje opskrbu ribuloza-1,5-bisfosfat karboksilaze/oksigenaze ugljikovim dioksidom, favorizirajući njezinu oksigenaznu aktivnost. Nemogućnost korištenja svjetlosne energije uzrokuje neravnotežu u lancu transporta elektrona (Foyer i sur., 2012), povećava proizvodnju reaktivnih vrsta kisika (Miller i sur., 2010), utječe na omjer fotosintetskih pigmenata u antenskim sustavima (Li & Kim, 2022) te dovodi do dezorganizacije tilakoidnih membrana kloroplasta (Zhu i sur., 2021).

Nedostatak hranjivih tvari također utječe na strukturu i funkciju fotosintetskog aparata, uglavnom ometanjem sinteze ključnih fotosintetskih komponenti. Primjerice, na sintezu klorofila izravno utječu

nedostatak dušika, magnezija i željeza (Huang i sur., 2004; Jin i sur., 2015; Samborska i sur., 2018), dok dušik, željezo i sumpor izravno utječu na sintezu proteinskih komponenti fotosintetskog aparata (D'Hooghe i sur., 2013). Kalcij i kalij su ključni za stabilizaciju membrana i staničnu signalizaciju (Rampino i sur., 2006), a kalcij je također važan za funkcioniranje kisik razvijajućeg kompleksa, reakcijskih centara fotosustava i transport elektrona (Hussein i sur., 2009). Na fotosintezu utječe i nedostatak fosfora, uglavnom neizravno, usporavanjem proizvodnje ATP-a i NADPH (Wu i sur., 2006; Xu i sur., 2007). Nedostatak hranjivih tvari ne samo da izravno utječe na strukturu i funkciju fotosintetskog aparata, već i smanjuje potražnju za fotoasimilatima, što dovodi do smanjenja rasta i akumulacije biomase (Lu i sur., 2001).

U prisutnosti dovoljne količine svjetlosti, veće koncentracije CO<sub>2</sub> potiču veću stopu fotosinteze. Međutim, izravan učinak povećanja koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi, uz zanemarivanje popratnih čimbenika poput promjena temperature zraka, dostupnosti vode, hranjivih tvari i drugih uvjeta, rezultira povećanjem koncentracije CO<sub>2</sub> u međustaničnim prostorima. To dovodi do smanjenja otvaranja puči i smanjene transpiracije. Biljke tu promjenu djelomično kompenziraju povećanjem temperature lista, što pospješuje gubitak vode. Kod udvostručenja razine CO<sub>2</sub> u atmosferi, transpiracija bi se mogla smanjiti za 25 do 40%. Također se očekuje da bi udvostručenje razine CO<sub>2</sub> u atmosferi moglo podići trenutnu stopu fotosinteze kod C3 biljaka (koje čine 95% svih biljaka) za 30 do 60%, dok bi utjecaj na C4 biljke (manje od 1% biljaka, ali sa značajnim doprinosom globalnoj primarnoj produkciji od 20%) bio minimalan (Nobel, 2020).

Praćenje fotosintetske aktivnosti ključno je za razumijevanje zdravlja biljaka, procjenu poljoprivrednih prinosa i ocjenu stanja ekosustava. Fotosintetska aktivnost biljaka odražava njihovu prilagodbu promjenjivim okolišnim uvjetima i može pružiti rane indikacije stresa uzrokovanog sušom, nedostatkom hranjivih tvari, bolestima ili napadima štetnika (Jones, 2014b). U poljoprivredi, praćenje fotosintetske aktivnosti omogućuje optimiziranje korištenja resursa, što može poboljšati prinos i kvalitetu usjeva. Osim toga, različiti podaci o fotosintezi mogu pomoći u prepoznavanju ranih znakova bolesti, omogućavajući pravovremene intervencije i smanjenje gubitaka (Schlemmer i sur., 2013).

U ekološkom kontekstu, praćenje fotosintetske aktivnosti ključan je alat za razumijevanje dinamike ciklusa ugljika i sposobnosti vegetacije za sekvencijaciju ugljika. Klimatske promjene mogu značajno utjecati na fotosintezu i produktivnost biljaka, što ima dalekosežne posljedice za globalne ekosustave (Ciais i sur., 2013). Podaci o fotosintetskoj aktivnosti mogu se koristiti i za praćenje promjena u vegetacijskom pokrovu, omogućujući prepoznavanje područja pogođenih deforestacijom i degradacijom tla, te pružaju osnovu za ocjenu učinkovitosti mjera očuvanja okoliša (Running i sur., 2004).

### **Temeljni principi daljinskih mjerenja**

Biljke apsorbiraju, reflektiraju i emitiraju energiju kroz elektromagnetski spektar, što omogućuje njihovo praćenje s pomoću daljinskih senzora. Različiti dijelovi spektra, poput vidljive svjetlosti i bliskog infracrvenog (NIR) područja, pružaju ključne informacije o stanju biljaka i njihovoj fotosintetskoj aktivnosti. Klorofil u biljkama apsorbira svjetlost prvenstveno u crvenom (oko 680 nm) i plavom (oko 450 nm) dijelu spektra, dok reflektira zelenu svjetlost (Taiz & Zeiger, 2015). Međutim, biljke također snažno reflektiraju svjetlost u bliskom infracrvenom dijelu spektra (700-1300 nm), što je ključna karakteristika za daljinska mjerenja.

Refleksija u bliskom infracrvenom spektru povezana je s unutarnjom strukturom lista, posebno s međustaničnim prostorima. Zdrave biljke reflektiraju više NIR svjetlosti zbog svoje očuvane strukture, dok stresirane ili oštećene biljke reflektiraju manje NIR svjetlosti jer im je struktura lista narušena (Gamon i sur., 1997). Mjerenjem refleksije u tim dijelovima spektra, istraživači mogu precizno procijeniti stanje vegetacijskog pokrova i zdravlje biljaka.

U daljinskim mjerenjima dostupno je nekoliko signala za otkrivanje fiziološkog statusa biljaka. Indeksi vegetacije temelje se na omjerima reflektiranih valnih duljina kako bi se kvantificirala fotosintetska aktivnost, sadržaj klorofila i opće stanje biljaka. Najpoznatiji i najšire korišteni indeks vegetacije je NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), koji koristi refleksiju u crvenom i bliskom infracrvenom spektru za procjenu vegetacijske pokrivenosti. NDVI se izračunava kao omjer razlike između reflektiranih NIR i crvenih valnih duljina u odnosu na njihovu ukupnu refleksiju:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Vrijednosti NDVI indeksa kreću se od -1 do 1, pri čemu su pozitivne vrijednosti povezane s gustom i zdravom vegetacijom, dok su negativne vrijednosti povezane s vodom, tlom ili umjetnim površinama (Tucker, 1979).

Fluorescencija klorofila (ChF) i indeks fotokemijske refleksije (PRI - *Photochemical Reflectance Index*) mogu detektirati kratkoročni odgovor fotosinteze na promjene okoliša. Oba signala su povezana s rasipanjem topline fotosustava II. PRI je važan indeks koji se koristi za procjenu učinkovitosti fotosinteze, jer je osjetljiv na promjene u refleksiji svjetlosti u zelenom dijelu spektra (oko 531 nm), koje nastaju zbog promjena u fotosintetskoj aktivnosti. Vrijednosti PRI indeksa kreću se od -1 do 1, pri čemu više vrijednosti ukazuju na povećanu fotosintetsku aktivnost, dok niže vrijednosti mogu ukazivati na stres ili smanjenu aktivnost (Gamon i sur., 1997; Trotter i sur., 2002; Atherton i sur., 2016). PRI se koristi za utvrđivanje razine stresa i predviđanje stopa fotosinteze, jer je u snažnoj korelaciji s oslobađanjem apsorbirane energije u obliku topline i kvantnim prinosom fotokemijskih reakcija fotosustava II kada se mjeri na razini jednog lista. Međutim, njegova primjena ima manji značaj kada se koristi na većim skalama, unutar iste krošnje, između različitih vrsta ili unutar vegetacijskog pokrova (Nakamura i sur., 2024).

Jedna od najučinkovitijih metoda za istraživanje funkcionalnosti fotosintetskog aparata je mjerenje fluorescencije klorofila. Fluorescencija klorofila prirodna je pojava prisutna u svim fotosintetskim organizmima. Ona predstavlja elektromagnetsko zračenje koje emitira klorofil, a koje se ne koristi u fotosintezi niti se pretvara u toplinsku energiju (Žurek i sur., 2014; Kalaji i sur., 2017). Intenzitet fluorescencije klorofila obrnuto je proporcionalan udjelu energije koji se koristi u fotosintezi te pruža izravne i neizravne informacije o svim svjetlosnim fazama fotosinteze: fotolizi vode, transportu elektrona, stvaranju pH razlike preko tilakoidnih membrana, sintezi ATP-a (Kalaji i sur. 2017) i raznim regulatornim procesima (Brestič i sur. 2012).

Mjerenje fluorescencije klorofila pomaže u otkrivanju ranih promjena u funkcioniranju i strukturi fotosintetskog aparata (Strasser i sur., 2004; Kalaji i sur., 2016). Također, pruža vrijedne informacije o fiziološkom stanju biljaka, što je ključno za razumijevanje fizioloških promjena do kojih dolazi u promjenjivim uvjetima okoliša, poput nedostatka hranjivih tvari (Živčák i sur., 2014; Samborska i sur., 2019), solnog stresa (Dąbrowski i sur., 2016), temperaturnog stresa (Yang i sur., 2009; Kalaji i sur., 2011) i suše (Oukarroum i sur., 2009; Goltsev i sur., 2012; Kalaji i sur., 2016). Korištenjem senzora koji

moгу detektirati emisije fluorescencije biljaka, istraživači mogu pratiti zdravlje vegetacije u velikim ekosustavima (Maxwell & Johnson, 2000).

Većina toplinskih infracrvenih (TIR) senzora koji se koriste za analizu vegetacije mjeri emitirano zračenje u infracrvenom (IR) području srednjeg dometa (3–8  $\mu\text{m}$ ) i, češće, u IR području dugog dometa (8–14  $\mu\text{m}$ ) (Kuenzer & Dech, 2013; Zhu i sur., 2018). Površinska temperatura biljaka ovisi o različitim kemijskim, biološkim i fizikalnim svojstvima, pružajući vrijedan uvid u fiziološke obrasce (Still i sur., 2019). Na primjer, u uvjetima nedostatka vode, biljke zatvaraju puči, što smanjuje transpiraciju i povećava unutarnju temperaturu lista. Daljinsko mjerenje temperature lista može pomoći u prepoznavanju biljaka pod utjecajem toplinskog stresa ili suše (Buitrago i sur., 2016; Coates i sur., 2015). Na većim razmjerima, toplinski podaci mogu poboljšati klasifikaciju vegetacijskog pokrova te se koristiti za procjenu prostorne distribucije određenih vrsta i zajednica (Barnes i sur., 2021), kao i pružiti vrijedne informacije o razmjeni vode i energije između biljaka, tla i atmosfere, što je korisno za upravljanje okolišem. Termalni senzori mogu biti postavljeni na dronove, avione ili satelite, omogućujući praćenje vegetacije na velikim površinama u realnom vremenu (Meron i sur., 2010).

Za prikupljanje podataka o fotosintetskoj aktivnosti biljaka koriste se različiti senzori postavljeni na satelite, dronove, avione ili stacionarne platforme. Ovi senzori bilježe refleksiju svjetlosti u različitim dijelovima elektromagnetskog spektra, što omogućava kontinuirano praćenje vegetacije na lokalnim, regionalnim i globalnim skalama

Sateliti kao što su Landsat i MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) imaju ključnu ulogu u globalnom praćenju vegetacije. Landsat senzori, koji djeluju još od 1970-ih godina, omogućuju visoku prostornu rezoluciju (30 metara), što ih čini idealnim za praćenje promjena u vegetacijskom pokrovu i korištenju zemljišta (Wulder i sur., 2016). MODIS, koji je lansiran 1999. godine, pruža nižu prostornu rezoluciju (250-1000 metara), ali pokriva cijelu Zemlju svakih jedan do dva dana, omogućujući kontinuirano praćenje globalnih vegetacijskih obrazaca i klimatskih promjena (Justice i sur., 2002).

Bespilotne letjelice (dronovi) opremljene multispektralnim kamerama postale su sve popularniji alat za precizno praćenje vegetacije na manjim površinama. Multispektralne kamere snimaju refleksiju u nekoliko uskih spektralnih područja, uključujući crvenu, zelenu i infracrvenu svjetlost. Korištenjem dronova moguće je dobiti podatke visoke prostorne i vremenske rezolucije, što omogućuje praćenje biljaka u realnom vremenu te identifikaciju ranih znakova stresa uslijed nedostatka vode, bolestima ili napadima štetnika (Lelong i sur., 2008).

Hiperspektralni senzori snimaju refleksiju svjetlosti u stotinama uskih valnih duljina, što omogućuje preciznu analizu kemijskog sastava biljaka i tla. Ovi senzori pružaju detaljne podatke o fotosintetskoj aktivnosti, sadržaju klorofila i vodnom statusu biljaka, ali su skuplji i kompleksniji za korištenje u usporedbi s multispektralnim sensorima (Zarco-Tejada i sur., 2013). Daljinska mjerenja koriste ove napredne tehnologije za kontinuirano praćenje zdravlja biljaka i promjena u vegetaciji, što ih čini nezamjenjivim alatima u poljoprivredi, ekologiji, klimatologiji i znanosti o Zemlji.

### **Prednosti, ograničenja i budućnost daljinskih mjerenja**

Daljinska mjerenja su moćan alat koji pruža nekoliko ključnih prednosti u praćenju vegetacije i poljoprivrednih sustava. Glavna prednost daljinskih mjerenja je sposobnost pokrivanja velikih geografskih područja u kratkom vremenu. Satelitski senzori, poput Landsata i MODIS-a, omogućuju



praćenje vegetacije na globalnoj razini, dok dronovi i avioni omogućuju precizno praćenje na lokalnim razinama (Wulder i sur., 2016). Ova prostorna pokrivenost čini daljinska mjerenja posebno korisnim u praćenju promjena u okolišu, poput deforestacije, šumskih požara ili suša. Daljinska mjerenja ne zahtijevaju fizički kontakt s biljkama, što ih čini idealnim za praćenje osjetljivih ekosustava ili teško dostupnih područja. Za razliku od tradicionalnih metoda uzorkovanja, omogućuju prikupljanje podataka bez ometanja okoliša, što je osobito važno u zaštićenim područjima ili ekološki osjetljivim zonama (Jones, 1999; 2014a; 2014b). Nadalje, daljinska mjerenja omogućuju stalno praćenje vegetacije tijekom dugog razdoblja. Satelitski senzori pružaju podatke svakodnevno ili u redovitim intervalima, što omogućuje praćenje sezonskih promjena, rasta usjeva i dugoročnih trendova povezanih s klimatskim promjenama. Ova vremenska dimenzija omogućuje poljoprivrednicima, znanstvenicima i donosiocima odluka da bolje razumiju dinamiku vegetacije i prilagode svoje strategije (Justice i sur., 2002).

Iako daljinska mjerenja pružaju mnoge prednosti, postoje određena ograničenja koja treba uzeti u obzir. Prije svega, daljinska mjerenja zahtijevaju preciznu kalibraciju senzora kako bi se osigurala točnost prikupljenih podataka. Senzori na satelitima, dronovima ili avionima moraju biti pažljivo podešeni kako bi se izbjegle pogreške uzrokovane promjenama u atmosferi, kutovima sunčeve svjetlosti ili drugim čimbenicima (Verrelst i sur., 2015). Također, obrada velikih količina podataka koje generiraju daljinski senzori može biti izazovna, jer zahtijeva specijalizirani softver i stručnjake za analizu podataka. Optički senzori, koji se koriste u daljinskim mjerenjima, mogu biti ograničeni u oblačnim područjima jer oblaci blokiraju prolazak svjetlosti do tla. U šumovitim područjima, gusta krošnja može spriječiti prikupljanje podataka o tlu i vegetaciji ispod stabala. Ovi problemi mogu se ublažiti upotrebom radarskih senzora koji mogu prodrijeti kroz oblake i vegetaciju, no ti senzori imaju svoja ograničenja u preciznosti (Moreira i sur., 2013). Iako satelitski senzori omogućuju praćenje velikih površina, njihova prostorna rezolucija često nije dovoljna za detaljno praćenje pojedinačnih biljaka. Dronovi i avioni s višom rezolucijom mogu pružiti detaljnije podatke, ali još uvijek postoji ograničenje u kapacitetu za praćenje specifičnih biljaka na velikim područjima. Ovaj problem djelomično se može riješiti kombiniranjem metoda, npr. integracijom daljinskih senzora i terenskih podataka (Lelong i sur., 2008).

Napredak u tehnologiji senzora značajno je poboljšao mogućnosti daljinskih mjerenja, čineći ih sve preciznijima i svestranijima. Hiperspektralne kamere, koje prikupljaju podatke iz stotina uskih spektralnih područja, pružaju detaljne informacije o kemijskom sastavu biljaka i njihovoj fotosintetskoj aktivnosti. Ove kamere mogu detektirati promjene u sadržaju klorofila, vode i drugih ključnih pokazatelja zdravlja biljaka, omogućujući raniju detekciju stresa ili bolesti (Zarco-Tejada i sur., 2013). Satelitski senzori, poput onih na Landsat 8 i Sentinel-2 omogućuju sve bolju prostornu i spektralnu rezoluciju, što je ključno za detaljnije praćenje vegetacije i promjena u okolišu manjih područja u poljoprivredi i ekološkim istraživanjima (Wulder i sur., 2016).

Kombinacija daljinskih mjerenja s umjetnom inteligencijom (AI) i strojnim učenjem otvara nove mogućnosti za analizu velikih količina podataka i predviđanje promjena u vegetaciji. Algoritmi strojnog učenja mogu analizirati ogromne količine podataka generiranih satelitima, dronovima i drugim sensorima kako bi identificirali obrasce koji su nevidljivi ljudskom oku (Verrelst i sur., 2015). Primjerice, algoritmi mogu otkriti suptilne promjene u refleksiji svjetlosti koje ukazuju na rani stres kod biljaka, što omogućava pravovremene intervencije u poljoprivredi. Ova tehnologija također može pomoći u predviđanju budućih promjena u vegetaciji, na temelju prošlih podataka i trenutačnih uvjeta, omogućujući bolje planiranje u poljoprivredi i upravljanje prirodnim resursima (Verrelst i sur., 2015).

Integracija daljinskih mjerenja s Internetom stvari (IoT) otvara nove mogućnosti za pametno upravljanje poljoprivrednim sustavima. IoT senzori, postavljeni na poljima, mogu pratiti ključne parametre poput vlage tla, temperature i hranjivih tvari u stvarnom vremenu, dok daljinska mjerenja pružaju širu sliku o stanju vegetacije (Bauer i sur., 2015). Kombinacija ovih tehnologija omogućava precizno upravljanje resursima u poljoprivredi, optimizaciju navodnjavanja i gnojidbe te smanjenje troškova i negativnih utjecaja na okoliš. Ova integracija je ključna za razvoj održivih poljoprivrednih praksi koje mogu zadovoljiti rastuće potrebe za hranom uz smanjenje ekoloških pritisaka (Ruddell & Kumar, 2017).

### Zaključak

Daljinska mjerenja fotosintetske aktivnosti predstavljaju neinvazivnu, učinkovitu i široko primjenjivu metodu za praćenje zdravlja biljaka na globalnoj razini. Korištenjem spektralnih indeksa poput NDVI-a i PRI-ja, fluorescencije klorofila i termalne infracrvene tehnologije, omogućeno je kontinuirano praćenje fotosinteze, što doprinosi preciznijem razumijevanju vegetacijskih procesa u različitim ekosustavima. Ove metode pružaju ključne informacije za poljoprivredu, ekologiju i klimatske znanosti, omogućujući detekciju stresa kod biljaka, procjenu poljoprivrednih prinosa i praćenje globalnih klimatskih promjena.

Prednosti daljinskih mjerenja, kao što su velika prostorna pokrivenost i mogućnost kontinuiranog praćenja, čine ih idealnim alatima za praćenje vegetacije na velikim područjima. Ipak, određena ograničenja uključuju potrebu za kalibracijom senzora, složenu obradu podataka te izazove pri mjerenju gustih šumskih pokrova ili u oblačnim uvjetima.

S tehnološkim napretkom, posebice razvojem hiperspektralnih kamera i poboljšanjem rezolucije satelitskih snimaka, uz integraciju umjetne inteligencije i IoT tehnologija, daljinska mjerenja postaju sve preciznija i pouzdanija. Ovi napredci omogućuju detaljnije analize vegetacije, ranu detekciju stresa kod biljaka i poboljšano upravljanje poljoprivrednim praksama, što doprinosi razvoju održive poljoprivrede i očuvanju okoliša.

### Literatura:

1. Atherton, J., Nichol, C. J., & Porcar-Castell, A. (2016). Using spectral chlorophyll fluorescence and the photochemical reflectance index to predict physiological dynamics. *Remote Sensing of Environment*, 176, 17-30.
2. Barnes, M. L., Yoder, L., & Khodaei, M. (2021). Detecting winter cover crops and crop residues in the midwest us using machine learning classification of thermal and optical imagery. *Remote Sensing*, 13(10), 1998.
3. Bauer, T., Pavlik, R., Rzasas, M., Pringle, K., Schulz, P., & Kämpf, M. (2015). Integration of IoT and remote sensing data for precision agriculture applications. *Sensors*, 15(4), 1-12.
4. Brestič, M., Živčák, M., Kalaji, H. M., Carpentier, R., Allakhverdiev, S. I. (2012). Photosystem II thermostability in situ: environmentally induced acclimation and genotype-specific reactions in *Triticum aestivum* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, 57, 93–105.
5. Buitrago, M. F., Groen, T. A., Hecker, C. A., & Skidmore, A. K. (2016). Changes in thermal infrared spectra of plants caused by temperature and water stress. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 111, 22-31.

6. Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., & Chhabra, A. (2013). Carbon and other biogeochemical cycles. In T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, & P. M. Midgley (Eds.), *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 465-570). Cambridge University Press.
7. Coates, A. R., Dennison, P. E., Roberts, D. A., & Roth, K. L. (2015). Monitoring the impacts of severe drought on southern California chaparral species using hyperspectral and thermal infrared imagery. *Remote Sensing*, 7(11), 14276-14291.
8. Dąbrowski, P., Baczevska, A. H., Pawluśkiewicz, B., Paunov, M., Alexantrov, V., Goltsev, V., et al. (2016). Prompt chlorophyll a fluorescence as a rapid tool for diagnostic changes in PSII structure inhibited by salt stress in Perennial ryegrass. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 157, 22–31.
9. D’Hooghe, P., Escamez, S., Trouverie, J., Avice, J.-C. (2013). Sulphur limitation provokes physiological and leaf proteome changes in oilseed rape that lead to perturbation of sulphur, carbon and oxidative metabolisms. *BMC Plant Biology*, 13 (1), 23.
10. Foyer, C. H., Neukermans, J., Queval, G., Noctor, G., and Harbinson, J. (2012). Photosynthetic control of electron transport and the regulation of gene expression. *Journal of Experimental Botany*, 63, 1637–1661.
11. Gamon, J. A., Serrano, L., & Surfus, J. S. (1997). The photochemical reflectance index: An optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. *Oecologia*, 112(4), 492-501.
12. Goltsev, V., Zaharieva, I., Chernev, P., Kouzmanova, M., Kalaji, H. M., Yordanov, I., et al. (2012). Drought-induced modifications of photosynthetic electron transport in intact leaves: Analysis and use of neural networks as a tool for a rapid non-invasive estimation. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics*, 1817, 1490–1498.
13. Huang, Z.-A., Jiang, D.-A., Yang, Y., Sun, J.-W., Jin, S.-H. (2004). Effects of nitrogen deficiency on gas exchange, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzymes in leaves of rice plants. *Photosynthetica* 42 (3), 357-364.
14. Hussein, M.M., Abd El-Kader, A.A., Mona, A.M.S., 2009. Mineral status of plant shoots and grains of barley under foliar fertilization and water stress. *Research journal of agriculture and biological sciences*, 5, 108-115.
15. Jin, X., Yang, G., Tan, C., Zhao, C. (2015). Effects of nitrogen stress on the photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation, chlorophyll fluorescence, and sugar-nitrogen ratio in corn. *Scientific Reports* 5.
16. Jones, H. G. (1999). Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 95(3), 139-149.
17. Jones, H.G. (2014a). Remote sensing of plant stresses and its use in irrigation management. *Acta Horticulturae*, 1038, 239-247.
18. Jones H. G. (2014b). The use of indirect or proxy markers in plant physiology. *Plant, cell & environment*, 37(6), 1270–1272.
19. Justice, C. O., Vermote, E., Townshend, J. R., Defries, R., Roy, D. P., Hall, D. K., & Wolfe, R. E. (2002). The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(4), 1228-1249.

20. Kalaji, H. M., Bosa, K., Kościelniak, J., and Hossain, Z. (2011). Chlorophyll a Fluorescence—A Useful Tool for the Early Detection of Temperature Stress in Spring Barley ( *Hordeum vulgare* L.). *OMICS: A Journal of Integrative Biology*, 15, 925–934.
21. Kalaji, H. M., Jajoo, A., Oukarroum, A., Brestic, M., Zivcak, M., Samborska, I. A., et al. (2016). Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 102.
22. Kalaji, H. M., Schansker, G., Brestic, M., Bussotti, F., Calatayud, A., Ferroni, L., et al. (2017). Frequently asked questions about chlorophyll fluorescence, the sequel. *Photosynthesis Research*, 132, 13–66.
23. Kuenzer, C., & Dech, S. (Eds.). (2013). Theoretical background of thermal infrared remote sensing. In *Thermal infrared remote sensing* (Vol. 17, pp. 1–26). Springer Netherlands.
24. Lambers, H., Chapin, F. S., & Pons, T. L. (2008). *Plant physiological ecology*. Springer Science & Business Media.
25. Lelong, C. C. D., Pinet, P. C., Poilve, H., & Parch, F. (2008). Hyperspectral imagery and machine learning for vineyard mapping and monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 112(10), 3089–3100.
26. Li, M., & Kim, C. (2022). Chloroplast ROS and stress signaling. *Plant Communications*, 3, 100264.
27. Lu, C., Zhang, J., Zhang, Q., et al. (2001). Modification of photosystem II photochemistry in nitrogen deficient maize and wheat plants. *Journal of Plant Physiology*, 158:1423–1430.
28. Mathur, S., Allakhverdiev, S. I., and Jajoo, A. (2011). Analysis of high temperature stress on the dynamics of antenna size and reducing side heterogeneity of Photosystem II in wheat leaves (*Triticum aestivum*). *Biochimica et biophysica acta*, 1807(1), 22–29.
29. Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence: A practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51(345), 659–668.
30. Meron, M., Tsipris, J., Orlov, V., Alchanatis, V., & Cohen, Y. (2010). Crop water stress mapping using aerial thermal imagery. *Precision Agriculture*, 11, 148–162.
31. Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S., and Mitter, R. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell & Environment*, 33, 453–467.
32. Moreira, A., Prats, P., Scheiber, R., & Krieger, G. (2013). Single-pass interferometric synthetic aperture radar for remote sensing: Techniques and applications. *Remote Sensing of Environment*, 132, 208–223.
33. Nakamura, Y., Tsujimoto, K., Ogawa, T., Noda, H. M., & Hikosaka, K. (2024). Correction of photochemical reflectance index (PRI) by optical indices to predict non-photochemical quenching (NPQ) across various species. *Remote Sensing of Environment*, 305, 114062.
34. Nobel, P. S. (2020). *Physicochemical and Environmental Plant Physiology* (5<sup>th</sup> ed.). Academic Press.
35. Oukarroum, A., Schansker, G., and Strasser, R. J. (2009). Drought stress effects on photosystem I content and photosystem II thermotolerance analyzed using Chl a fluorescence kinetics in barley varieties differing in their drought tolerance. *Physiologia Plantarum*, 137, 188–199.
36. Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, G., Perrotta, C. (2006). Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant, Cell & Environment*, 29 (12), 2143–2152.

37. Ruddell, B. L., & Kumar, P. (2017). Ecohydrologic process networks: A blueprint for distributed ecosystem-wide measurement, modeling, and data mining. *Water Resources Research*, 53(3), 1238-1263.
38. Running, S. W., Nemani, R. R., & Heinsch, F. A. (2004). A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production. *BioScience*, 54(6), 547-560.
39. Samborska, I. A., Kalaji, H. M., Sieczko, L., Goltsev, V., Borucki, W., & Jajoo, A. (2018). Structural and functional disorder in the photosynthetic apparatus of radish plants under magnesium deficiency. *Functional plant biology : FPB*, 45(6), 668–679.
40. Samborska, I. A., Kalaji, H. M., Sieczko, L., Borucki, W., Mazur, R., Kouzmanova, M., et al. (2019). Can just one-second measurement of chlorophyll a fluorescence be used to predict sulphur deficiency in radish (*Raphanus sativus* L. sativus) plants? *Current Plant Biology*, 19, 100096.
41. Scheibe, R. (2019). Maintaining homeostasis by controlled alternatives for energy distribution in plant cells under changing conditions of supply and demand. *Photosynthesis research*, 139(1-3), 81–91.
42. Schlemmer, M., Gitelson, A., Schepers, J., Ferguson, R., Peng, Y., Shanahan, J., & Rundquist, D. (2013). Remote estimation of nitrogen and chlorophyll contents in maize at leaf and canopy levels. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 25, 47-54.
43. Still, C., Powell, R., Aubrecht, D., Kim, Y., Helliker, B., Roberts, D., ... & Goulden, M. (2019). Thermal imaging in plant and ecosystem ecology: applications and challenges. *Ecosphere*, 10(6), e02768.
44. Stirbet, A., Lazár, D., Guo, Y., & Govindjee, G. (2020). Photosynthesis: basics, history and modelling. *Annals of botany*, 126(4), 511–537.
45. Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M., and Srivastava, A. (2004). "Analysis of the Chlorophyll a Fluorescence Transient BT - *Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis*," in, eds. G. C. Papageorgiou and Govindjee (Dordrecht: Springer Netherlands), 321–362.
46. Taiz, L., & Zeiger, E. (2015). *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates.
47. Trotter, G. M., Whitehead, D., & Pinkney, E. J. (2002). The photochemical reflectance index as a measure of photosynthetic light use efficiency for plants with varying foliar nitrogen contents. *International Journal of Remote Sensing*, 23(6), 1207-1212.
48. Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.
49. Verrelst, J., Camps-Valls, G., Muñoz-Marí, J., Rivera, J. P., Veroustraete, F., Clevers, J. G. P. W., & Moreno, J. (2015). Optical remote sensing and the retrieval of terrestrial vegetation biogeophysical properties—A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 108, 273-290.
50. Wulder, M. A., Masek, J. G., Cohen, W. B., Loveland, T. R., & Woodcock, C. E. (2016). Opening the archive: How free data of Landsat changed the science and society. *Remote Sensing of Environment*, 122(3), 2-10.
51. Wu, C., Wang, Z., Sun, H., Guo, S. (2006). Effects of different concentrations of nitrogen and phosphorus on chlorophyll biosynthesis, chlorophyll a fluorescence, and photosynthesis in *Larix olgensis* seedlings. *Frontiers of Forestry in China*, 1 (2), 170-175.
52. Xu, H. X., Weng, X. Y., Yang, Y. (2007). Effect of phosphorus deficiency on the photosynthetic characteristics of rice plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 54:741–748.



53. Yang, J., Kong, Q., and Xiang, C. (2009). Effects of low night temperature on pigments, chl a fluorescence and energy allocation in two bitter melon (*Momordica charantia* L.) genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31, 285–293.
54. Zarco-Tejada, P. J., González-Dugo, V., & Berni, J. A. (2013). Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. *Remote Sensing of Environment*, 117, 322-337.
55. Zhu, X. G., Long, S. P., & Ort, D. R. (2016). Improving photosynthetic efficiency for greater yield. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 235-261.
56. Zhu, L., Suomalainen, J., Liu, J., Hyypä, J., Kaartinen, H., & Haggren, H. (2018). A review: Remote sensing sensors. In R. B. Rustamov, S. Hasanova, & M. H. Zeynalova (Eds.), *Multi-purposeful application of geospatial data*. InTech.
57. Zhu, J., Cai, D., Wang, J., Cao, J., Wen, Y., He, J. (2021). Physiological and anatomical changes in two rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes under drought stress conditions. *Oil Crop Science*, 6, 97–104.
58. Żurek, G., Rybka, K., Pogrzeba, M., Krzyżak, J., Prokopiuk, K. (2014). Chlorophyll a fluorescence in evaluation of the effect of heavy metal soil contamination on perennial grasses. *PLoS ONE*, 9.
59. Živčák, M., Olšovská, K., Slamka, P., Galambošová, J., Rataj, V., HB, S., et al. (2014). Application of chlorophyll fluorescence performance indices to assess the wheat photosynthetic functions influenced by nitrogen deficiency. *Plant, Soil and Environment*, 60, 210–215.

Doc. dr. sc. Vesna Peršić,

Dr. sc. Tamara Đerđ,

Prof. dr. sc. Branimir K. Hackenberger



